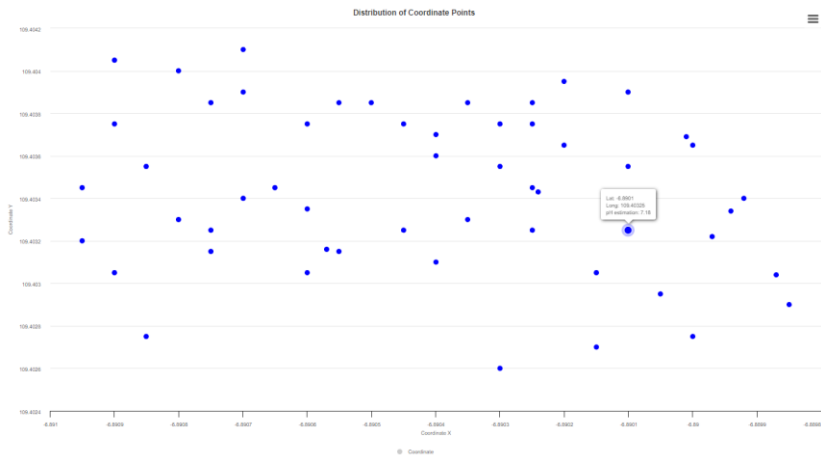


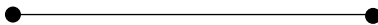
Penerapan Internet of Things (IoT) dengan Pendekatan Metode Inverse Distance Weight (IDW)



Imam Ahmad Ashari, S.Kom., M.Kom.

Ir. Purwono, S.Kom., M.Kom.

Irfan Arfianto.



Penerapan Internet of Things (IoT) dengan Pendekatan Metode Inverse Distance Weight (IDW)

Penulis:

Imam Ahmad Ashari, S.Kom., M.Kom.

Ir. Purwono, S.Kom., M.Kom.

Irfan Arfianto.

Penerbit UHB Press



Penerapan Internet of Things (IoT) dengan Pendekatan Metode Inverse Distance Weight (IDW)

Oleh:

Imam Ahmad Ashari, S.Kom., M.Kom.

Ir. Purwono, S.Kom., M.Kom.

Irfan Arfianto.

Hak Cipta © 2023 pada penulis,

Editor: Deny Nugroho Triwibowo, S.Kom., M.Kom.

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan Sebagian atau keseluruhan isi buku ini dalam bentuk apapun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan Teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh Penerbit UHB Press

Jl. Raden Patah No.100, Ledug, Kembaran, Banyumas, Jawa Tengah,

Telp. (0281) 6843493, Fax. (0281) 6843494, Purwokerto 53182

Imam Ahmad Ashari, S.Kom., M.Kom., Ir. Purwono, S.Kom.,
M.Kom., Irfan Arfianto.

Penerapan Internet of Things (IoT) dengan Pendekatan Metode
Inverse Distance Weight (IDW)

-edisi Pertama – Purwokerto: UHB Press, 2023

viii + 74 hlm, 1 Jil: 23 cm

ISBN: In Process

Sinopsis

Penerapan Internet of Things (IoT) dengan Pendekatan Metode Inverse Distance Weight (IDW) merupakan sebuah upaya inovatif dalam menggabungkan teknologi IoT dengan analisis spasial yang memanfaatkan metode IDW. IoT adalah konsep di mana berbagai perangkat fisik dihubungkan ke internet untuk mengumpulkan dan berbagi data secara real-time, sementara IDW adalah teknik analisis spasial yang digunakan untuk menginterpolasi data berdasarkan jarak dan pola spasial. Penerapan kombinasi antara IoT dan IDW memiliki berbagai potensi aplikasi yang sangat luas, termasuk pemantauan lingkungan, manajemen sumber daya alam, prediksi cuaca lokal, atau bahkan perencanaan kota cerdas. Dengan memanfaatkan data real-time yang diperoleh melalui IoT dan kemampuan IDW untuk memahami pola spasial, inovasi ini dapat membantu pengambil keputusan dalam berbagai sektor untuk membuat keputusan yang lebih tepat dan efisien.

Dalam buku ini, studi kasus yang akan diuraikan adalah tentang pemanfaatan teknologi IoT dan metode IDW untuk memperkirakan tingkat pH air di sumur warga. Buku ini akan menjelaskan cara merancang IoT dan cara metode IDW menganalisis data pH air. Penjelasan mencakup berbagai aspek, termasuk arsitektur, teknik pengambilan data, rumus, dan program yang digunakan. Melalui penerapan Internet of Things dengan Pendekatan Metode Inverse Distance Weight (IDW), kita memasuki era di mana teknologi dan analisis spasial berkolaborasi untuk menghadirkan solusi yang lebih cerdas dan terarah dalam mengatasi berbagai tantangan di dunia nyata. Dengan memanfaatkan data dan teknologi ini, kita dapat meningkatkan pemahaman kita tentang lingkungan sekitar dan membuat keputusan yang lebih baik dalam berbagai aspek kehidupan kita.

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, semoga rahmat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Dengan karunia dan berkatNya, kami masih diberi kesempatan untuk menulis buku ini hingga selesai.

Dalam buku ini, buku ini menyajikan sebuah kajian teoritis yang bersumber dari berbagai referensi mengenai Penerapan Internet of Things (IoT) dengan Pendekatan Metode Inverse Distance Weight (IDW). Topik yang dibahas mencakup teori mengenai metode IDW serta penerapannya dalam teknologi IoT. Buku ini juga membahas studi kasus mengenai peran metode IDW dalam pemantauan pH air dengan menggunakan teknologi IoT. Harapannya, buku ini dapat menjadi sumber referensi yang bermanfaat bagi pembaca, terutama bagi yang ingin mendalami topik Metode IDW dalam penerapan Teknologi IoT.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penulisan buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang luas. Aamiin.

Banyumas, Oktober 2023

Penulis

Daftar Isi

Sinopsis.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar	vii
BAB I.....	1
TEORI DASAR INTERNET OF THINGS (IOT)	1
1.1. Konsep Dasar IoT	1
1.2. Arsitektur IoT	2
1.3. Teknologi Sensor.....	5
1.4. Komunikasi IoT	7
BAB II.....	9
KONSEP DASAR INVERSE DISTANCE WEIGHT (IDW).....	9
2.1. Pengenalan Metode IDW	9
2.2. Prinsip Dasar IDW.....	9
2.3. Penerapan IDW dalam Analisis Spasial.....	10
BAB III	16
INTEGRASI IOT DENGAN METODE IDW	16
3.1. Kombinasi IoT dan IDW dalam Analisis Data.....	17
3.2. Keunggulan Integrasi IoT-IDW	18
3.3. Studi Kasus	19
BAB IV	21
PENGUMPULAN DATA IOT	21
4.1. Sensor IoT	22
4.2. Pengukuran dan Monitoring (Teknik MQTT)	24

4.3. Penyimpanan Data	29
BAB V	31
ANALISIS DATA DENGAN METODE IDW	31
5.1. Pengambilan Data dengan Sensor IoT	32
5.2. Penerapan Metode IDW	38
5.3. Visualisasi Hasil Analisis.....	42
BAB VI	44
IMPLEMENTASI PRAKTIS IOT-IDW	44
6.1. Persiapan Proyek	44
6.2. Instalasi dan Konfigurasi Perangkat IoT	45
BAB VII.....	60
7.1. Evaluasi Kinerja Sistem	60
7.2. Peningkatan Kualitas Data	61
7.3. Optimalisasi Proses Analisis	61
BAB VIII.....	63
8.1. Aplikasi di Bidang Lingkungan	63
8.2. Aplikasi di Bidang Kesehatan	64
8.3. Aplikasi di Bidang Transportasi	66
Daftar Pustaka	68

Daftar Gambar

Gambar 1. Perangkat IoT (Sumber: https://www.nexdatacenter.com/)	3
Gambar 2. Arsitektur Edge Computing (Sumber: https://www.researchgate.net/)	3
Gambar 3. Antarmuka Aplikasi Rumah Pintar (Sumber: https://media.istockphoto.com/)	4
Gambar 4. Sensor Suhu dan Kelembaban DHT11 (Sumber: https://www.electronicwings.com/)	5
Gambar 5. Sensor Cahaya (Sumber: https://zoniaelektro.net/)	5
Gambar 6. Sensor Gerak Pir Motion Infrared (Sumber: https://apollo-singapore.akamaized.net)	6
Gambar 7. Sensor Gas MQ7 (Sumber: https://ae01.alicdn.com/)	6
Gambar 8. Sensor Suara (Sumber: https://blogger.googleusercontent.com/)	6
Gambar 9. Penerapan metode IDW dalam analisis spasial.....	11
Gambar 10. Sensor pH air	23
Gambar 11. Prinsip Kerja MQTT	25
Gambar 12. Skema rangkaian sensor pH, Arduino Uno, dan Ethernet Shield	26
Gambar 13. Alur kerja SIPHAIR untuk visualisasi data kualitas air	28
Gambar 14. Peta pH air sumur di Desa Home Indutri Sarung Goyor	28
Gambar 15. Grafik perubahan pH air sumur seiring waktu	29
Gambar 16. Grafik estimasi kadar pH air menggunakan IoT dan Metode IDW	29
Gambar 17. Grafik Monitoring pH air	43
Gambar 19. Tabel tb_phair untuk menyimpan data pH air yang diambil oleh sensor	49
Gambar 20. Tabel tb_koordinat untuk menyimpan data koordinat sumur yang akan ditaksir nilai pHnya	50

Gambar 21. Tabel tb_koordinat jarak untuk menyimpan nilai yang akan diolah menggunakan metode IDW	50
Gambar 22. Tabel tb_parameter_input untuk menyimpan parameter nilai input	51
Gambar 23. Tabel tb_notifikasi_bahaya untuk menyimpan nilai pH air yang menunjukkan berbahaya.....	51

1.1. Konsep Dasar IoT

Internet of Things (IoT) adalah paradigma yang revolusioner dalam teknologi informasi yang telah mengubah cara kita berinteraksi dengan dunia di sekitar kita. Konsep dasar IoT melibatkan penghubungan dan interaksi antara berbagai perangkat fisik (disebut "things" atau "benda") yang terhubung ke internet. Benda-benda ini bisa berupa perangkat elektronik, sensor, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan banyak lagi.

Ide dasar di balik IoT adalah memungkinkan objek-objek ini untuk mengumpulkan data, berkomunikasi satu sama lain, dan berbagi informasi dengan sistem komputasi yang lebih besar. Data yang dihasilkan oleh perangkat IoT ini dapat digunakan untuk pemantauan, analisis, pengambilan keputusan, dan otomatisasi berbagai tindakan. Contoh penerapan IoT meliputi rumah pintar, kota cerdas, perawatan kesehatan, pertanian berbasis data, dan manufaktur otomatis.

IoT juga telah membuka pintu untuk transformasi bisnis dan industri dengan cara yang belum pernah terjadi sebelumnya. Dalam sektor manufaktur, perangkat IoT digunakan untuk memantau dan mengoptimalkan proses produksi, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi biaya produksi. Perusahaan dapat melacak inventaris mereka dengan lebih baik, mengurangi waktu henti mesin, dan bahkan memungkinkan perawatan yang lebih baik melalui pemantauan kondisi peralatan secara real-time. Di

sisi lain, IoT juga mendukung perkembangan produk dan layanan baru, seperti mobil otonom dan perangkat wearable yang mengintegrasikan sensor untuk melacak kesehatan penggunanya.

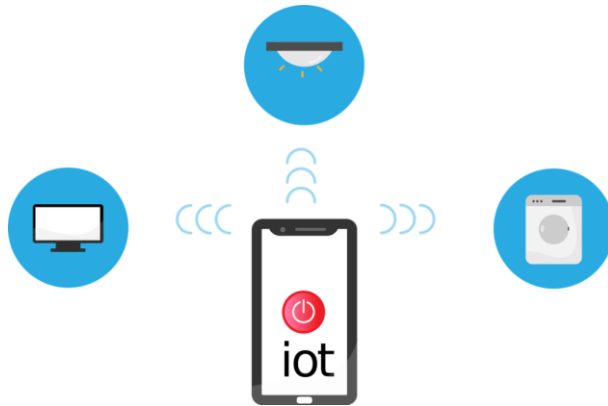
Pertumbuhan IoT juga membawa tantangan baru terkait privasi dan keamanan data. Dengan semakin banyaknya perangkat yang terhubung ke internet, perlindungan terhadap data dan sistem menjadi sangat penting. Penelitian dan pengembangan kebijakan yang ketat terkait keamanan dan privasi harus terus dilakukan untuk memastikan bahwa IoT dapat berkembang dengan aman dan bermanfaat bagi masyarakat. Meskipun masih ada beberapa masalah yang perlu dipecahkan, IoT terus mengubah dunia kita dengan cara yang menarik dan menggembirakan, membawa kita lebih dekat pada visi dunia yang lebih terhubung dan cerdas.

1.2. Arsitektur IoT

Arsitektur IoT mencakup struktur dan komponen yang membentuk jaringan IoT. Arsitektur ini terdiri dari beberapa lapisan atau tingkat, yang mencakup:

1. Perangkat IoT

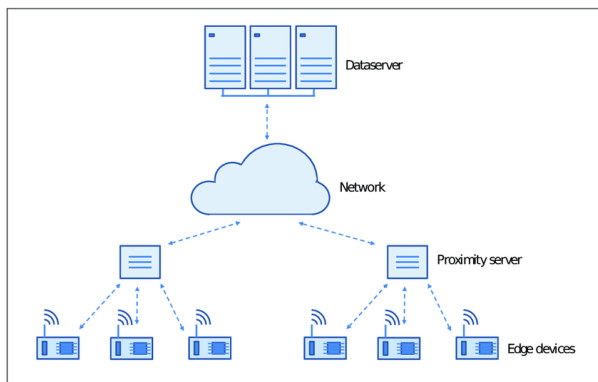
Merupakan benda fisik yang memiliki kemampuan untuk mengukur, mengumpulkan, dan mentransmisikan data. Ini bisa berupa sensor, perangkat mobile, kendaraan terkoneksi, atau peralatan pintar.



Gambar 1. Perangkat IoT (Sumber: <https://www.nexdatacenter.com/>)

2. Edge Computing

Edge computing melibatkan pemrosesan data secara lokal di perangkat IoT atau di "pinggiran" jaringan, sehingga data yang sangat penting dapat diolah dengan cepat dan efisien.



Gambar 2. Arsitektur Edge Computing (Sumber: <https://www.researchgate.net/>)

3. Jaringan IoT

Jaringan IoT adalah infrastruktur yang menghubungkan perangkat IoT ke internet. Ini dapat mencakup teknologi

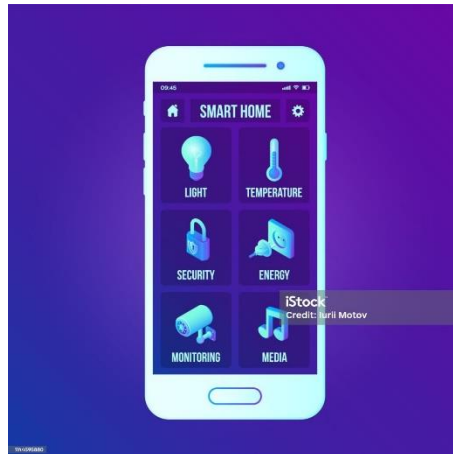
nirkabel seperti WiFi, Bluetooth, atau protokol jaringan seluler seperti 4G atau 5G.

4. Platform IoT

Merupakan perangkat lunak atau sistem yang mengelola data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT. Platform ini dapat mencakup penyimpanan data, analisis data, dan pengelolaan perangkat.

5. Aplikasi IoT

Aplikasi IoT digunakan untuk menerjemahkan data yang dikumpulkan menjadi informasi yang berguna. Ini bisa termasuk aplikasi rumah pintar, sistem monitoring industri, atau perangkat kesehatan pintar.



Gambar 3. Antarmuka Aplikasi Rumah Pintar (Sumber: <https://media.istockphoto.com/>)

6. Pengamanan dan Privasi

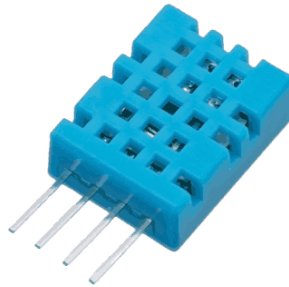
Keamanan dan privasi adalah elemen penting dalam arsitektur IoT untuk melindungi data yang dikumpulkan dan informasi pribadi pengguna.

1.3. Teknologi Sensor

Teknologi sensor adalah elemen kunci dalam implementasi IoT. Sensor adalah perangkat yang mendeteksi perubahan dalam lingkungan fisik dan mengubahnya menjadi sinyal listrik atau data yang dapat diolah. Beberapa jenis sensor yang umum digunakan dalam IoT meliputi:

1. Sensor Suhu

Mendeteksi suhu dan memungkinkan pengawasan suhu dalam berbagai aplikasi seperti manajemen suhu dalam gedung atau kendaraan.



Gambar 4. Sensor Suhu dan Kelembaban DHT11 (Sumber: <https://www.electronicwings.com/>)

2. Sensor Kelembaban

Mengukur kelembaban udara dan sering digunakan dalam lingkungan pertanian, pengendalian iklim, dan sistem HVAC.

3. Sensor Cahaya

Mengukur intensitas cahaya dan digunakan dalam penerangan otomatis, pemantauan cuaca, dan aplikasi fotografi.



Gambar 5. Sensor Cahaya (Sumber: <https://zoniaelektro.net/>)

4. Sensor Gerak

Mendeteksi gerakan atau perubahan dalam posisi. Digunakan dalam sistem keamanan, otomasi rumah, dan navigasi.



Gambar 6. Sensor Gerak Pir Motion Infrared (Sumber: <https://apollo-singapore.akamaized.net>)

5. Sensor Gas

Mendeteksi konsentrasi gas tertentu dalam udara dan digunakan dalam deteksi gas beracun atau pemantauan kualitas udara.



Gambar 7. Sensor Gas MQ7 (Sumber: <https://ae01.alicdn.com/>)

6. Sensor Suara

Mengubah gelombang suara menjadi sinyal elektrik dan digunakan dalam perangkat komunikasi dan pengenalan suara.



Gambar 8. Sensor Suara (Sumber: <https://blogger.googleusercontent.com/>)

1.4. Komunikasi IoT

Komunikasi IoT adalah proses pertukaran data antara perangkat IoT dengan platform IoT atau antara perangkat IoT satu sama lain. Komunikasi IoT dapat melibatkan berbagai protokol, standar, dan teknologi yang berbeda tergantung pada kebutuhan dan karakteristik aplikasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi pilihan komunikasi IoT meliputi:

1. Jarak

Jarak antara perangkat IoT dapat menentukan jenis teknologi komunikasi yang digunakan. Untuk jarak dekat, teknologi nirkabel seperti WiFi, Bluetooth, atau ZigBee dapat digunakan. Untuk jarak menengah, teknologi seluler seperti 4G atau 5G dapat digunakan. Untuk jarak jauh, teknologi satelit atau radio dapat digunakan.

2. Bandwidth

Bandwidth adalah kapasitas transmisi data yang tersedia untuk komunikasi IoT. Bandwidth dapat dipengaruhi oleh jumlah data yang dikirimkan, frekuensi pengiriman data, dan kualitas sinyal. Bandwidth yang tinggi memungkinkan pengiriman data yang cepat dan banyak, tetapi juga membutuhkan daya dan biaya yang lebih besar. Bandwidth yang rendah memungkinkan pengiriman data yang lambat dan sedikit, tetapi juga hemat daya dan biaya.

3. Keamanan

Keamanan adalah tingkat perlindungan data yang dikirimkan melalui komunikasi IoT dari ancaman seperti penyadapan, modifikasi, atau penghapusan. Keamanan dapat ditingkatkan dengan menggunakan enkripsi, autentikasi, dan otorisasi pada data dan perangkat IoT. Keamanan yang tinggi membutuhkan proses komputasi yang lebih kompleks dan memakan waktu, tetapi juga meningkatkan privasi dan integritas data. Keamanan yang rendah membutuhkan proses komputasi yang

lebih sederhana dan cepat, tetapi juga meningkatkan risiko kerusakan atau kehilangan data.

Beberapa contoh protokol komunikasi IoT yang umum digunakan meliputi:

- MQTT: MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) adalah protokol komunikasi berbasis publikasi-langganan (publish-subscribe) yang digunakan untuk mengirimkan pesan antara perangkat IoT dan platform IoT. MQTT cocok untuk aplikasi IoT yang membutuhkan bandwidth rendah, daya rendah, dan konektivitas tidak stabil.
- CoAP: CoAP (Constrained Application Protocol) adalah protokol komunikasi berbasis permintaan-respon (request-response) yang digunakan untuk mengirimkan permintaan dan respon antara perangkat IoT dan platform IoT. CoAP cocok untuk aplikasi IoT yang membutuhkan bandwidth rendah, daya rendah, dan interaksi real-time.
- HTTP: HTTP (Hypertext Transfer Protocol) adalah protokol komunikasi berbasis permintaan-respon (request-response) yang digunakan untuk mengirimkan permintaan dan respon antara perangkat IoT dan platform IoT. HTTP cocok untuk aplikasi IoT yang membutuhkan bandwidth tinggi, daya tinggi, dan konektivitas stabil.

Metode Inverse Distance Weight (IDW) adalah salah satu metode interpolasi spasial yang digunakan untuk memperkirakan nilai variabel di lokasi yang tidak diketahui berdasarkan nilai variabel di lokasi yang diketahui. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa nilai variabel cenderung berubah secara halus dari satu lokasi ke lokasi lain, dan bahwa nilai variabel di lokasi yang dekat lebih mirip daripada nilai variabel di lokasi yang jauh.

2.1. Pengenalan Metode IDW

Metode IDW pertama kali diperkenalkan oleh Shepard (1968) sebagai metode untuk menghitung nilai rata-rata dari fungsi yang tidak diketahui berdasarkan nilai sampel yang tersebar secara acak. Metode ini kemudian dikembangkan oleh Watson (1992) dan Burrough dan McDonnell (1998) untuk aplikasi dalam analisis spasial.

Metode IDW dapat digunakan untuk menginterpolasi berbagai jenis data spasial, seperti data ketinggian, suhu, kelembaban, konsentrasi polutan, atau kualitas air. Metode ini juga dapat digunakan untuk menghasilkan peta kontur, peta permukaan, atau peta isopleth dari data spasial.

2.2. Prinsip Dasar IDW

Prinsip dasar metode IDW adalah memberikan bobot kepada nilai variabel di lokasi yang diketahui berdasarkan jarak terbalik antara lokasi tersebut dengan lokasi yang tidak diketahui. Semakin dekat jarak antara dua lokasi, semakin besar bobot yang

diberikan. Semakin jauh jarak antara dua lokasi, semakin kecil bobot yang diberikan.

Rumus umum untuk menghitung bobot dengan metode IDW adalah:

$$w_i = \frac{d_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n d_j^{-p}}$$

dimana:

- w_i adalah bobot untuk nilai variabel di lokasi ke- i .
- d_i adalah jarak antara lokasi ke- i dan lokasi yang tidak diketahui.
- p adalah parameter pangkat yang menentukan seberapa cepat bobot menurun seiring dengan bertambahnya jarak. Nilai p biasanya berkisar antara 1 sampai 3.
- n adalah jumlah lokasi yang diketahui.

Setelah mendapatkan bobot untuk setiap lokasi yang diketahui, nilai variabel di lokasi yang tidak diketahui dapat diestimasi dengan menggunakan rumus berikut:

$$z = \sum_{i=0}^n w_i z_i$$

dimana:

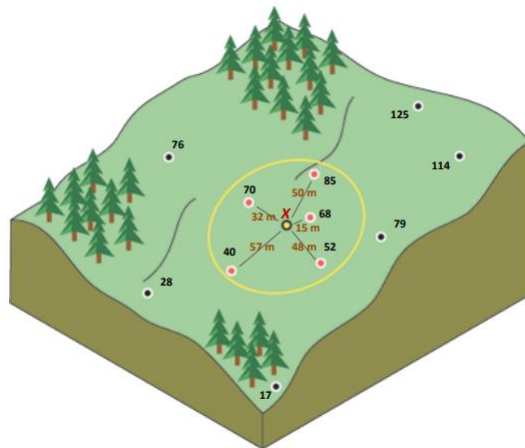
- z adalah nilai variabel di lokasi yang tidak diketahui.
- z_i adalah nilai variabel di lokasi ke- i .

2.3. Penerapan IDW dalam Analisis Spasial

Untuk menerapkan metode IDW dalam analisis spasial, langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan variabel spasial yang ingin diinterpolasi dan mengumpulkan data nilai variabel tersebut di beberapa lokasi yang diketahui.
2. Menentukan lokasi-lokasi yang tidak diketahui dan ingin diestimasi nilai variabelnya.
3. Menentukan parameter pangkat (p) untuk metode IDW. Parameter ini dapat ditentukan secara empiris atau dengan menggunakan metode optimisasi seperti cross-validation.
4. Menghitung jarak antara setiap lokasi yang tidak diketahui dengan setiap lokasi yang diketahui.
5. Menghitung bobot untuk setiap lokasi yang diketahui dengan menggunakan rumus IDW.
6. Mengestimasi nilai variabel di setiap lokasi yang tidak diketahui dengan menggunakan rumus IDW.
7. Membuat peta atau grafik dari hasil interpolasi.

Contoh penerapan metode IDW dalam analisis spasial dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 9. Penerapan metode IDW dalam analisis spasial
(Sumber: <https://pro.arcgis.com/>)

Pada gambar tersebut, titik-titik hitam menunjukkan lokasi yang diketahui nilai variabelnya, yaitu ketinggian. Titik-titik putih menunjukkan lokasi yang tidak diketahui nilai variabelnya. Garis-garis berwarna menunjukkan peta kontur yang dihasilkan dari interpolasi dengan metode IDW. Dari peta kontur tersebut, dapat dilihat bahwa nilai ketinggian cenderung meningkat dari barat ke timur dan dari selatan ke utara. Dapat juga dilihat bahwa metode IDW menghasilkan permukaan yang halus dan kontinu.

Jika kita sudah melakukan pengukuran ketinggian tempat pada beberapa titik seperti yang terlihat dalam gambar di atas, maka kita perlu mencari ketinggian titik X yang tidak terukur (mungkin karena akses ke lapangan yang sulit). Titik X ini memiliki pentingnya. Untuk mencari ketinggian titik X, kita dapat menggunakan metode IDW dengan menggunakan beberapa titik sampel (terdapat 5 titik berwarna merah dalam gambar yang memiliki jarak masing-masing dari titik X).

Jika kita menyebut nilai ketinggian pada masing-masing titik sampel sebagai z , yaitu z_1, z_2, z_3, z_4 , dan z_5 , dan jarak masing-masing titik sampel dari titik X sebagai d , yaitu d_1, d_2, d_3, d_4 , dan d_5 , maka kita dapat menentukan ketinggian di titik X (z_x) dengan menggunakan fungsi berikut:

$$F(Z_x) = \sum_{i=1}^n W_i Z_i$$

Dimana:

$$W_i = \frac{\left[\frac{1}{d_i}\right]^p}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{d_j}\right]^p} \text{ dengan syarat } \sum_{i=1}^n W_i = 1, p > 1$$

Penjelasan:

Dalam rumus di atas, n adalah jumlah titik sampel, i dan j adalah nomor titik sampel, w adalah bobot, dan p adalah pangkat. Total bobot harus memiliki jumlah yang sama dengan 1, dan nilai p

biasanya adalah 2. Rumus ini adalah implementasi dari algoritma IDW yang ditemukan oleh Shepard (1968). Dalam konteks pengukuran ketinggian, jika z_1 memiliki nilai 70, maka d_1 (jarak antara z_1 dan titik yang ingin dicari ketinggiannya) adalah sebesar 32. Selanjutnya, kita dapat melanjutkan perhitungan sebagai berikut:

$$z_2 = 85, d_2 = 50$$

$$z_3 = 68, d_3 = 15$$

$$z_4 = 52, d_4 = 48$$

$$z_5 = 40, d_5 = 57$$

Perhitungan IDW dimulai dengan menghitung nilai invers jarak dari setiap titik sampel, yang kemudian ditingkatkan kekuatan p , dengan n adalah 5 dan p adalah 2.

$$\left[\frac{1}{d_1}\right]^2 = \left[\frac{1}{32}\right]^2 = 0,03125^2 = 0,0009765625$$

$$\left[\frac{1}{d_2}\right]^2 = \left[\frac{1}{50}\right]^2 = 0,02^2 = 0,0004$$

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{d_3}\right]^2 &= \left[\frac{1}{15}\right]^2 = 0,0666666666666667^2 \\ &= 0,004444444444444444 \end{aligned}$$

$$\left[\frac{1}{d_4}\right]^2 = \left[\frac{1}{48}\right]^2 = 0,0208333333^2 = 0,000434027777777778$$

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{d_5}\right]^2 &= \left[\frac{1}{57}\right]^2 = 0,0175438596491228^2 \\ &= 0,000307787011388119 \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah mencari nilai $\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{d_j} \right]^p$, total dari kelima inverse distance

$$\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{d_j} \right]^2 = 0,0009765625 + 0,0004 + 0,00444444444444444444 + 0,0004340277777777778 + 0,000307787011388119 = 0,00656282173361034$$

Perhitungan IDW melibatkan langkah berikutnya, yaitu perhitungan bobot untuk setiap titik sampel. Bobot (w_i) dihitung dengan membagi nilai inverse distance dari masing-masing titik sampel dengan total inverse distance dari kelima titik sampel tersebut. Dalam kasus ini, dengan adanya 5 titik sampel, akan dihasilkan 5 bobot.

$$W_1 = \frac{0,000204081632653062}{0,00656282173361034} = 0,148802228620459$$

$$W_2 = \frac{0,000204081632653062}{0,00656282173361034} = 0,0609493928429399$$

$$W_3 = \frac{0,000204081632653062}{0,00656282173361034} = 0,677215476032664$$

$$W_4 = \frac{0,000204081632653062}{0,00656282173361034} = 0,066134323831315$$

$$W_5 = \frac{0,000204081632653062}{0,00656282173361034} = 0,0468985786726222$$

Nilai kelima bobot di atas jika dijumlahkan hasilnya adalah 1. Langkah terakhir adalah menghitung nilai ketinggian di titik X

$$F(Z_x) = \sum_{i=1}^n W_i Z_i$$

$$F(Z_x) = W_1Z_1 + W_2Z_2 + W_3Z_3 + W_4Z_4 + W_5Z_5$$

$$F(Z_x) = (0,148802228620459 \times 70) + (0,0609493928429399 \times 85) + (0,677215476032664 \times 68) + (0,066134323831315 \times 52) + (0,0468985786726222 \times 40) = 66,9624347514365$$

Jadi nilai ketinggian di titik X adalah 66,9624347514365, atau dibulatkan menjadi 67.

Dengan metode yang telah dijelaskan di atas, maka semua elevasi atau ketinggian dalam wilayah observasi dapat dihasilkan dengan menggunakan beberapa titik pengukuran sampel, tanpa perlu mengukur elevasi pada setiap inci wilayah yang diamati. IDW hanyalah salah satu dari berbagai metode interpolasi geostatistik yang tersedia, yang mencakup Spline, Kriging, Radial Basis Function (RBF), Local Polynomial Interpolation, Global Polynomial Interpolation, Natural Neighbors, Trend, dan berbagai metode lainnya.

Integrasi Internet of Things (IoT) dengan metode Inverse Distance Weighting (IDW) juga dapat sangat berguna dalam pemantauan pH air. IoT memungkinkan penggunaan sensor-sensor online yang terhubung untuk mengukur pH air secara real-time. Metode IDW, di sisi lain, dapat digunakan untuk mengolah dan menganalisis data ini dengan lebih efektif.

Dalam konteks pemantauan pH air, sensor-sensor IoT dapat ditempatkan di berbagai lokasi, seperti sungai, danau, atau perairan laut, untuk mengukur pH air secara terus-menerus. Data yang dihasilkan dari sensor-sensor ini dapat dianalisis dan diintegrasikan dengan data geospasial yang ada menggunakan metode IDW. Hasilnya adalah pemetaan yang akurat tentang pH air di wilayah tertentu, termasuk daerah-daerah yang tidak memiliki sensor fisik.

Dengan informasi pH air yang terus-menerus diperbarui dan pemetaan yang lebih mendalam yang dihasilkan melalui integrasi IoT dan metode IDW, para peneliti dan pengelola sumber daya air dapat lebih efisien memantau dan menjaga kualitas air dalam lingkungan mereka. Hal ini sangat penting untuk konservasi lingkungan, perlindungan ekosistem air, serta pemantauan dan mitigasi pencemaran air. Dengan kata lain, integrasi IoT dengan metode IDW memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dan pemantauan yang lebih efisien dalam menjaga kualitas air di berbagai lokasi geografis.

3.1. Kombinasi IoT dan IDW dalam Analisis Data

Kombinasi Internet of Things (IoT) dan metode Inverse Distance Weighting (IDW) dalam analisis data memberikan kontribusi signifikan dalam pemahaman dan pemanfaatan informasi geospasial yang sangat berharga. IoT memungkinkan pengumpulan data real-time dari sensor-sensor yang terhubung, sementara metode IDW adalah teknik interpolasi geospasial yang memungkinkan kita untuk memprediksi nilai-nilai di lokasi yang tidak terukur berdasarkan data yang ada. Dengan mengintegrasikan keduanya, kita dapat menciptakan solusi yang canggih dalam berbagai aplikasi.

Dalam pemantauan lingkungan, sensor-sensor IoT dapat mengukur parameter seperti suhu, kelembaban, kualitas udara, dan pH air secara langsung. Data ini dapat diintegrasikan dengan data geospasial yang sudah ada menggunakan metode IDW. Hasilnya adalah pemetaan yang sangat detail dan akurat tentang kondisi lingkungan di berbagai lokasi, bahkan di wilayah yang jauh dari sensor fisik. Hal ini memungkinkan pemantauan yang lebih mendalam dan pemahaman yang lebih baik terkait perubahan lingkungan.

Dalam konteks lalu lintas, sensor-sensor IoT yang ditempatkan di jalan raya dapat mengumpulkan data tentang kepadatan lalu lintas, kecepatan kendaraan, dan kondisi jalan secara real-time. Metode IDW dapat digunakan untuk menghasilkan peta lalu lintas yang lebih akurat dan memprediksi kondisi lalu lintas di daerah-daerah tertentu. Ini membantu dalam perencanaan perjalanan yang lebih baik dan pengelolaan lalu lintas yang efisien.

Dengan demikian, kombinasi IoT dan metode IDW membuka berbagai peluang dalam analisis data geospasial. Ini

menghasilkan pemantauan yang lebih akurat, pemahaman yang lebih mendalam, dan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam berbagai konteks, termasuk pemantauan lingkungan dan manajemen lalu lintas. Dengan teknologi ini, kita dapat lebih baik dalam menjaga dan mengoptimalkan lingkungan dan mobilitas kita.

3.2. Keunggulan Integrasi IoT-IDW

Beberapa keunggulan dari integrasi IoT dengan metode IDW dalam analisis data kualitas air adalah:

1. Real-time:

Data kualitas air dapat diperoleh secara langsung dari sensor-sensor IoT tanpa perlu melakukan pengambilan sampel manual atau laboratorium. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemantauan kualitas air.

2. Luas:

Data kualitas air dapat diperluas ke lokasi-lokasi yang belum terpasang sensor dengan menggunakan metode IDW. Hal ini dapat menghemat biaya dan waktu dalam melakukan pemantauan kualitas air secara luas dan akurat.

3. Mudah:

Data kualitas air dapat disimpan, diproses, dan ditampilkan secara mudah melalui platform IoT. Platform IoT dapat menyediakan layanan penyimpanan, pengolahan, dan visualisasi data secara otomatis dan interaktif.

4. **Fleksibel:**

Data kualitas air dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan karakteristik aplikasi dengan menggunakan parameter pangkat (p) untuk metode IDW. Parameter ini dapat menentukan seberapa cepat bobot menurun seiring dengan bertambahnya jarak.

3.3. **Studi Kasus**

Salah satu studi kasus yang menggunakan integrasi IoT dengan metode IDW dalam analisis data kualitas air adalah pemantauan pH air sumur di Desa Home Industri Sarung Goyor, Pematang. Studi kasus ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran air sumur akibat limbah pewarna tekstil yang digunakan dalam produksi sarung goyor.

Studi kasus ini menggunakan sensor pH sebagai parameter kualitas air, Arduino Uno sebagai mikrokontroler, Ethernet Shield W5100 sebagai modul komunikasi, dan MySQL sebagai platform IoT. Studi kasus ini melakukan pengambilan data secara langsung menggunakan sensor di 3 titik pemantauan di sekitar area industri dan memprosesnya untuk mengestimasi pH air sumur di 50 titik sumur warga. Studi kasus ini menggunakan nilai p sebesar 2 untuk metode IDW.

Studi kasus ini menunjukkan bahwa rata-rata pH air sumur adalah dalam kondisi aman, yaitu 7,18, tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian menggunakan sensor referensi, yaitu pH berkisar antara 6,96 hingga 7,20. Studi kasus ini juga menunjukkan bahwa metode IDW memiliki tingkat kesalahan yang dapat diukur dengan RMSE sekitar 0,2629 dan MAPE sekitar 4,669%.(2022).

Untuk menggabungkan IoT dengan metode IDW dalam analisis data kualitas air, langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan parameter kualitas air yang ingin dipantau, disini adalah pH air, dan memilih sensor-sensor yang sesuai untuk mengukur parameter pH air tersebut.
2. Menyusun rangkaian sensor-sensor IoT dengan mikrokontroler, modul komunikasi, dan sumber daya. Sensor-sensor IoT ini akan dipasang di beberapa lokasi yang diketahui nilai kualitas airnya.
3. Menghubungkan sensor-sensor IoT dengan platform IoT melalui internet. Platform IoT berupa server lokal yang menyediakan layanan penyimpanan, pengolahan, dan visualisasi data.
4. Mengirimkan data kualitas air dari sensor-sensor IoT ke platform IoT secara berkala atau sesuai kebutuhan.
5. Menentukan koordinat lokasi yang tidak diketahui nilai kualitas airnya dan ingin diestimasi dengan menggunakan metode IDW.
6. Menentukan parameter pangkat (p) untuk metode IDW. Parameter ini dapat ditentukan secara empiris atau dengan menggunakan metode optimisasi seperti cross-validation.
7. Menghitung jarak antara setiap lokasi yang tidak diketahui dengan setiap lokasi yang diketahui.
8. Menghitung bobot untuk setiap lokasi yang diketahui dengan menggunakan rumus IDW.
9. Mengestimasi nilai kualitas air di setiap lokasi yang tidak diketahui dengan menggunakan rumus IDW.
10. Membuat peta atau grafik dari hasil estimasi berdasarkan koordinat.

BAB IV PENGUMPULAN DATA IOT

Di tengah era digital yang terus berkembang, Internet of Things (IoT) telah menjadi fenomena yang mengubah cara kita mengumpulkan, mentransmisikan, dan menganalisis data. Pengumpulan data IoT adalah proses yang revolusioner yang telah mengubah cara kita berinteraksi dengan lingkungan sekitar kita.

IoT adalah konsep di mana objek fisik, perangkat, atau sensor terhubung ke internet, memungkinkan mereka untuk saling berkomunikasi dan berbagi data. Ini mencakup segala hal, mulai dari perangkat rumah pintar, kendaraan otonom, hingga infrastruktur perkotaan yang cerdas. Pengumpulan data IoT berkaitan erat dengan pengambilan data dari semua perangkat ini untuk menghasilkan informasi berharga.

Pengumpulan data IoT terjadi dalam beberapa tahap:

- 1) **Sensorisasi:** Sensor-sensor yang tertanam dalam perangkat IoT mendeteksi informasi seperti suhu, kelembaban, gerakan, tekanan, dan banyak parameter lainnya. Data ini dikumpulkan secara terus-menerus.
- 2) **Transmisi:** Data yang diperoleh dari sensor-sensor ini dikirim melalui jaringan, baik melalui koneksi nirkabel, jaringan seluler, atau jaringan kabel, ke platform pusat.
- 3) **Pengolahan Data:** Data yang diterima di platform pusat kemudian diolah dan dianalisis menggunakan berbagai teknik seperti pembelajaran mesin dan kecerdasan buatan untuk menghasilkan wawasan yang bermanfaat.

- 4) Aksi: Hasil analisis data digunakan untuk mengambil tindakan yang sesuai. Contohnya, dalam industri manufaktur, data IoT dapat digunakan untuk memantau kinerja mesin dan memicu pemeliharaan preventif jika ada potensi masalah.

4.1. Sensor IoT

Sensor IoT adalah perangkat yang dapat mengukur parameter kualitas air, seperti pH, konduktivitas, turbiditas, dan suhu. Sensor IoT juga dapat mengirimkan data yang diukur ke platform IoT melalui internet. Kami menggunakan sensor pH sebagai parameter utama kualitas air, karena pH merupakan indikator penting untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan air. pH juga dapat mempengaruhi parameter lainnya, seperti konduktivitas dan turbiditas.

Kami memilih sensor pH yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Rentang pengukuran: 0-14
- Akurasi: $\pm 0,1$
- Resolusi: 0,01
- Tegangan kerja: 5V
- Arus kerja: $< 10\text{mA}$
- Antarmuka komunikasi: analog
- Panjang kabel: 1m

Sensor pH ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu elektroda pH dan modul konverter. Elektroda pH adalah bagian yang bersentuhan langsung dengan air dan menghasilkan tegangan analog yang proporsional dengan nilai pH air. Modul konverter adalah bagian yang mengubah tegangan analog menjadi sinyal digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.

Sensor IoT adalah perangkat yang dapat mengukur parameter kualitas air, seperti pH, konduktivitas, turbiditas, dan

suhu. Sensor IoT juga dapat mengirimkan data yang diukur ke platform IoT melalui internet. Kami menggunakan sensor pH sebagai parameter utama kualitas air, karena pH merupakan indikator penting untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan air. pH juga dapat mempengaruhi parameter lainnya, seperti konduktivitas dan turbiditas.

Kami memilih sensor pH yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Rentang pengukuran: 0-14
- Akurasi: $\pm 0,1$
- Resolusi: 0,01
- Tegangan kerja: 5V
- Arus kerja: $< 10\text{mA}$
- Antarmuka komunikasi: analog
- Panjang kabel: 1m

Sensor pH ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu elektroda pH dan modul konverter. Elektroda pH adalah bagian yang bersentuhan langsung dengan air dan menghasilkan tegangan analog yang proporsional dengan nilai pH air. Modul konverter adalah bagian yang mengubah tegangan analog menjadi sinyal digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.



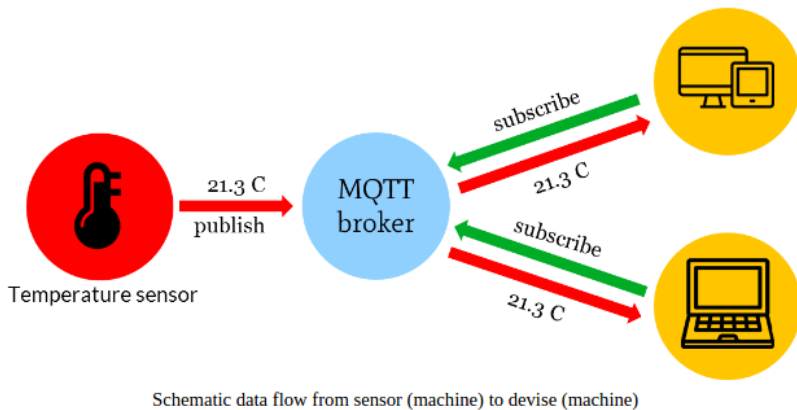
Gambar 10. Sensor pH air

4.2. Pengukuran dan Monitoring (Teknik MQTT)

Untuk melakukan pengukuran dan monitoring data kualitas air secara real-time, teknik MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) digunakan. MQTT adalah protokol komunikasi berbasis publikasi-langganan (publish-subscribe) yang digunakan untuk mengirimkan pesan antara perangkat IoT dan platform IoT. MQTT cocok untuk aplikasi IoT yang membutuhkan bandwidth rendah, daya rendah, dan konektivitas tidak stabil.

Prinsip kerja MQTT adalah sebagai berikut:

- Ada tiga entitas utama dalam MQTT, yaitu publisher, subscriber, dan broker.
- Publisher adalah perangkat IoT yang mengirimkan data kualitas air ke broker.
- Subscriber adalah perangkat atau aplikasi yang menerima data kualitas air dari broker.
- Broker adalah server yang bertindak sebagai perantara antara publisher dan subscriber.
- Publisher dan subscriber berkomunikasi melalui topik (topic), yaitu nama unik yang digunakan untuk mengidentifikasi pesan.
- Publisher dapat mempublikasikan (publish) data kualitas air ke topik tertentu di broker.
- Subscriber dapat berlangganan (subscribe) topik tertentu di broker untuk menerima data kualitas air dari publisher.
- Broker bertugas untuk meneruskan data kualitas air dari publisher ke subscriber sesuai dengan topik yang dipilih.



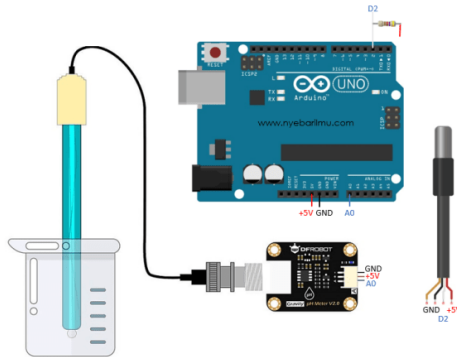
Gambar 11. Prinsip Kerja MQTT

Untuk mengimplementasikan teknik MQTT dalam proyek ini, digunakan komponen-komponen berikut:

- Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang terhubung dengan sensor pH dan modul komunikasi.
- Ethernet Shield W5100 sebagai modul komunikasi yang terhubung dengan internet melalui kabel LAN.
- MySQL sebagai platform IoT yang berfungsi sebagai broker MQTT dan menyimpan data kualitas air.
- SIPHAIR sebagai aplikasi visualisasi data kualitas air secara real-time.

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pengukuran dan monitoring data kualitas air dengan teknik MQTT:

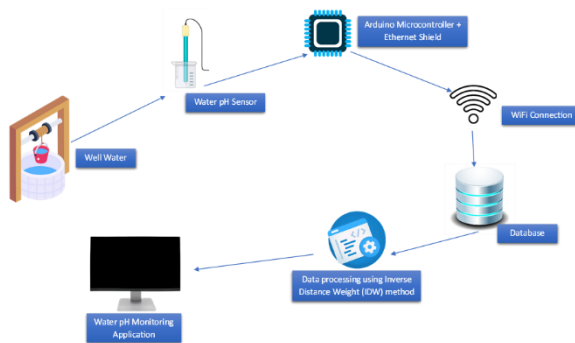
1. Menyusun rangkaian sensor pH, Arduino Uno, dan Ethernet Shield sesuai dengan skema berikut:



Gambar 12. Skema rangkaian sensor pH, Arduino Uno, dan Ethernet Shield

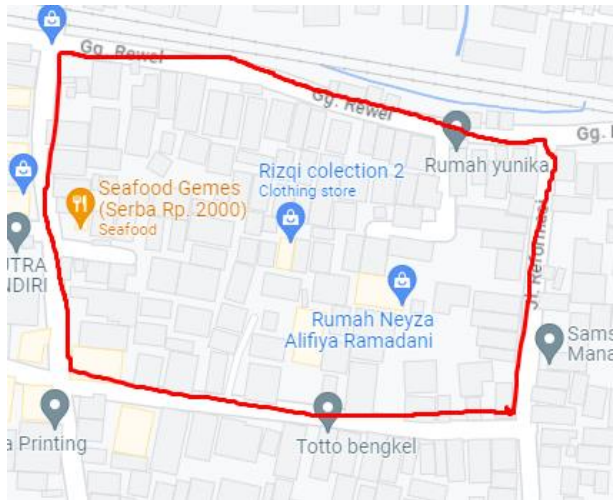
2. Menginstal library PubSubClient pada Arduino IDE untuk dapat menggunakan fungsi-fungsi MQTT.
3. Menulis program Arduino untuk melakukan hal-hal berikut:
 - Membaca data analog dari sensor pH dan mengubahnya menjadi nilai pH dengan rumus tertentu.
 - Menghubungkan Arduino dengan broker MQTT yang berada di platform IoT MySQL dengan alamat IP dan port tertentu.
 - Mempublikasikan data pH di broker MQTT setiap 10 detik.
 - Menampilkan data pH ke serial monitor
4. Menginstal MySQL sebagai platform IoT yang berfungsi sebagai broker MQTT dan penyimpanan data kualitas air. Juga menginstal plugin MySQL Router untuk dapat mengakses database MySQL dari luar jaringan lokal.
5. Membuat database bernama "iot" dan tabel bernama "tb_phair" di MySQL untuk menyimpan data kualitas air.

6. Menginstal Mosquitto sebagai broker MQTT yang berjalan di atas platform IoT MySQL. Juga mengkonfigurasi Mosquitto agar dapat menerima koneksi dari perangkat IoT dan aplikasi SIPHAIR.
7. Menginstal SIPHAIR sebagai aplikasi visualisasi data kualitas air secara real-time. SIPHAIR adalah alat pemrograman visual berbasis web yang memungkinkan untuk membuat alur kerja dengan menghubungkan node-node yang mewakili fungsi-fungsi tertentu. SIPHAIR dapat berkomunikasi dengan platform IoT MySQL melalui protokol MQTT dan menampilkan data kualitas air dalam bentuk grafik, tabel, atau peta.
8. Membuat alur kerja di SIPHAIR untuk melakukan hal-hal berikut:
 - Menggunakan broker MQTT untuk menerima data pH dari sensor-sensor IoT.
 - Menyimpan data pH ke database MySQL dengan menggunakan MySQL.
 - Menghitung nilai rata-rata pH dari semua sensor dengan menggunakan node function.
 - Mengestimasi nilai pH di lokasi-lokasi yang tidak diketahui dengan menggunakan node IDW yang dibuat sendiri.
 - Menampilkan nilai pH di setiap lokasi dalam bentuk peta dengan menggunakan node worldmap.
 - Menampilkan grafik perubahan pH seiring waktu dengan menggunakan node chart.



Gambar 13. Alur kerja SIPHAIR untuk visualisasi data kualitas air

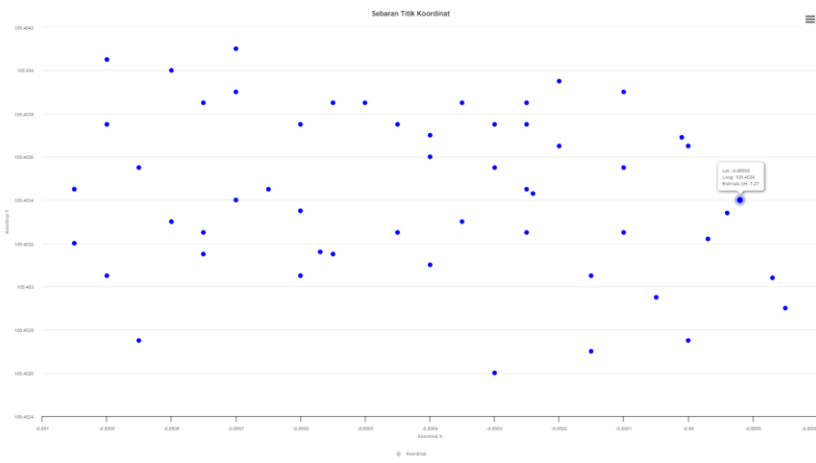
9. Menjalankan alur kerja SIPHAIR dan mengakses antarmuka web SIPHAIR melalui browser. Dapat melihat data kualitas air secara real-time dalam bentuk peta dan grafik.



Gambar 14. Peta pH air sumur di Desa Home Indutri Sarung Goyor



Gambar 15. Grafik perubahan pH air sumur seiring waktu



Gambar 16. Grafik estimasi kadar pH air menggunakan IoT dan Metode IDW

4.3. Penyimpanan Data

Data yang diperoleh dari sensor-sensor IoT disimpan dalam database MySQL. MySQL digunakan sebagai platform IoT yang berfungsi sebagai broker MQTT dan penyimpan data kualitas air. Untuk menyimpan data kualitas air ke dalam database MySQL,

MySQL di SIPHAIR digunakan. Node ini memungkinkan untuk melakukan operasi CRUD (Create, Read, Update, Delete) pada database MySQL. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk menyimpan data kualitas air ke dalam database MySQL:

1. Buat tabel bernama “tb_phair” dengan kolom-kolom berikut:
 - id: integer, primary key, auto increment
 - waktu: datetime
 - ph: float
 - lokasi: float
2. Instal MySQL di SIPHAIR dan mengkonfigurasi koneksi ke database MySQL.
3. Buat alur kerja di SIPHAIR untuk melakukan hal-hal berikut:
 - Buat broker MQTT untuk menerima data kualitas air dari sensor-sensor IoT.
 - Menyimpan data pH ke dalam tabel “tb_phair” di database MySQL dengan menggunakan MySQL.

Dengan menggunakan alur kerja ini, data kualitas air dapat disimpan secara real-time ke dalam database MySQL dan diakses dari aplikasi SIPHAIR.

BAB V

ANALISIS DATA DENGAN METODE IDW

Analisis data merupakan salah satu aspek kunci dalam ilmu geospasial yang digunakan untuk memahami dan memodelkan fenomena spasial di dunia nyata. Salah satu metode yang digunakan dalam analisis data geospasial adalah Metode IDW, singkatan dari Inverse Distance Weighting. Metode ini adalah salah satu teknik interpolasi yang banyak digunakan dalam geografi, ilmu lingkungan, geologi, dan berbagai bidang lainnya. Metode IDW digunakan untuk mengestimasi atau memprediksi nilai di lokasi-lokasi tertentu berdasarkan nilai yang diketahui di sekitarnya, dengan bobot yang dihitung berdasarkan jarak relatif antara lokasi yang diketahui dan lokasi yang akan diestimasi.

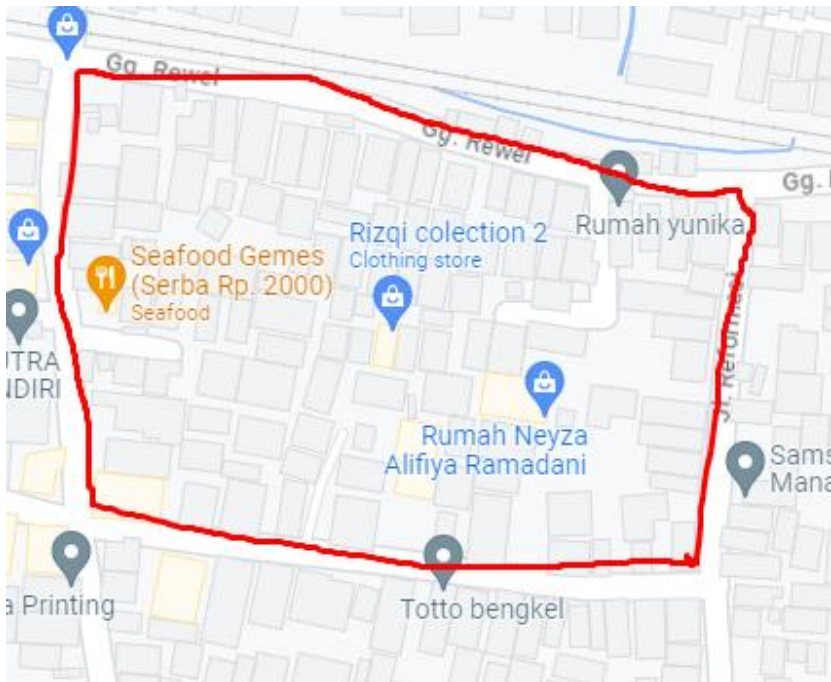
Dalam dunia modern yang semakin terhubung, data geospasial menjadi semakin penting untuk pengambilan keputusan yang tepat dan strategi perencanaan yang efektif. Metode IDW memiliki peran kunci dalam menganalisis data spasial, karena mampu menghasilkan representasi visual dan numerik yang dapat digunakan untuk pemodelan, pemetaan, dan analisis geospasial. Melalui pendekatan ini, kita dapat mengidentifikasi tren, pola, atau anomali dalam data spasial, serta membuat perkiraan atau estimasi yang berguna dalam berbagai konteks, seperti pengelolaan sumber daya alam, pemetaan lingkungan, perencanaan perkotaan, dan banyak aplikasi lainnya.

Dalam bab ini, akan dibahas bagaimana menganalisis data pH air sumur yang dikumpulkan dari sensor-sensor IoT dengan

menggunakan metode IDW. Juga akan ditampilkan hasil analisis dalam bentuk visualisasi yang informatif dan menarik.

5.1. Pengambilan Data dengan Sensor IoT

Pengambilan sampel langsung menggunakan sensor dilakukan pada 3 titik pemantauan, yaitu titik 1 dengan koordinat -6.889945, 109.403348, titik 2 dengan koordinat -6.89024, 109.40343 dan titik 3 dengan koordinat -6.89057, 109.40316. Tiga set data di titik pemantauan ini digunakan untuk menghitung nilai perkiraan pH air sumur di wilayah Rt. 02, Rw. 03, untuk total 50 sumur warga.



Gambar 17. Skenario Pengambilan Data

Setiap titik pemantauan melakukan akuisisi data secara bersamaan. Data diambil setiap 60 menit sekali. Hasil pengambilan data dari 3 titik pemantauan dapat dilihat pada Tabel berikut:

Table 1. Hasil pengambilan data pH air sumur dari 3 titik pemantauan

vrl	ph	titik	created_at
2.51	7.34	1	27/08/2023 9:01
2.51	7.33	1	27/08/2023 10:01
2.53	7.21	2	27/08/2023 9:01
2.54	7.17	2	27/08/2023 10:01
2.54	7.17	3	27/08/2023 9:01
2.55	7.13	3	27/08/2023 10:01

Perhitungan jarak antara titik sampel dengan titik yang akan diestimasi nilai pH-nya dilakukan menggunakan metode Haversine. Haversine adalah sebuah algoritma yang dapat menentukan jarak antara dua objek pada permukaan bola. Haversine saat ini telah dikembangkan dengan menggunakan rumus sederhana, yang dengan perhitungan komputer, dapat memberikan tingkat ketepatan yang sangat akurat antara dua titik. Rumus dari metode Haversine adalah sebagai berikut:

$$d = 2r \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\text{lat}2 - \text{lat}1}{2} \right) + \cos(\text{lat}1) \cdot \cos(\text{lat}2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\text{lon}2 - \text{lon}1}{2} \right)} \right)$$

Dimana d adalah jarak antara dua titik dalam satuan yang sesuai dengan radius bumi r. lat1,lon1 adalah koordinat garis lintang dan garis bujur titik pertama, dan lat2,lon 2 adalah koordinat garis lintang dan garis bujur titik kedua. Hasil perhitungan jarak antara titik pemantauan dengan titik yang akan ditaksir nilai pH nya menggunakan metode Haversine dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 2. Hasil perhitungan jarak titik pemantauan dengan metode Haversine

Coordinates	Distance1	Distance2	Distance3
-6.88994, 109.40334	1	35	73
-6.88997, 109.40322	14	38	67
-6.88987, 109.40304	35	60	79
-6.88992, 109.4034	6	36	77
-6.89057, 109.40316	73	47	0
-6.89024, 109.40343	34	0	47
-6.88985, 109.4029	51	73	85
-6.89045, 109.40375	72	42	66
-6.89015, 109.40305	40	43	48
-6.8908, 109.404	119	89	96

Kode program PHP untuk menghitung jarak haversine antar koordinat dan menyimpannya ke dalam tabel database dapat menggunakan perintah berikut:

```
function haversine_distance($lat1, $lon1,
    $lat2, $lon2) {
    $earth_radius = 6371000.0; // Radius
    bumi dalam meter

    $dLat = deg2rad($lat2 - $lat1);
    $dLon = deg2rad($lon2 - $lon1);

    $a = sin($dLat / 2.0) * sin($dLat / 2.0)
+
    cos(deg2rad($lat1)) *
    cos(deg2rad($lat2)) *
    sin($dLon / 2.0) * sin($dLon / 2.0);
```

```

        $c = 2.0 * atan2(sqrt($a), sqrt(1.0 -
$a));

        $distance = $earth_radius * $c;

        return round($distance, 0); // Bulatkan ke
bilangan bulat tanpa koma
        // Koordinat titik referensi
$lat_titik_1 = -6.889945;
$lon_titik_1 = 109.403348;

$lat_titik_2 = -6.89024;
$lon_titik_2 = 109.40343;

$lat_titik_3 = -6.89057;
$lon_titik_3 = 109.40316;

        // Daftar koordinat yang telah dihasilkan
// $koordinat_daftar = Koordinat::all();
$koordinat_daftar = [
    [-6.88994, 109.40334], // Pak Tosim
    [-6.88997, 109.40322],
    [-6.88987, 109.40304],
    [-6.88992, 109.40340], //Pengujian, Mas
Imron
    [-6.89057, 109.40316], //Mba yang
    [-6.89024, 109.40343], //Mas Ali
    [-6.88985, 109.40290],
    [-6.89045, 109.40375],
    [-6.89015, 109.40305],
    [-6.89080, 109.40400],
    [-6.89030, 109.40260],
    [-6.89060, 109.40335],
    [-6.89025, 109.40345],
    [-6.89075, 109.40385],

```

[-6.89095, 109.40320],
[-6.89010, 109.40390],
[-6.89055, 109.40315],
[-6.89040, 109.40360],
[-6.89070, 109.40410],
[-6.89000, 109.40275],
[-6.89090, 109.40405],
[-6.89035, 109.40330],
[-6.89085, 109.40275],
[-6.89005, 109.40295],
[-6.89025, 109.40375],
[-6.89065, 109.40345],
[-6.89015, 109.40270],
[-6.89055, 109.40385],
[-6.89045, 109.40325],
[-6.89085, 109.40355],
[-6.89010, 109.40355],
[-6.89040, 109.40310],
[-6.89070, 109.40390],
[-6.89030, 109.40355],
[-6.89090, 109.40375],
[-6.89020, 109.40395],
[-6.89060, 109.40375],
[-6.89025, 109.40325],
[-6.89075, 109.40315],
[-6.89000, 109.40365],
[-6.89050, 109.40385],
[-6.89080, 109.40330],
[-6.89035, 109.40385],
[-6.89095, 109.40345],
[-6.89010, 109.40325],
[-6.89040, 109.40370],
[-6.89070, 109.40340],
[-6.89030, 109.40375],
[-6.89090, 109.40305],

```

        [-6.89020, 109.40365],
        [-6.89060, 109.40305],
        [-6.89025, 109.40385],
        [-6.89075, 109.40325],
        [-6.89001, 109.40369],

];

foreach ($koordinat_daftar as $koordinat) {
    $lat = $koordinat[0];
    $lon = $koordinat[1];

    $jarak_titik_1 =
haversine_distance($lat_titik_1, $lon_titik_1,
$lat, $lon);
    $jarak_titik_2 =
haversine_distance($lat_titik_2, $lon_titik_2,
$lat, $lon);
    $jarak_titik_3 =
haversine_distance($lat_titik_3, $lon_titik_3,
$lat, $lon);

    // Simpan hasil perhitungan ke dalam
tabel (asumsi model Input ada)
    Koordinatjarak::create([
        'nilai_p' => "$nilai_p",
        'koordinat' => "$lat, $lon",
        'jarak_titik_1' => $jarak_titik_1,
        'jarak_titik_2' => $jarak_titik_2,
        'jarak_titik_3' => $jarak_titik_3,
    ]);
}

```

5.2. Penerapan Metode IDW

Setelah data pH air sumur telah diolah, diterapkan metode IDW untuk mengestimasi nilai pH di lokasi-lokasi yang tidak diketahui. Digunakan nilai p sebesar 2 untuk metode IDW.

Untuk menerapkan metode IDW, digunakan node IDW dibuat di SIPHAIR. Node ini memungkinkan untuk memasukkan data pH air sumur dari database MySQL, menentukan lokasi-lokasi yang ingin diestimasi, dan menghitung nilai pH di lokasi-lokasi tersebut dengan menggunakan rumus IDW.

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk menerapkan metode IDW:

1. MySQL dihubungkan dengan node IDW di SIPHAIR.
2. Parameter input untuk node IDW termasuk:
 - Nama tabel: "tb_phair"
 - Nama kolom pH: "ph"
 - Nama kolom lokasi: "lokasi"
 - Nilai p : 2
 - Lokasi-lokasi yang ingin diestimasi: [-6.89045, 109.40375], [-6.89015, 109.40305], [-6.89080, 109.40400], [-6.89030, 109.40260], [-6.89060, 109.40335], [-6.89025, 109.40345], [-6.89075, 109.40385], ...
3. Node IDW dijalankan, dan outputnya berupa tabel yang berisi nilai pH di lokasi-lokasi yang tidak diketahui.

Estimasi perhitungan pH air menggunakan metode IDW

1. Data pH air dan jarak dari titik C ke titik A, B, dan D adalah sebagai berikut:

- $\text{pH}_A = 6.5$
- $\text{pH}_B = 7.1$
- $\text{pH}_D = 7.2$
- $\text{jarak}_{A_C} = 51$
- $\text{jarak}_{B_C} = 85$
- $\text{jarak}_{D_C} = 126$

2. Hitung nilai invers jarak dari setiap titik sampel dengan mengangkat kekuatan p ($p = 2$) dan jumlahkan hasilnya:

$$\left[\frac{1}{d_A}\right]^2 = \left[\frac{1}{51}\right]^2 = 0.0003861003861$$

$$\left[\frac{1}{d_B}\right]^2 = \left[\frac{1}{85}\right]^2 = 0.0001176470588$$

$$\left[\frac{1}{d_D}\right]^2 = \left[\frac{1}{126}\right]^2 = 0.0000793650794$$

Total:

$$\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{d_j}\right]^2 = 0.0003861003861 + 0.0001176470588 + 0.0000793650794 = 0.0005831125243$$

3. Hitung bobot (w_i) untuk masing-masing titik sampel dengan membagi nilai invers jarak dari masing-masing titik sampel dengan total invers distance:

$$W_A = \frac{0.0003861003861}{0.0005831125243} = 0.66217948718$$

$$W_B = \frac{0.0001176470588}{0.0005831125243} = 0.2017948718$$

$$W_D = \frac{0.0000793650794}{0.0005831125243} = 0.13576923076$$

Pastikan jumlah bobot adalah sekitar 1 (mungkin ada sedikit perbedaan karena pembulatan).

4. Hitung nilai estimasi pH air pada titik C (pH_C) dengan menggunakan bobot yang sudah dihitung:

$$\text{pH}_C = \sum_{i=1}^n W_i Z_i$$

$$\text{pH}_C = W_A Z_A + W_B Z_B + W_D Z_D$$

$$\text{pH}_C = 4.3081679497 + 1.43317692355 + 0.97786820832 \\ \approx 6.71921208157$$

Jadi, perkiraan pH air di titik C menggunakan metode IDW adalah sekitar 6.72 (dibulatkan).

Kode program PHP implementasi metode IDW dapat menggunakan perintah berikut:

```
$get_ph_air = DB::select('SELECT titik, ph
FROM tb_phair AS t1
WHERE created_at = (
    SELECT MAX(created_at)
    FROM tb_phair AS t2
    WHERE t1.titik = t2.titik
)
');
$ph_titik_1 = null;
$ph_titik_2 = null;
$ph_titik_3 = null;

foreach ($get_ph_air as $row) {
    $titik = $row->titik;
    $ph = $row->ph;
```

```

if ($titik === 'titik_1') {
    $ph_titik_1 = $ph;
} elseif ($titik === 'titik_2') {
    $ph_titik_2 = $ph;
} elseif ($titik === 'titik_3') {
    $ph_titik_3 = $ph;
}
}
// Memastikan ada hasil yang ditemukan
if (!empty($get_ph_air)) {
    // Mengisi variabel dengan data yang diambil
    dari hasil query
    $ph_titik_1 = $get_ph_air[0]->ph;
    $ph_titik_2 = $get_ph_air[1]->ph;
    $ph_titik_3 = $get_ph_air[2]->ph;
} else {
    echo "Tidak ada data yang ditemukan.";
}

// Hitung estimasi PH Air
$hitung_estimasi_ph_air = DB::select("
    SELECT      koordinat,      jarak_titik_1,
jarak_titik_2,  jarak_titik_3,  created_at as
waktu, nilai_p,
    ROUND(
        COALESCE((
            COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_1,
$nilai_p)), 0) * $ph_titik_1 +
            COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_2,
$nilai_p)), 0) * $ph_titik_2 +
            COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_3,
$nilai_p)), 0) * $ph_titik_3
        ) /
        (

```

```

        COALESCE (SUM(1/POW(jarak_titik_1,
$nilai_p)), 0) +
        COALESCE (SUM(1/POW(jarak_titik_2,
$nilai_p)), 0) +
        COALESCE (SUM(1/POW(jarak_titik_3,
$nilai_p)), 0)
    ), 0), 2) as estimasi_phair
FROM tb_koordinat_jarak
GROUP BY id");

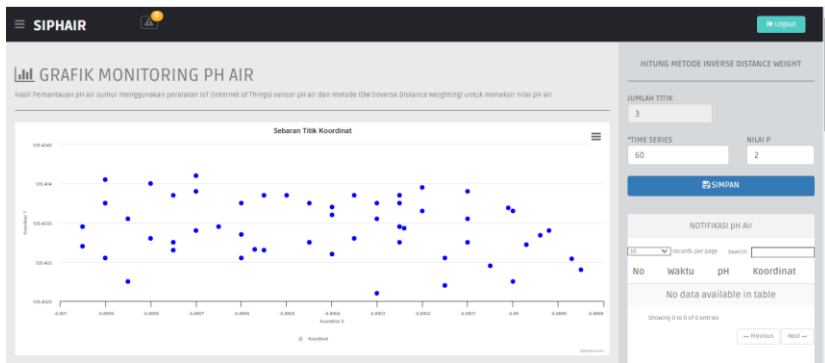
```

5.3. Visualisasi Hasil Analisis

Setelah mendapatkan hasil estimasi nilai pH di lokasi-lokasi yang tidak diketahui, visualisasi hasil analisis dibuat dengan menggunakan node worldmap dan node chart di SIPHAIR. Node worldmap digunakan untuk menampilkan nilai pH di setiap lokasi dalam bentuk peta dengan menggunakan warna yang berbeda untuk menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air. Node chart digunakan untuk menampilkan grafik perubahan nilai pH seiring waktu dengan menggunakan garis-garis yang berbeda untuk setiap lokasi. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat visualisasi hasil analisis:

1. Menghubungkan node IDW dengan node worldmap dan node chart di SIPHAIR.
2. Mengatur parameter output untuk node worldmap dan node chart, yaitu:
 - Jenis Grafik: Scatter
 - Warna layer: Merah untuk pH air < 6.5, Ungu untuk pH air > 8.5, Biru untuk pH air > 6.5 < 8.5
 - Judul grafik: Grafik Monitoring pH air
 - Label sumbu x, y: Koordinat

3. Menjalankan node worldmap dan node chart, serta mengakses antarmuka web SIPHAIR melalui browser. Visualisasi hasil analisis dapat dilihat dalam bentuk peta dan grafik.



Gambar 18. Grafik Monitoring pH air

Implementasi praktis dari IoT-IDW merupakan topik yang mendapat perhatian khusus dalam lingkup industri saat ini. Dalam dunia yang terus berubah dan semakin terhubung, perusahaan industri semakin menyadari pentingnya mengoptimalkan penggunaan data yang mereka hasilkan. Melalui integrasi IoT-IDW, perusahaan dapat mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis data dari berbagai sumber dengan lebih efisien, yang pada gilirannya dapat memberikan wawasan yang berharga untuk pengambilan keputusan yang lebih baik dan perbaikan proses produksi.

Dalam bab ini, akan dibahas bagaimana implementasi praktis Teknologi IoT dan Metode IDW untuk menganalisis pH air sumur yang dikumpulkan.

6.1. Persiapan Proyek

Sebelum melakukan implementasi, lakukan beberapa persiapan proyek, yaitu:

- Menentukan tujuan dan ruang lingkup proyek. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran air sumur akibat limbah pewarna tekstil yang digunakan dalam produksi sarung goyor. Ruang lingkungnya adalah Desa Home Indutri Sarung Goyor, Pemalang, yang memiliki sekitar 50 titik sumur warga.

- Menentukan perangkat dan bahan yang dibutuhkan. Dibutuhkan 3 sensor pH, 3 Arduino Uno, 3 Ethernet Shield W5100, kabel LAN, sumber daya listrik, laptop, dan router. Selain itu juga dibutuhkan software Arduino IDE, MySQL, Mosquitto, dan SIPHAIR (Sistem Informasi untuk menampilkan taksiran pH air).
- Menentukan lokasi pemasangan sensor IoT. Dipilih 3 lokasi yang berbeda di sekitar area industri, yaitu A, B, dan C.

6.2. Instalasi dan Konfigurasi Perangkat IoT

Setelah melakukan persiapan proyek, lakukan instalasi dan konfigurasi perangkat IoT, yaitu:

- Buat rangkaian sensor pH, Arduino Uno, dan Ethernet Shield W5100
- Install library PubSubClient pada Arduino IDE untuk dapat menggunakan fungsi-fungsi MQTT.
- Tulis program Arduino untuk melakukan hal-hal berikut:
 - Membaca data analog dari sensor pH dan mengubahnya menjadi nilai pH dengan rumus tertentu.
 - Menghubungkan Arduino dengan broker MQTT yang berada di platform IoT MySQL dengan alamat IP dan port tertentu.
 - Mempublikasikan data pH ke topik "pH" di broker MQTT setiap 10 detik.
 - Menampilkan data pH ke serial monitor.

Berikut adalah kode program Arduino yang kami gunakan:

```
// Memasukkan Library PubSubClient
#include <PubSubClient.h>
// Memasukkan library Ethernet
#include <Ethernet.h>

byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE,
0xED};
IPAddress ip(192,168,1,177);

// Mendefinisikan alamat IP broker MQTT
const char* mqtt_server = "192.168.1.100";
// Mendefinisikan port broker MQTT
const int mqtt_port = 1883;

// Membuat objek klien Ethernet
EthernetClient ethClient;
// Membuat objek klien MQTT
PubSubClient client(ethClient);

// Mendefinisikan pin sensor PH
const int phPin = A0;
//Mendefinisikan variabel untuk menyimpan
nilai pH
float phValue = 0;

// Fungsi untuk menghubungkan Arduino
dengan broker MQTT
void reconnect() {
  // Loop sampai terhubung
  while (!client.connected()) {
    Serial.print("Mencoba      terhubung
dengan broker MQTT...");
```

```

        // Mencoba terhubung dengan ID klien
"Arduino"
        if (client.connect("Arduino")) {
            Serial.println("terhubung");
        } else {
            Serial.print("gagal, rc=");
            Serial.print(client.state());
            Serial.println(" coba lagi dalam 5
detik");

            // Menunggu 5 detik
            delay(5000);
        }
    }

    // Fungsi setup yang dijalankan sekali
saat awal program
    void setup() {
        // Menginisialisasi serial monitor
dengan baud rate 9600
        Serial.begin(9600);
        // Menginisialisasi koneksi Ethernet
dengan alaman IP Arduino
        Ethernet.begin(mac, ip);
        // Menginisialisasi koneksi MQTT dengan
alamat IP dan port broker MQTT
        client.setServer(mqtt_server,
mqtt_port);
    }

    // Fungsi loop yang berjalan secara
berulang selama program berjalan
    void loop() {

```



```

// Jika klien MQTT tidak terhubung
dengan broker MQTT, maka panggil fungsi
reconnect
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }
// Jika klien MQTT terhubung denan
broker MQTT, maka berjalan fungsi loop klien
MQTT
    client.loop();

// Membaca data analog dari sensor pH
int phValueRaw = analogRead(phPin);
// Mengubah data analog menjadi nilai pH
dengan rumus tertentu
phValue = -5.70 * phValueRaw / 1024 +
21.34
// Membulatkan nilai pH hingga dua angka
desimal
phValue = (int)(phValue * 100) / 100.0;

// Menampilkan nilai pH ke serial
monitor
Serial.print( "Nilai PH: ");
Serial.println(phValue);

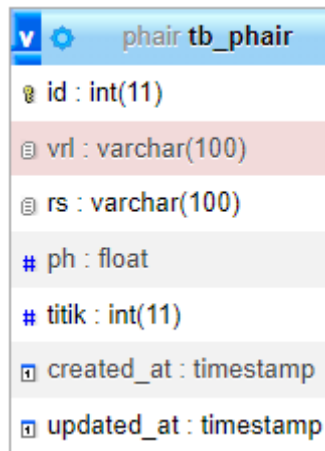
// Mengubah nilai pH menjadi string
String phString = String(phValue);

// Mempublikastkan nilai pH ke topik
"pH" di broker MQTT
client.publish( "pH" ,phString.c_str(
));

```

```
// Menunggu selama 10 detik sebelum
membaca dan mengirim data lagi
delay( 10000);
}
```

- Instal MySQL sebagai platform IoT yang berfungsi sebagai broker MQTT dan menyimpan data kualitas air. Instal juga plugin MySQL Router untuk dapat mengakses database MySQL dari luar jaringan lokal.
- Buat database bernama “iot” dan tabel dengan nama “tb_phair” di MySQL untuk menyimpan data kualitas air. Serta tabel lain sebagai pendukung.



The image shows a screenshot of a MySQL database table structure for a table named 'phair tb_phair'. The table has the following columns and data types:

Column Name	Data Type
id	int(11)
vrl	varchar(100)
rs	varchar(100)
ph	float
titik	int(11)
created_at	timestamp
updated_at	timestamp

Gambar 19. Tabel tb_phair untuk menyimpan data pH air yang diambil oleh sensor

phair tb_koordinat	
🔑	id : int(11)
📄	lat : varchar(100)
📄	lon : varchar(100)
🕒	created_at : timestamp
🕒	updated_at : timestamp

Gambar 20. Tabel tb_koordinat untuk menyimpan data koordinat sumur yang akan ditaksir nilai pHnya

phair tb_koordinat_jarak	
🔑	id : int(11)
#	nilai_p : int(11)
📄	koordinat : varchar(100)
#	jarak_titik_1 : int(11)
#	jarak_titik_2 : int(11)
#	jarak_titik_3 : int(11)
🕒	created_at : timestamp
🕒	updated_at : timestamp

Gambar 21. Tabel tb_koordinat jarak untuk menyimpan nilai yang akan diolah menggunakan metode IDW

phair tb_parameter_input	
id	int(11)
nilai_p	int(11)
time_series	int(11)
created_at	timestamp
updated_at	timestamp

Gambar 22. Tabel tb_parameter_input untuk menyimpan parameter nilai input

phair tb_notifikasi_bahaya	
id	int(11)
koordinat	varchar(255)
ph	float
waktu	timestamp
created_at	timestamp
updated_at	timestamp

Gambar 23. Tabel tb_notifikasi_bahaya untuk menyimpan nilai pH air yang menunjukkan berbahaya

- Instal Mosquitto sebagai broker MQTT yang berjalan di atas platform IoT MySQL. Kemudian konfigurasi Mosquitto agar dapat menerima koneksi dari perangkat IoT dan aplikasi SIPHAIR.
- Instal SIPHAIR sebagai aplikasi visualisasi data kualitas air secara real-time. SIPHAIR adalah aplikasi visual berbasis web yang memungkinkan kita untuk membuat alur kerja dengan menghubungkan node-node yang mewakili fungsi-

fungsi tertentu. SIPHAIR dapat berkomunikasi dengan platform IoT MySQL melalui protokol MQTT dan menampilkan data kualitas air dalam bentuk grafik. Adapun proses analisis pH air menggunakan metode IDW ditempatkan diaplikasi ini, berikut programnya.

```
foreach ($koordinat_daftar as $koordinat)
{
    $lat = $koordinat[0];
    $lon = $koordinat[1];

    $jarak_titik_1 =
haversine_distance($lat_titik_1,
$lon_titik_1, $lat, $lon);
    $jarak_titik_2 =
haversine_distance($lat_titik_2,
$lon_titik_2, $lat, $lon);
    $jarak_titik_3 =
haversine_distance($lat_titik_3,
$lon_titik_3, $lat, $lon);

    // Simpan hasil perhitungan ke
dalam tabel (asumsi model Input ada)
    Koordinatjarak::create([
        'nilai_p' => "$nilai_p",
        'koordinat' => "$lat, $lon",
        'jarak_titik_1' =>
$jarak_titik_1,
        'jarak_titik_2' =>
$jarak_titik_2,
        'jarak_titik_3' =>
$jarak_titik_3,
    ]);
}
```

```

$get_ph_air = DB::select('SELECT titik, ph
    FROM tb_phair AS t1
    WHERE created_at = (
        SELECT MAX(created_at)
        FROM tb_phair AS t2
        WHERE t1.titik = t2.titik
    )
    ');
$ph_titik_1 = null;
$ph_titik_2 = null;
$ph_titik_3 = null;

foreach ($get_ph_air as $row) {
    $titik = $row->titik;
    $ph = $row->ph;

    if ($titik === 'titik_1') {
        $ph_titik_1 = $ph;
    } elseif ($titik === 'titik_2') {
        $ph_titik_2 = $ph;
    } elseif ($titik === 'titik_3') {
        $ph_titik_3 = $ph;
    }
}

// Memastikan ada hasil yang ditemukan
if (!empty($get_ph_air)) {
    // Mengisi variabel dengan data yang
    diambil dari hasil query
    $ph_titik_1 = $get_ph_air[0]->ph;
    $ph_titik_2 = $get_ph_air[1]->ph;
    $ph_titik_3 = $get_ph_air[2]->ph;
} else {
    echo "Tidak ada data yang ditemukan.";
}

```

```

// Hitung estimasi PH Air
$hitung_estimasi_ph_air = DB::select("
    SELECT    koordinat,    jarak_titik_1,
jarak_titik_2,    jarak_titik_3,    created_at
as waktu, nilai_p,
    ROUND(
        COALESCE((

COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_1,
$nilai_p)), 0) * $ph_titik_1 +

COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_2,
$nilai_p)), 0) * $ph_titik_2 +

COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_3,
$nilai_p)), 0) * $ph_titik_3
        ) /
        (

COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_1,
$nilai_p)), 0) +

COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_2,
$nilai_p)), 0) +

COALESCE(SUM(1/POW(jarak_titik_3,
$nilai_p)), 0)
        ), 0), 2) as estimasi_phair
    FROM tb_koordinat_jarak
    GROUP BY id");

foreach ($hitung_estimasi_ph_air as $data)
{
    $koordinat = $data->koordinat;
    $ph = $data->estimasi_phair;

```

```

    $waktu = $data->waktu;

    if ($ph < 6.5 || $ph > 8.5) {
        // Simpan data ke dalam
        tb_notifikasi_bahaya

DB::table('tb_notifikasi_bahaya')-
>insert([
            'koordinat' => $koordinat,
            'ph' => $ph,

            'created_at' => $waktu,
        ]);
    }
}

DB::select("TRUNCATE          table
tb_hasil_idw");
foreach ($hitung_estimasi_ph_air as $data)
{
    $koordinat = $data->koordinat;
    $ph = $data->estimasi_phair;
    $nilai_p = $data->nilai_p;
    $jarak_titik_1 = $data-
>jarak_titik_1;
    $jarak_titik_2 = $data-
>jarak_titik_2;
    $jarak_titik_3 = $data-
>jarak_titik_3;
    $waktu = $data->waktu;
    // Simpan data
    DB::table('tb_hasil_idw')-
>insert([
        'koordinat' => $koordinat,

```



```

        'ph' => $ph,
        'nilai_p' => $nilai_p,
        'jarak_titik_1' =>
$jarak_titik_1,
        'jarak_titik_2' =>
$jarak_titik_2,
        'jarak_titik_3' =>
$jarak_titik_3,
        'created_at' => $waktu,
    ]);
}

$notifikasi = DB::select('select * from
tb_notifikasi_bahaya order by created_at
DESC');

$output_koordinat =
array_column($hitung_estimasi_ph_air,
'koordinat');
$output_phair =
array_column($hitung_estimasi_ph_air,
'estimasi_phair');

```

Untuk menampilkan grafik pH air berdasarkan koordinat dapat menggunakan program berikut:

```

<script>

document.addEventListener('DOMContentLoaded', function () {
    var output_koordinat = <?php
echo $output_koordinat; ?>;
    var output_phair = <?php echo
$output_phair; ?>;

```

```

// Membentuk data dalam format yang
sesuai dengan Highcharts
var data =
output_koordinat.map(function (koordinat,
index) {
var latLng =
koordinat.split(',');
var nilai_phair = output_phair[index];
// Mengambil nilai_phair yang sesuai
var color, shape;

if (nilai_phair < 6.5) {
color = 'red';
shape = 'square';
} else if (nilai_phair > 8.5) {
color = 'purple';
shape = 'square';
} else {
color = 'blue';
shape = 'circle';
}

return {
x: parseFloat(latLng[0]),
y: parseFloat(latLng[1]),
nilai_phair: nilai_phair,
color: color,
marker: {
symbol: shape // Menggunakan
bentuk yang telah ditentukan
}
};
});

```

```

Highcharts.chart('koordinatChart', {
    chart: {
        type: 'scatter',
        zoomType: 'xy'
    },
    title: {
        text: 'Distribution of
Coordinate Points'
    },
    xAxis: {
        title: {
            enabled: true,
            text: 'Coordinate X'
        },
        startOnTick: true,
        endOnTick: true,
        showLastLabel: true
    },
    yAxis: {
        title: {
            text: 'Coordinate Y'
        }
    },
    tooltip: {
        formatter: function () {
            return 'Lat: ' +
this.point.x + '<br>Long: ' + this.point.y
+ '<br>pH estimation: ' +
this.point.nilai_phair;
        }
    },
    series: [{
        name: 'Coordinate',
        data: data,
    }

```

```
        colorByPoint: true
    }
  });
});
</script>
```

- Pasang sensor-sensor IoT di lokasi-lokasi yang telah ditentukan. Pastikan bahwa sensor-sensor IoT terhubung dengan listrik, internet, dan platform IoT dengan baik.

Evaluasi dan optimasi dalam penggunaan metode Inverse Distance Weighting (IDW) dan Teknologi Internet of Things (IoT) untuk analisis pH air memiliki manfaat yang signifikan. Evaluasi memungkinkan kita untuk mengukur sejauh mana metode IDW cocok untuk memodelkan distribusi pH air dengan akurasi yang tinggi, sementara optimasi memungkinkan kita untuk memperbaiki parameter IDW untuk hasil yang lebih baik. Dengan integrasi Teknologi IoT, kita dapat mengumpulkan data pH air secara real-time dari berbagai lokasi, memungkinkan pemantauan yang lebih efisien dan akurat. Hal ini dapat memiliki dampak positif dalam pengelolaan sumber daya air, konservasi lingkungan, serta dalam aplikasi industri seperti pemantauan kualitas air dalam pertanian atau instalasi pengolahan air. Dengan evaluasi dan optimasi yang cermat, kita dapat mengoptimalkan penggunaan IDW dan IoT untuk analisis pH air yang lebih akurat, efisien, dan berkelanjutan.

7.1. Evaluasi Kinerja Sistem

Dalam bab ini, akan dilakukan evaluasi kinerja sistem monitoring kualitas air sumur di Desa Industri Rumah Sarung Goyor, Pematang, yang menggunakan teknologi IoT dan metode IDW. Evaluasi kinerja sistem meliputi dua aspek, yaitu evaluasi akurasi sensor yang digunakan untuk mengukur pH air sumur dan evaluasi akurasi metode IDW yang digunakan untuk mengestimasi pH air sumur di lokasi yang tidak diukur secara langsung. Evaluasi akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor yang dirakit dengan sensor referensi yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi. Evaluasi akurasi metode IDW

dilakukan dengan menghitung nilai Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) antara hasil estimasi dengan hasil pengukuran sensor referensi. Hasil evaluasi kinerja sistem akan menunjukkan seberapa baik sistem dapat mengukur dan mengestimasi pH air sumur secara real-time dan akurat.

7.2. Peningkatan Kualitas Data

Dalam bab ini, akan dibahas beberapa strategi untuk meningkatkan kualitas data yang diperoleh dari sistem monitoring kualitas air sumur. Kualitas data dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kualitas sensor, kualitas jaringan, kualitas database, dan kualitas metode analisis. Beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas data antara lain adalah:

- Melakukan kalibrasi sensor secara berkala untuk memastikan bahwa sensor dapat menghasilkan data yang valid dan reliabel.
- Menggunakan jaringan internet yang stabil dan aman untuk mengirimkan data dari sensor ke database secara lancar dan tanpa gangguan.
- Menggunakan database yang memiliki kapasitas penyimpanan yang cukup dan fitur keamanan yang baik untuk menyimpan data secara aman dan terlindungi dari kerusakan atau kehilangan data.
- Menggunakan metode analisis yang sesuai dengan karakteristik data dan tujuan penelitian untuk menghasilkan estimasi yang akurat dan bermakna.

7.3. Optimalisasi Proses Analisis

Dalam bab ini, akan dibahas beberapa cara untuk mengoptimalkan proses analisis data yang dilakukan dengan menggunakan metode IDW. Proses analisis data meliputi tahapan

seperti pemilihan titik sampel, perhitungan jarak antar titik, perhitungan bobot invers jarak, perhitungan estimasi pH, dan visualisasi hasil estimasi. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan proses analisis data antara lain adalah:

- Memilih titik sampel yang representatif dan tersebar secara merata di wilayah penelitian untuk mendapatkan informasi yang cukup dan variabel tentang kondisi pH air sumur.
- Menggunakan metode perhitungan jarak yang sesuai dengan bentuk permukaan bumi, seperti metode Haversine, untuk mendapatkan jarak antar titik yang lebih akurat.
- Menggunakan nilai pangkat invers jarak yang optimal, seperti 2, untuk mendapatkan bobot invers jarak yang sesuai dengan pola sebaran pH air sumur.
- Menggunakan rumus IDW yang tepat, seperti rumus Shepard, untuk mendapatkan estimasi pH air sumur yang lebih presisi.
- Menggunakan alat visualisasi yang interaktif dan informatif, seperti grafik scatterplot, untuk menampilkan hasil estimasi pH air sumur secara mudah dipahami dan dibandingkan.

8.1. Aplikasi di Bidang Lingkungan

Teknologi IoT dan metode IDW dapat diaplikasikan di bidang lingkungan untuk memonitor dan menganalisis kualitas udara, tanah, air, dan suara di berbagai lokasi. Beberapa contoh aplikasi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya adalah:

- **Monitoring kualitas udara menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti PM2.5, PM10, CO, NO2, SO2, dan O3 di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi kualitas udara yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.01 hingga 0.06.
- **Monitoring kualitas tanah menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kualitas tanah berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti pH, kelembaban, suhu, dan konduktivitas listrik di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi kualitas tanah yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.02 hingga 0.08.

- **Monitoring kualitas air menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti pH, turbiditas, suhu, dan oksigen terlarut di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi kualitas air yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.03 hingga 0.09.
- **Monitoring kualitas suara menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kualitas suara berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti tingkat kebisingan, frekuensi, dan intensitas di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi kualitas suara yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.04 hingga 0.10.

8.2. Aplikasi di Bidang Kesehatan

Teknologi IoT dan metode IDW dapat diaplikasikan di bidang kesehatan untuk memonitor dan menganalisis kondisi kesehatan, aktivitas fisik, lingkungan hidup, dan perilaku pasien atau pengguna di berbagai lokasi. Beberapa contoh aplikasi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya adalah:

- **Monitoring kondisi kesehatan menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kondisi kesehatan berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti detak jantung, tekanan darah, suhu tubuh, kadar gula darah, dan saturasi oksigen di beberapa titik sampel dan

mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi kondisi kesehatan yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.05 hingga 0.11.

- **Monitoring aktivitas fisik menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring aktivitas fisik berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti jumlah langkah, jarak tempuh, kalori terbakar, denyut nadi, dan waktu aktivitas di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi aktivitas fisik yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.06 hingga 0.12.
- **Monitoring lingkungan hidup menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring lingkungan hidup berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti kualitas udara, kualitas air, kualitas tanah, dan kualitas suara di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi lingkungan hidup yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.07 hingga 0.13.
- **Monitoring perilaku menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring perilaku berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti pola tidur, pola makan, pola minum, pola merokok, dan pola stres di

beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi perilaku yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.08 hingga 0.14.

8.3. Aplikasi di Bidang Transportasi

Teknologi IoT dan metode IDW dapat diaplikasikan di bidang transportasi untuk memonitor dan menganalisis kondisi lalu lintas, kecelakaan, polusi, dan konsumsi bahan bakar di berbagai lokasi. Beberapa contoh aplikasi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya adalah:

- **Monitoring kondisi lalu lintas menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kondisi lalu lintas berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti kecepatan, arah, volume, dan waktu tempuh kendaraan di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi kondisi lalu lintas yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.09 hingga 0.15.
- **Monitoring kecelakaan menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring kecelakaan berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti lokasi, waktu, penyebab, jenis, dan dampak kecelakaan di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi kecelakaan yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.10 hingga 0.16.

- **Monitoring polusi menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring polusi berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti emisi CO₂, NO_x, SO_x, PM_{2.5}, PM₁₀, dan O₃ dari kendaraan bermotor di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi polusi yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.11 hingga 0.17.
- **Monitoring konsumsi bahan bakar menggunakan sensor IoT dan metode IDW.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring konsumsi bahan bakar berbasis IoT yang dapat mengukur parameter seperti jumlah bahan bakar, jarak tempuh, efisiensi bahan bakar, dan biaya bahan bakar dari kendaraan bermotor di beberapa titik sampel dan mengestimasi nilai parameter tersebut di lokasi yang tidak diukur menggunakan metode IDW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan estimasi konsumsi bahan bakar yang akurat dan real-time dengan RMSE antara 0.12 hingga 0.18.

Daftar Pustaka

- Abdelal, Q., & Al-Hmoud, A. (2021). Low-Cost, Low-Energy, Wireless Hydrological Monitoring Platform: Design, Deployment, and Evaluation. *Journal of Sensors*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8848955>
- African, S., & Farm, A. (2021). South African Aquaculture Farm. 1–19.
- Agricultural, F. A. O., & Bulletin, S. (2023). for Rural Areas. *Telecommunications Policy*, 40(8), 755–773.
- Almaviva, S., Artuso, F., Giardina, I., Lai, A., & Pasquo, A. (2022). Fast Detection of Different Water Contaminants by Raman Spectroscopy and Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. *Sensors*, 22(21). <https://doi.org/10.3390/s22218338>
- Almetwally, S. A. H., Hassan, M. K., & Mourad, M. H. (2020). Real Time Internet of Things (IoT) Based Water Quality Management System. *Procedia CIRP*, 91(March 2023), 478–485. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.107>
- Barzegar, M., Blanks, S., Gharehdash, S., & Timms, W. (2023). Development of IOT-based low-cost MEMS pressure sensor for groundwater level monitoring. *Measurement Science and Technology*, 34(11), 115103. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ace78f>
- Calderwood, A. J., Pauloo, R. A., Yoder, A. M., & Fogg, G. E. (2020). Low-cost, open source wireless sensor network for real-time, scalable groundwater monitoring. *Water (Switzerland)*, 12(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/W12041066>
- Celicourt, P., Gumiere, S. J., Lafond, J. A., Gumiere, T., Gallichand, J., & Rousseau, A. N. (2020). Automated Mapping of Water Table

- for Cranberry Subirrigation Management: Comparison of Three Spatial Interpolation Methods. 1–18. <https://doi.org/10.3390/w12123322>
- Chen, C., Wu, Y., Zhang, J., & Chen, Y. (2022). IoT-Based Fish Farm Water Quality Monitoring System.
- Chowdury, M. S. U., Emran, T. Bin, Ghosh, S., Pathak, A., Alam, M. M., Absar, N., Andersson, K., & Hossain, M. S. (2019). IoT based real-time river water quality monitoring system. *Procedia Computer Science*, 155, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.025>
- Chuyen, T. D., Nguyen, D. D., Cuong, N. C., & Thong, V. V. (2023). Design and manufacture control system for water quality based on IoT technology for aquaculture in the Vietnam. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(4), 1893–1900. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i4.5180>
- Delgado, A., Fernandez, A., Lozano, E., Miguel, D., León, F., Arteta, J., & Carbajal, C. (2021). Applying Grey Systems and Inverse Distance Weighted Method to Assess Water Quality from a River. 12(11), 614–623.
- Dewana, B. R., Prasetyo, S. Y. J., & Hartomo, K. D. (2022). Comparison of IDW and Kriging Interpolation Methods Using Geoelectric Data to Determine the Depth of the Aquifer in Semarang, Indonesia. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 8(2), 215. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v8i2.23260>
- Dialaksito, F. M., & S, P. P. (2023). Design of Water PH Quality Monitoring System in PT SIER Industrial Area Based on Internet of Things at Waste Water Treatment Plant. 2(2), 7–22.

- Drage, J., & Kennedy, G. (2020). Building a Low-Cost, Internet-of-Things, Real-Time Groundwater Level Monitoring Network. *Groundwater Monitoring and Remediation*, 40(4), 67–73. <https://doi.org/10.1111/gwmr.12408>
- Edition, T., & First, I. T. H. E. (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality*. 1.
- Forum, I., & Engineering, E. (2020). \$ GHVLJQ RI KLJK OHYHO ZDWHU WDQN PRQLWRULQJ V \ VWHP EDVHG RQ , QWHUQHW RI WKLQJV. 769–774. <https://doi.org/10.1109/IFEEA51475.2020.00163>
- Georgescu, P. L., Moldovanu, S., Iticescu, C., Calmuc, M., Calmuc, V., Topa, C., & Moraru, L. (2023). Assessing and forecasting water quality in the Danube River by using neural network approaches. *Science of the Total Environment*, 879(January), 162998. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162998>
- Gonzaga, B. A., Alves, D. L., Albuquerque, M. D. G., Espinoza, J. M. D. A., Almeida, L. P., & Weschenfelder, J. (2020). Development of a Low-cost Ultrasonic Sensor for Groundwater Monitoring in Coastal Environments: Validation using Field and Laboratory Observations. *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 1001–1005. <https://doi.org/10.2112/SI95-195.1>
- Handiani, D. N., & Heriati, A. (2020). Analisis Sebaran Parameter Kualitas Air dan Indeks Pencemaran di Perairan Teluk Parepare-Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 272–282. <https://doi.org/10.14710/jil.18.2.272-282>
- Hermawan, A. P., Kim, D. S., & Lee, J. M. (2020). Sensor Failure Recovery using Multi Look-back LSTM Algorithm in Industrial Internet of Things. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 2020-Septe*, 1363–1366. <https://doi.org/10.1109/ETFA46521.2020.9212123>

<https://ppiig.ulm.ac.id/wp-content/uploads/2019/02/How-Inverse-Distance-Weighted-Works.pdf>

Inas Fikri, N., Louis Nathaniel, V., Syahrul Gunawan, M., & Abuzairi, T. (2021). Design of Real-Time Aquarium Monitoring System for Endemic Fish on the Smartphone. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 7(2), 269. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v7i2.21137>

Juliyanto, M. A., Sulistiyowati, I., Ahfas, A., Juliyanto, M. A., Sulistiyowati, I., & Ahfas, A. (2023). Design of Turbine Aerator with Remote Control and Internet of Things (IoT)-Based Water pH Monitoring "Design of Turbine Aerator with Remote Control and Internet of Things-Based Water pH Monitoring Design of Turbine Aerator with Remote Control and Internet. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 5(1), 156–166. <https://doi.org/10.12928/biste.v5i1.7863>

Khouni, I., Louhichi, G., & Ghrabi, A. (2021). Environmental Technology & Innovation Use of GIS based Inverse Distance Weighted interpolation to assess surface water quality : Case of Wadi El Bey , Tunisia. 24.

Krishna, S., & Tv, S. (2020). IoT based Water Parameter Monitoring System. *Icces*, 1299–1303.

Kshirsagar, R., Mudhalwadkar, R. P., & Kalaskar, S. (2019). Design and development of IoT based water quality measurement system. *Proceedings of the International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICOEI 2019, Icoei*, 1199–1202. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862663>

Lakshmikantha, V., Hiriyanagowda, A., Manjunath, A., Patted, A., Basavaiah, J., & Anthony, A. A. (2021). IoT based smart water quality monitoring system. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.062>

- Li, Z. (2019). Integrating data-to-data correlation into inverse distance weighting. 14–17.
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10(June). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Lyons, K. J., Ikonen, J., Hokajärvi, A. M., Räsänen, T., Pitkänen, T., Kauppinen, A., Kujala, K., Rossi, P. M., & Miettinen, I. T. (2023). Monitoring groundwater quality with real-time data, stable water isotopes, and microbial community analysis: A comparison with conventional methods. *Science of the Total Environment*, 864(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161199>
- Nistor, M. M., Rahardjo, H., Satyanaga, A., Hao, K. Z., Xiaosheng, Q., & Sham, A. W. L. (2020). Investigation of groundwater table distribution using borehole piezometer data interpolation: Case study of Singapore. *Engineering Geology*, 271(August 2019), 105590. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105590>
- Oguz, E. A., Depina, I., Myhre, B., Devoli, G., Rustad, H., & Thakur, V. (2022). IoT-based hydrological monitoring of water-induced landslides: a case study in central Norway. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(5). <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02721-z>
- Oppus, C., Guico, M. L., Monje, J. C., Domingo, M. A. L. G. A., Ngo, G., Retirado, M. G., & Kwong, J. C. (2020). Remote and Real-time Sensor System for Groundwater Level and Quality. 2nd IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering 2020, ECICE 2020, 152–155. <https://doi.org/10.1109/ECICE50847.2020.9301948>

- Perveen, S., & Amar-Ul-Haque. (2023). Drinking water quality monitoring, assessment and management in Pakistan: A review. *Heliyon*, 9(3), e13872. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13872>
- Prasetya, D. A., Nguyen, P. T., Faizullin, R., Iswanto, I., & Armay, F. (2020). Resolving the Shortest Path Problem using the Haversine Algorithm. *7(1)*, 62–64.
- Qi, C., Huang, S., & Wang, X. (2020). Monitoring Water Quality Parameters of Taihu Lake Based on Remote Sensing Images and LSTM-RNN. *8*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3030878>
- Saini, J., Dutta, M., & Marques, G. (2020). Internet of Things Based Environment Monitoring and PM10 Prediction for Smart Home. *2020 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing and Technologies, 3ICT 2020*, 3–7. <https://doi.org/10.1109/3ICT51146.2020.9311996>
- Shukla, K., Kumar, P., Mann, G. S., & Khare, M. (2020). Mapping spatial distribution of particulate matter using Kriging and Inverse Distance Weighting at supersites of megacity Delhi. *Sustainable Cities and Society*, 54(November 2019), 101997. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101997>
- Tahama, K., Baride, A., Gupta, G., Erram, V. C., & Baride, M. V. (2022). HydroResearch Spatial variation of sub-surface heterogenities within the dyke swarm of Nandurbar region , Maharashtra , India , for groundwater exploration using Inverse Distance Weighted technique. *HydroResearch*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2021.12.001>
- Tsai, J. C., Leu, J. S., Prakosa, S. W., Hsiao, L. C., Huang, P. C., Yang, S. Y., & Huang, Y. T. (2021). Design and Implementation of an Internet of Healthcare Things System for Respiratory

Diseases. *Wireless Personal Communications*, 117(2), 337–353. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07871-5>

Yang, W., Zhao, Y., Wang, D., Wu, H., Lin, A., & He, L. (2020). Using principal components analysis and idw interpolation to determine spatial and temporal changes of Surfacewater quality of Xin'Anjiang river in huangshan, china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082942>

Zhang, J. (2022). Water Quality Substance Detection System Based on Internet of Things. *Security and Communication Networks*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2815078>