

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengendalian air permukaan penting untuk mencegah pencemaran, karena pencegahan lebih efektif daripada pengelolaan dampak yang sudah terjadi. Hal ini mendukung keberlanjutan air bersih dan sanitasi sesuai dengan SDGs (*Sustainable Development Goals*) 6.

Air permukaan adalah air di atas tanah yang dapat diam atau mengalir, seperti air sungai, danau, waduk, rawa dan genangan air lainnya yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Sungai merupakan sumber air bersih utama yang harus dilindungi dari pencemaran melalui mitigasi lingkungan karena perannya yang *multipurpose* (Putra *et al.*, 2022).

Tersedianya air bersih semakin dibutuhkan seiring dengan pertumbuhan penduduk dan berbagai aktivitas, sehingga peran air bersih sangat penting dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Rismawanto, Binilang, & Halim, 2017), selain itu air bersih juga diperlukan untuk keperluan rumah tangga, pertanian, dan industri. Untuk memenuhi ketersediaan air bersih diperlukan beberapa persyaratan terutama dalam kontinuitas, kuantitas, dan kualitas. Ketersediaan air bersih mempengaruhi kebutuhan keluarga, laju pertumbuhan penduduk, sektor sosial dan ekonomi, serta fasilitas umum. Pengendalian lingkungan air permukaan diperlukan untuk mencegah pencemaran akibat infrastruktur buruk, distribusi tidak merata, dan kontaminasi sumber air (WHO, 2018).

Saat ini permasalahan ketersediaan air bersih menjadi salah satu isu lingkungan global akibat pencemaran yang dipicu oleh perubahan iklim, urbanisasi, industrialisasi, dan pertumbuhan populasi yang pesat, sehingga memberi tekanan besar pada sumber daya air (UNESCO, 2019).

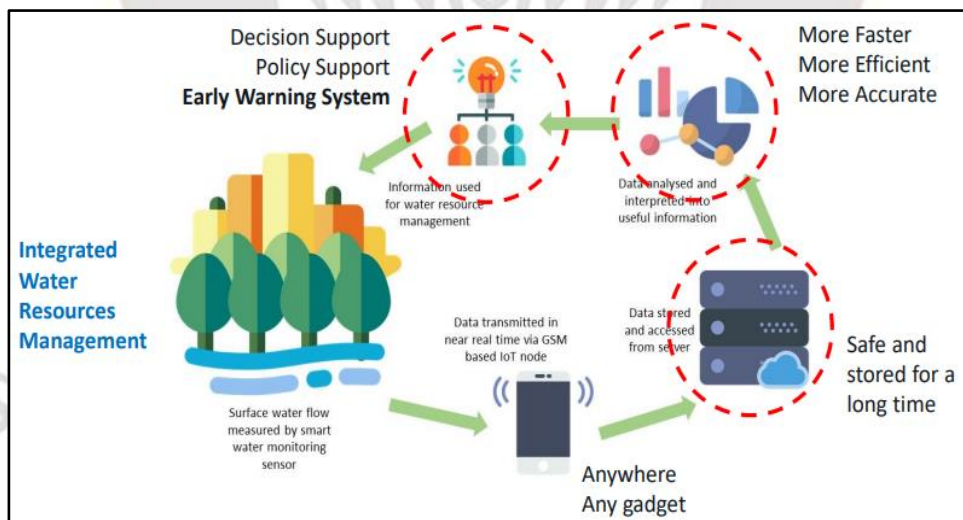
Pencemaran air adalah degradasi lingkungan yang kritis, terutama pada sungai dan danau, akibat limbah industri, domestik, dan pertanian. Kandungan bahan berbahaya seperti logam berat dan mikroba patogen dapat merusak ekosistem, mengurangi oksigen, membahayakan biota perairan, serta mengancam kesehatan manusia dan lingkungan (Zhang, Li, & Cheng, 2019).

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) sebanyak 59% sungai di Indonesia masih tercemar berat, terutama di wilayah perkotaan besar seperti Jakarta, Bandung, Surabaya, Medan, Makasar dan Semarang yang saat ini diketahui memiliki sungai yang tercemar berat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti limbah industri, limbah rumah tangga, dan kegiatan pertanian serta peternakan, sehingga menyebabkan krisis air bersih (air dengan kualitas cukup) (KLHK, 2020).

Penurunan kualitas air di luar baku mutu mengindikasikan pencemaran yang mengganggu fungsinya. Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 menjadi acuan standar dalam menentukan parameter kualitas air dan mendeteksi pencemaran (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Mitigasi diperlukan untuk menjaga kapasitas alami sungai dalam menampung polusi. Analisis beban pencemaran menjadi kompleks karena aliran air yang berkelanjutan dan kualitas air yang bervariasi dari hulu ke hilir. (Widyastuti & Marfa'i, 2004).

Pengendalian lingkungan air permukaan melalui pemodelan terus berkembang. Pemodelan rekayasa menggambarkan lingkungan nyata dengan persamaan matematika yang mudah dipahami dan dapat diselesaikan secara analitis atau dengan perangkat lunak, sehingga lebih menarik untuk dipelajari dan diterapkan (Purwanto, 2021).

Pemodelan berperan penting dalam menganalisis data dan memahami kondisi badan air secara komprehensif. Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat digunakan untuk mengelola air permukaan, sementara kecerdasan buatan seperti Jaringan Syaraf Tiruan (JST) membantu memprediksi pencemaran dan memetakan sebarannya. Dengan perkembangan teknologi IoT, pemantauan kualitas air dapat dilakukan secara daring, waktu nyata, dan efisien. Penerapan teknologi informasi dalam pengelolaan air sungai menjadi langkah krusial untuk mitigasi pencemaran dan keberlanjutan lingkungan di masa depan. Pada Gambar 1.1 menyajikan suatu gambaran revolusi industri pada aspek manajemen lingkungan.



Gambar 1.1 Gambaran Revolusi Industri 4.0 Pada Manajemen Lingkungan (Fell, Pead, & Winter, 2018)

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, disebutkan bahwa pertumbuhan penduduk di Provinsi DIY rata-rata 1,01% pada tahun 2020. Kota Yogyakarta memiliki kepadatan penduduk tertinggi, yakni 13.413 jiwa per km² (Badan Pusat Statistik Provinsi DIY, 2021), hal ini mengakibatkan peningkatan aktivitas manusia dan industri di sebagian wilayah kawasan tepi sungai yang dapat memperburuk pengendalian kualitas air dan penanganan dari limbah rumah tangga dan industri menjadi lebih sulit, sehingga pencemaran air sungai merupakan salah satu dari 17 masalah isu lingkungan utama di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) bersama dengan masalah sampah dan alih fungsi lahan yang tidak sesuai dengan arahan tata ruang.

Berdasarkan permasalahan yang ada tentang pengelolaan dan pengendalian kualitas air permukaan sungai di Provinsi DIY, maka penelitian disertasi ini membuat suatu perumusan masalah antara lain:

- a) Diperlukan suatu model untuk membantu dalam pengendalian dan pemantauan kualitas air permukaan dengan informasi visualisasi data spasial dan temporal baku mutu air.
- b) Diperlukan suatu model untuk analisa data dan memprediksi pola pencemaran berdasarkan data historis dan mendeteksi secara dini anomali data kualitas air yang dapat mengindikasikan masalah pencemaran pada kondisi lingkungan saat ini dan masa yang akan datang.
- c) Diperlukan suatu sistem yang memungkinkan komunikasi cepat dan efisien dalam situasi darurat terkait kualitas air kepada pemangku kepentingan seperti

- pemerintah, pengelola air, dan masyarakat tentang kondisi kritis kualitas air.
- d) Diperlukan suatu teknologi yang dapat memantau kualitas air permukaan secara kontinu dan waktu nyata (*real-time*), sehingga dapat digunakan untuk pengambilan keputusan.
 - e) Diperlukan suatu sistem yang efisien dan efektif untuk pengendalian lingkungan air permukaan secara terintegrasi menjadi satu sistem.

1.3 Orisinalitas

Berdasarkan tinjauan pustaka dan kajian literatur, penelitian ini dapat menghasilkan metodologi inovatif untuk pengelolaan air permukaan yang lebih efektif dan efisien, dengan memanfaatkan sistem terintegrasi seperti WebSIG (*Word Elektrik Browser Sistem Informasi Geografis*), kecerdasan buatan (AI), jaringan transmisi sensor tanpa kabel, *SMS Gateway*, dan teknologi *Internet of Things* (IoT).

1.3.1 Penelitian Terdahulu

Adanya beberapa penelitian terdahulu dengan metode serupa dapat menjadi acuan utama dalam penelitian ini. Untuk mengkaji baku mutu air dapat digunakan suatu pengembangan pemodelan secara integratif dengan WebSIG. Untuk memprediksi serta mengklasifikasikan tingkat pencemaran air sungai dapat menggunakan pemodelan secara kecerdasan buatan (AI). Selain itu, diusulkan sistem pemantauan kualitas air sungai secara *real-time* dengan teknologi jaringan sensor nirkabel berbasis *SMS Gateway* dan penerapan teknologi IoT, termasuk peringatan dini, yang memungkinkan visualisasi data melalui *web* atau ponsel pintar untuk mendukung pengambilan keputusan oleh pihak terkait seperti DLHK.

a) Tinjauan umum metode sistem informasi geografis (SIG).

Penelitian terdahulu yang memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk visualisasi informasi spasial terkait lingkungan air permukaan sungai terdokumentasi pada Tabel 1.1. SIG telah diterapkan dalam berbagai bidang seperti pemantauan kualitas air, pengelolaan lahan, dan pengelolaan sampah. Penelitian disertasi yang akan dilakukan ini yaitu mengembangkan WebSIG dengan memadukan data pencemaran sungai, klasifikasi model, lokasi pemantauan, serta data Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) provinsi DIY, yang kemudian divalidasi melalui observasi lapangan.

b) Tinjauan umum pemodelan untuk prediksi.

Penelitian terdahulu mengenai metode prediksi terdokumentasikan pada Tabel 1.2. Pemodelan prediksi menggunakan data masa lalu dan saat ini untuk memperkirakan data di masa depan dengan kesalahan minimal. Metode seperti ARIMA, Naive Bayes, *fuzzy time series*, Jaringan Syaraf Tiruan (JST), dan *Support Vector Machine* (SVM) digunakan untuk tujuan ini, dengan JST dikenal memiliki tingkat kesalahan prediksi rendah. Penelitian ini akan merancang sistem prediksi kualitas air sungai di DIY menggunakan metode *JST Backpropagation*.

c) Tinjauan umum jaringan sensor nirkabel dan SMS Gateway.

Penelitian terdahulu tentang penggunaan Jaringan Sensor Nirkabel dan SMS Gateway terdokumentasi dalam Tabel 1.3. Penelitian disertasi ini mengusulkan penggunaan Jaringan Sensor Nirkabel dan SMS Gateway untuk pemantauan kualitas air sungai di DIY. Teknologi ini lebih efisien biaya dibandingkan uji

laboratorium, memungkinkan transmisi data cepat melalui SMS, dan dapat diakses melalui aplikasi *web*. Unit pemantauan akan dipasang di titik-titik sungai (hulu, tengah, dan hilir) menggunakan teknologi ini.

d) Tinjauan umum teknologi IoT untuk monitoring kualitas air.

Pada Tabel 1.4 menyajikan beberapa penelitian yang sebelumnya tentang penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk monitoring kualitas air, yang juga telah dikombinasikan dengan *Wireless Sensor Network* (WSN) dan algoritma statistika, menunjukkan kelebihan dalam kecepatan transfer data dan waktu respon sistem. Oleh karena itu, penelitian disertasi ini akan mengusulkan implementasi sistem informasi berbasis IoT melalui *website* untuk monitoring kualitas air permukaan sungai secara *real-time*.

SEKOLAH PASCASARJANA

Tabel 1.1 Tinjauan Umum Metode Sistem Informasi Geografis (SIG)

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
1	Bekti R. D., & Irwansyah, E. (2014)	Pemetaan indikator teknologi Informasi dan komunikasi.	Pemodelan <i>Geographically Weighted Regression (GWR)</i> .	a) Hasil model GWR mampu menghasilkan pemetaan indikator teknologi informasi dan komunikasi berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya. b) Hasil pemetaan dapat disajikan ke dalam bentuk SIG.
2	Bekti R. D., Suryowati K., & Tanty H. (2017)	Mendapatkan pemetaan kualitas air tanah (Mn dan Pb).	<i>Interpolasi Ordinary Kriging</i> .	Metode interpolasi <i>kriging</i> mampu menghasilkan angka prediksi kualitas air tanah di lokasi yang tidak tersampel. Hasil ini memberikan informasi yang lebih lengkap pada pemetaan/SIG.
3	Saputra Y., Hiswara A., & Sari R. (2020)	Membuat Sistem Informasi Geografis lokasi kualitas air pada PDAM Patriot Bekasi.	Teknologi <i>web</i> untuk Sistem.Informasi.Geografis (SIG).	Hasil yang ditampilkan berupa peta cakupan layanan dan wilayah kecamatan Kota Bekasi, bangunan perumahan, jaringan pipa <i>existing</i> , dan lokasi titik air keluhan pelanggan dari informasi GIS.
4	Singh S., Bhardwaj A., & Verma V. (2020)	Menganalisis perubahan temporal penggunaan lahan/tutupan lahan (LULC), area sebaran air dan polusi air dengan menggunakan teknik RS dan GIS.	<i>Wetland Mapping</i> (RS dan GIS).	a) Penelitian ini menghasilkan penginderaan jauh dan SIG yang memberikan informasi tentang perkembangan kualitas air (PH, BOD dan COD) 2006 – 2018. b) Didapatkan juga informasi terkait Interaksi antara penggunaan lahan, kualitas air, aliran air, air tanah dan lahan basah.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
5	Mamun K. A., <i>et al.</i> (2019)	Melakukan desain sistem pemantauan kualitas air cerdas dan analisis kpi: situs kasus air permukaan Fiji.	Model pemetaan Sistem Informasi Geografis (GIS).	Temuan menunjukkan bahwa sistem ini mampu memberikan pengukuran kualitas air yang akurat dan konsisten secara <i>real-time</i> .
6	Susanti Y., Syafrudin S., & Helmi M. (2020)	Menganalisis perubahan penggunaan lahan di daerah aliran sungai serayu hulu dengan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografi (SIG).	Sistem Informasi Geografis (SIG).	a) Penelitian ini menghasilkan penginderaan jarak jauh dan SIG untuk klasifikasi lahan. b) Lahan diklasifikasikan menjadi enam kelas.
7	Chabuk A., <i>et al.</i> (2020)	Mengkaji kualitas air sungai tigris dengan menggunakan metode indeks kualitas air dan <i>software</i> GIS.	Indeks Kualitas Air (WQI) dan Perangkat Lunak GIS.	a) Menghasilkan peta prediksi untuk 12 parameter pada 11 stasiun di sepanjang Sungai Tigris pada musim hujan dan kemarau Tahun 2016. b) Prediksi regresi untuk semua parameter diberi nilai koefisien determinasi yang dapat diterima (R^2).
8	Haerani D., Syafrudin S., & Budi S. S. (2019)	Membahas pemodelan pengangkutan sampah dengan menggunakan SIG yang telah dilakukan di berbagai daerah.	Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG).	a) GIS menghasilkan data spasial yang sesuai dengan kondisi aslinya dan dapat dianalisis kembali jika kondisi yang efisien. b) Di era teknologi 4.0 saat ini, penggunaan SIG sebagai alat sebagai alat pemodelan merupakan pilihan yang tepat dan perlu diterapkan di berbagai daerah sehingga kondisi aktual dapat dipetakan dan dianalisis secara spasial.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
9	Taloor A. K., <i>et al.</i> (2020)	Melakukan penilaian kualitas mata air dan debit di daerah aliran sungai Basantar di Jammu Himalaya.	Menggunakan SIG dan Indeks kualitas air.	a) Indeks kualitas air (WQI), 45% sampel masuk dalam kategori sangat baik, 50% sampel mata air masuk dalam kategori baik untuk keperluan minum. pH dan TDS berada dalam rentang batas yang diizinkan masing-masing 7 hingga 8,4 dan 123 hingga 793. b) Berdasarkan analisis kimia dari berbagai parameter seperti kesadahan non-karbonat, persentase natrium, rasio penyerapan natrium, sisa natrium karbonat dihitung untuk menentukan kualitas mata air untuk keperluan irigasi.
10	Raja M., <i>et al.</i> , (2020)	Penilaian air tanah dalam hal indeks kualitas air (WQI) dari daerah Fulgore di kota Durgapur.	Sistem Informasi Geografis (SIG).	a) Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk menggambarkan distribusi spasial dari nilai WQI di seluruh daerah Fulgore dengan menggunakan SIG, informasi kualitas air dapat divisualisasikan dalam peta, memungkinkan para peneliti dan pemangku kepentingan lainnya untuk dengan mudah memahami pola kualitas air dan mengidentifikasi area yang mungkin memerlukan tindakan perbaikan. b) Memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kualitas air tanah di daerah Fulgore serta dampak dari aktivitas manusia di sekitarnya.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
11	Bashira N., <i>et al.</i> (2020)	Menilai kualitas air Kanal Jhelum Bawah (LJC) dan kesesuaiannya untuk keperluan irigasi.	Sistem Informasi Geografis (SIG).	a) SIG adalah alat yang tepat untuk menentukan beberapa lembar dan peta tematik digital yang menguraikan konsentrasi berbagai faktor. b) Selanjutnya, SIG membangun peta kualitas air dalam struktur yang lebih logis.
12	Dandge K. P., & Patil S. (2022)	Mengevaluasi kualitas air tanah di daerah Bhokardan, Distrik Jalna, India dan memahami tingkat pencemaran air tanah yang tinggi serta dampaknya terhadap penggunaan manusia.	Penginderaan jauh dan GIS.	Penelitian ini menghasilkan peta sebaran spasial menunjukkan bahwa masing-masing daerah penelitian masuk dalam kategori “Air Buruk” dan “Air Sangat Buruk” kecuali beberapa lokasi di wilayah Utara daerah yang termasuk dalam kategori “Air Baik” selama pra-musim.
13	Gaafar M., <i>et al.</i> (2020)	Melakukan pemetaan kerangka penilaian bahaya berbasis GIS praktis untuk kualitas air dalam sistem <i>stormwater</i> .	Model pemetaan sistem informasi geografis (GIS).	a) Penelitian ini menghasilkan Peta bahaya berbasis EMC dikembangkan yang mengungkapkan 25% wilayah studi berada dalam zona risiko sedang hingga tinggi. Bahaya berbasis EMC didorong terutama oleh kedekatan dengan outlet sistem, massa polutan total, dan tata letak sistem. b) Peta yang dikembangkan menggunakan kerangka kerja model 4-tahap-3 yang diusulkan dapat membantu operator sistem untuk meningkatkan pengelolaan polutan air hujan tanpa perhitungan kasus per kasus yang padat waktu dan tenaga kerja.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
14	Yoviandianto I. A., Mohammad M., & Arief D. (2019)	Mengetahui kualitas air di Sub- DAS Brantas menggunakan analisis STORET, kemudian untuk mengetahui pengaruh tata guna lahan (<i>Land Use</i>) terhadap kualitas air dengan analisis spasial menggunakan perangkat lunak SIG.	STORET, SIG.	a) Hasil analisis STORET menunjukkan bahwa mutu air pada seluruh stasiun pengamatan tergolong cemar sedang dengan parameter yang melebihi baku mutu yaitu TSS, amonia dan total fosfat. b) Kemudian analisis SIG menghasilkan peta distribusi kualitas air dan diketahui bahwa tata guna lahan berpengaruh terhadap kualitas air.
15	Geetha S. A., & Sivakumar C. (2021)	Melakukan penilaian karakteristik air freatik menggunakan pemodelan indeks kualitas air dan GIS di kawasan industri.	Model pemetaan Sistem Informasi Geografis (GIS).	Berdasarkan indeks kualitas air (WQI), 21% sampel termasuk klasifikasi tidak layak untuk keperluan minum selama musim pra-hujan dan 26% sampel selama musim pasca-hujan. Interaksi batuan-air dan filogeni kegiatan seperti bahan limbah industri dan pembuangan limbah kota memainkan peran penting dalam membuat air menjadi tidak layak untuk tujuan minum.

Tabel 1.2 Tinjauan Umum Pemodelan Untuk Prediksi

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
1	Kouadri S., <i>et al.</i> (2021)	Memprediksi indeks kualitas air berdasarkan kumpulan data tidak teratur: penerapan di wilayah Illizi (Tenggara Aljazair).	Metode pembelajaran mesin: (<i>regresi multilinier</i> (MLR), hutan acak (RF), pohon M5P (M5P), subruang acak (RSS), regresi aditif (AR), jaringan syaraf tiruan (ANN), vektor dukungan regression (SVR), dan regresi linier tertimbang lokal (LWLR).	Hasil penelitian ini adalah didapatkan hasil prediksi terbaik adalah menggunakan metode atau model terbaik adalah <i>Regresi Multilinear</i> (MLR) karena memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi dibandingkan model lain.
2	Liu P., <i>et al.</i> (2019)	Menganalisis dan prediksi kualitas air menggunakan LSTM <i>Deep Neural Networks</i> di lingkungan permukaan air.	Menggunakan LSTM <i>Deep Neural Networks</i> di lingkungan permukaan air.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa model kualitas air yang dibangun dapat memprediksi kualitas air minum dalam 6 bulan ke depan dengan baik, menawarkan pendekatan yang layak untuk prediksi kualitas air.
3	Li L., <i>et al.</i> (2019)	Memprediksi kualitas air Sungai Qiantang Cina dengan jaringan saraf berulang.	Model yang menggabungkan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan teori bukti Dempster/Shافر (D-S) yang disempurnakan (Rnns-DS).	Hasil penelitian ini menunjukan bahwa JST dapat menangani ketergantungan jangka panjang dalam deret waktu historis secara efektif digunakan untuk merealisasikan prediksi awal kualitas air.
4	Kadam A. K., <i>et al.</i> (2019)	Memprediksi potensi kualitas air tanah dari daerah aliran Sungai Shivganga, yang terletak di lereng timur wilayah Ghats Barat di India.	Pendekatan pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan dan Regresi Linier Berganda.	Prediksi model JST memuaskan dan menegaskan kinerja yang dapat diterima secara konsisten untuk kedua musim.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
5	Ahmed U., <i>et al.</i> (2019)	Melakukan prediksi indeks kualitas air (WQI) dan kelas kualitas air (WQC).	<i>Supervised Machine Learning</i> .	Hasil penelitian ini mendapatkan <i>Gradient boosting</i> , dengan tingkat pembelajaran 0,1 dan regresi polinomial, dengan derajat 2, memprediksi WQI dengan paling efisien, dengan rata-rata kesalahan absolut (MAE) sebesar 1,9642 dan 2,7273. Sedangkan <i>multi-layer perceptron</i> (MLP), dengan konfigurasi (3, 7), mengklasifikasikan WQC dengan paling efisien, dengan akurasi sebesar 0,8507.
6	Khan Y., & See C. S. (2016)	Memprediksi dan menganalisis kualitas air menggunakan <i>Machine Learning</i> .	Analisis deret waktu dan JST	JST memiliki kinerja lebih baik karena memiliki nilai RMSE lebih kecil.
7	Kumar S., & Reshma R. (2023)	Memprediksi dan menganalisis kualitas air menggunakan pembelajaran mesin untuk Akuakultur Cerdas (SAS-MI).	Menggunakan jaringan syaraf tiruan (<i>Deep Convolutional Neural Network</i> , D-CNN) dan teknik pengelompokan K-Means.	Model SAS-MI dengan D-CNN dan K-Means <i>clustering</i> memberikan hasil yang signifikan untuk akurasi prediksi, F1-score, dan <i>Mean Square Error</i> (MSE).
8	Babu C. N., & Reddy B. E. (2014)	Model ARIMA-ANN hibrid berbasis <i>filter</i> rata-rata bergerak untuk memperkirakan data deret waktu.	<i>Autoregressive Integrated Moving Average</i> (ARIMA) dan <i>Nonlinear Artificial Neural Network</i> (ANN).	Hasil yang diperoleh dari semua kumpulan data ini menunjukkan bahwa untuk prakiraan satu langkah dan multi langkah ke depan, model <i>hybrid</i> yang diusulkan memiliki akurasi prediksi yang tinggi.
9	Temizel T. T., & Casey M. C. (2005)	Tujuan dari penelitian ini adalah studi perbandingan hibrida jaringan saraf <i>autoregresif</i> .	<i>Autoregressive Integrated Moving Average Model</i> (ARIMA) dan Jaringan Saraf Tiruan.	Hasil dari penelitian ini adalah menunjukkan bahwa perkiraan gabungan dapat berkinerja buruk secara signifikan dibandingkan dengan kinerja konstituennya.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
10	Liao H., & Sun W. (2010)	Melakukan peramalan dan evaluasi kualitas air danau Chao berdasarkan metode pohon keputusan yang ditingkatkan.	Peramalan dan <i>Decision Tree Improved</i> .	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode yang ditingkatkan lebih baik daripada jaringan saraf tiruan atau algoritma genetika dengan tingkat pengenalan dan akurasi peramalan yang lebih tinggi serta nilai praktis yang kuat.
11	Yan J., <i>et al.</i> (2019)	Melakukan prediksi kualitas air secara deret waktu dan memiliki kinerja yang baik di Danau Beihai di Beijing.	Model Jaringan syaraf tiruan BP (<i>Backpropagation</i>) yang dioptimalkan hibrida.	a) Hasil studi menunjukkan bahwa model berbasis PSO dan GA untuk mengoptimalkan jaringan saraf BP mampu memprediksi parameter kualitas air dengan akurasi yang wajar. b) Menunjukkan bahwa model tersebut merupakan alat yang berharga untuk estimasi kualitas air danau. c) menunjukkan bahwa model BP yang dioptimalkan secara hybrid memiliki kapasitas prediksi yang lebih tinggi dan ketahanan parameter kualitas air yang lebih baik dibandingkan dengan jaringan saraf BP tradisional.
12	Yan J., <i>et al.</i> (2020)	Membuat model prediksi berdasarkan <i>Deep Belief Network</i> dan SVR kuadrat terkecil yang diterapkan ke penampang kualitas air.	<i>Deep Belief Network</i> dan SVR Kuadrat Terkecil.	Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa model <i>Deep Belief Network</i> dan SVR Kuadrat Terkecil dapat memprediksi parameter kualitas air secara akurat dan lebih baik keakuratan parameter kualitas air dibandingkan dengan tradisional <i>backpropagation</i> (BP) saraf jaringan LSSVR, jaringan saraf DBN, dan model gabungan DBN-LSSVR.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
13	Ahmed A. M., & Shah, S. M. A. (2017)	Melakukan penerapan sistem <i>Inferensi Neuro-Fuzzy Adaptif</i> (ANFIS) untuk memperkirakan kebutuhan oksigen biokimia (BOD) pada Sungai Surma.	<i>Neuro-Fuzzy Adaptif</i> (ANFIS).	Diperoleh hasil penelitian seperti berikut: a) Sistem <i>Inferensi Neuro-Fuzzy Adaptif</i> mampu memprediksi permintaan oksigen biokimia dengan akurasi yang wajar. b) ANFIS adalah alat yang berharga untuk estimasi kualitas air sungai. Hasilnya menunjukkan bahwa, ANFIS I memiliki kapasitas prediksi BOD yang tinggi dibandingkan dengan ANFIS-II. c) Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa metode ANFIS dapat berhasil diterapkan untuk membangun model prediksi kualitas air sungai.
14	Aldhyani T. H. H., <i>et al.</i> (2020)	Mengetahui prediksi kualitas air menggunakan algoritma kecerdasan buatan.	Algoritma kecerdasan buatan (AI), dan beberapa metode diantaranya <i>Nonlinear Autoregressive Neural Network, Long Short-Term Memory</i> algoritma <i>Deep Learning, Support Vector Machine</i> dan <i>Naive Bayes</i> .	Hasil prediksi menunjukkan bahwa model NARNET tampil sedikit lebih baik daripada LSTM untuk prediksi nilai WQI dan algoritma SVM telah mencapai akurasi tertinggi (97,01%) untuk prediksi WQC.
15	Li X., & Song J. (2015)	Untuk prediksi kualitas air dengan rantai ANN-Markov.	Rantai ANN-Markov.	Hasil dari penelitian ini didapatkan berupa validasi dan akurasi prediksi yang lebih baik dari metodologi rantai ANN-Markov yang baru ditunjukkan melalui tiga kriteria yang ada.

Tabel 1.3 Tinjauan Umum Jaringan Sensor Nirkabel dan SMS Gateway

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
1	Novianta M. A. (2013)	Merancang sistem pemantauan perubahan tinggi muka air berbasis jaringan komunikasi seluler (GSM) sebagai <i>backbone</i> komunikasi paket-paket data dari stasiun pemantau yang ada.	Menggunakan jaringan GSM berbasis SMS Gateway.	Hasil penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pemantauan banjir yang lebih efisien dan praktis. Dengan teknologi komunikasi selular, sistem ini dapat digunakan untuk memantau tinggi muka air dalam situasi bahaya banjir secara jarak jauh dan secara waktu nyata.
2	Novianta M. A., <i>et al.</i> (2023)	Pemantauan kualitas air secara <i>real-time</i> berdasarkan parameter ORP, TDS, DO, pH, dan suhu menggunakan <i>multi-probe</i> .	Menggunakan jaringan GSM berbasis SMS Gateway.	Sistem dapat memberikan informasi tingkat kategori nilai ambang batas kualitas air secara <i>real-time</i> pada titik pemantauan (<i>multi node</i>) untuk digunakan sebagai acuan dalam mendorong kesadaran kualitas air yaitu baik atau tidak baik dalam kompatibilitas dan interoperabilitas.
3	Novianta M. A., & Setyaningsih E. (2015a)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi <i>black box</i> yang dapat merekam lalu lintas kereta api dan memantau pergerakan kereta api secara <i>real-time</i> .	Penelitian ini menggunakan teknologi GPS dan komunikasi GPRS melalui jaringan GSM.	Hasil akhir dari penelitian ini adalah pengembangan aplikasi <i>black box</i> yang sukses dalam merekam lalu lintas kereta api dan memantau pergerakan kereta api secara <i>real-time</i> . Data pergerakan kereta api dapat dilihat oleh pengguna/operator melalui <i>website tracking</i> dalam bentuk peta digital.
4	Suraya S., & Novianta M. A. (2013)	Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat deteksi gempa bumi sebagai sistem peringatan dini.	Informasi SMS Gateway.	Alat yang dirancang dapat mendeteksi fluktuasi nilai perambatan gelombang gempa bumi menggunakan sensor getar. Hasil deteksi dapat dikirimkan melalui SMS Gateway sebagai peringatan dini kepada masyarakat.

SEKOLAH PASCASARJANA

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
5	Novianta M. A., & Setyaningsih E. (2015b)	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan secara <i>online</i> berbasis <i>web server</i> yang memanfaatkan jaringan GSM dengan menggunakan layanan GPRS.	<i>Web Server</i> menggunakan layanan GPRS.	Hasil dari penelitian ini adalah rancangan dan implementasi sistem pemantauan <i>online</i> berbasis <i>web server</i> berhasil memanfaatkan jaringan GSM dengan layanan GPRS. Sistem ini dapat memantau pergerakan kereta api secara real-time dan menampilkan informasinya pada halaman <i>web</i> melalui peta digital Google Maps dengan <i>marker</i> .
6	Novianta M. A., & Setyaningsih E. (2017)	Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat monitoring bencana, khususnya angin puting beliung, dengan menggunakan perangkat berbasis Arduino. Tujuan utamanya adalah mengukur perubahan kecepatan dan arah angin melalui layanan SMS Gateway.	Arduino Uno dengan Informasi SMS Gateway.	Penelitian ini berhasil merancang alat monitoring angin puting beliung berbasis Arduino yang dapat mengukur kecepatan dan arah angin serta mentransmisikan data melalui layanan SMS Gateway.
7	Alhamri R. Z., & Dianta, A. F. (2019)	Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan desain sistem drainase otomatis untuk kolam ikan air tawar menggunakan teknologi jaringan nirkabel ZigBee dan SMS Gateway. Sistem ini dirancang untuk membuat proses pengurasan kolam ikan menjadi lebih efisien dan fleksibel.	Jaringan ZigBee dan SMS Gateway.	Setelah pengujian dan implementasi <i>prototype</i> , sistem pembuangan otomatis berbasis ZigBee dapat dipasang sesuai dengan desain yang dirancang. Penyesuaian parameter <i>delay</i> pada program mikrokontroler juga mempengaruhi kinerja sistem.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
8	Demetillo A. T., Japitana J., & Taboada E. B. (2019)	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem pemantauan kualitas air <i>real-time</i> berbiaya rendah yang dapat digunakan di sungai, danau, daerah pesisir, dan badan air terpendcil lainnya.	Teknologi jaringan sensor nirkabel.	Hasil penelitian ini adalah pengembangan dan evaluasi sistem pemantauan kualitas air <i>real-time</i> berbiaya rendah. Sistem ini terbukti efektif dalam mendeteksi suhu air, oksigen terlarut, dan pH secara terus-menerus dalam interval waktu yang telah diprogram sebelumnya. Pelampung yang digunakan dalam sistem menunjukkan stabilitas yang baik dalam kondisi lingkungan yang keras. Penelitian ini menghasilkan sistem dapat diterapkan dengan sukses di berbagai jenis badan air. Sistem ini dapat memberikan informasi yang penting untuk pemantauan dan pemeliharaan kualitas air yang efektif dan efisien.
9	Santosa R. A., <i>et al.</i> (2021)	Penggunaan metode teknologi <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN) dibandingkan metode laboratorium dalam pemantauan kualitas air Sungai Citarum di Karawang.	Teknologi <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN).	Teknologi WSN lebih efisien daripada menunggu hasil laboratorium dan dari segi biaya, teknologi ini dapat dibangun dengan biaya yang tidak mahal dibandingkan dengan pekerjaan laboratorium.
10	Sudarsono S., Novianta M. A., & Purnawan P. (2018b)	Mendeteksi SO ₂ dan NO ₂ di udara atmosfer menggunakan mikrokontroler AVR-sistem SMS Gateway.	Mikrokontroler AVR dengan Sistem SMS Gateway.	Sistem mampu memberikan informasi dengan nilai ambang batas, Baik (1-50 PPM), Sedang (51-100 PPM), Tidak Sehat (101-199 PPM), Sangat Tidak Sehat (200-299 PPM) dan Berbahaya (di atas 300 PPM). Tingkat NO ₂ lebih tinggi dari standar NO ₂ . Sedangkan pada umumnya kadar SO ₂ sedikit lebih tinggi dari nilai standar.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
11	Sudarsono S., Novianta M. A., & Purnawan P. (2018a)	Pengembangan sistem informasi SMS Gateway untuk mendeteksi kualitas udara.	a) Prototipe sistem ini dikembangkan dengan menggunakan sistem elektronik dengan sensor CO, O ₃ , dan PM. b) Data dikirimkan ke mikrokontroler sebagai kontrol elektronik untuk memberikan status kualitas udara. c) Prototipe ini terdiri dari beberapa sensor dengan pengendali ATmega 328, sistem <i>data logger</i> , dan rangkaian modem untuk informasi pendeteksian berbasis SMS Gateway.	Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa gas CO terdeteksi menggunakan sensor MiC-5524, O ₃ terukur menggunakan sensor MiCS-2614 dan PM terdeteksi menggunakan sensor Sharp GP2Y1010AU0F.
12	Iswahyudi C., <i>et al.</i> (2020)	Membuat Sistem Monitoring Gas Rumah Kaca (GRK).	Service General Packet Radio (GPRS) pada Jaringan GSM.	Sistem ini dapat memantau penyerapan emisi CO ₂ dan pembentukan O ₂ gas pada tumbuhan mangrove sebagai salah satu upaya untuk mengurangi dampak pemanasan global. Informasi data pemantauan dapat ditransmisikan menggunakan layanan SMS pada jaringan GSM dengan ukuran paket dan waktu transmisi data yang lebih sedikit, serta dapat diakses melalui aplikasi berbasis <i>web</i> .

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
13	Etikasari B., <i>et al.</i> (2020)	Pengembangan jaringan sensor nirkabel pada unmanned aerial vehicle (UAV) untuk sistem monitoring kualitas air.	Jaringan sensor nirkabel pada <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV/drone) menggunakan frekuensi radio 912 MHz.	Jaringan sensor nirkabel pada <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) dilengkapi dengan berbagai sensor untuk mengetahui kualitas air, yaitu: PH, suhu, kekeruhan, Oksigen Terlarut (DO), dan karbon dioksida, untuk sistem monitoring kualitas air.
14	Sulistiyowati I., Haris R. A., & Suprayitno E. A. (2019)	Mengembangkan kandang ayam secara otomatis berdasarkan nilai pengaturan suhu.	SMS Gateway.	Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem kandang otomatis ini berhasil menstabilkan suhu di dalam kandang ayam sesuai dengan yang diinginkan. Sistem SMS Gateway berfungsi sebagai <i>alarm</i> peringatan jika ada masalah dengan suhu target.

Tabel 1.4 Tinjauan Umum Teknologi IoT Untuk Monitoring Kualitas Air

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
1	Salam A. (2020)	Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan kerangka kerja dan infrastruktur siber yang dapat digunakan dalam pemahaman, interpretasi, dan penggunaan proyeksi perubahan iklim berbasis IoT.	<i>Internet of Things (IoT).</i>	Penelitian ini menghasilkan gambaran bagaimana pemahaman, interpretasi, dan penggunaan proyeksi perubahan iklim dapat ditingkatkan melalui penerapan solusi teknologi berbasis IoT. Penerapan teknologi berbasis IoT dalam mendukung keberlanjutan lingkungan dan adaptasi terhadap perubahan iklim.
2	Sobri S., <i>et al.</i> (2021)	Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sistem pemantauan kualitas air otomatis yang menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak untuk memantau faktor-faktor penting dalam budidaya udang vannamei.	<i>Internet of Things (IoT).</i>	Sistem ini dapat secara tepat mengukur suhu, pH, salinitas, dan kekeruhan air. Hasil pengujian membuktikan bahwa sensor-sensor yang dipakai memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan kesalahan yang minimal.
3	Syafiqoh U., Sunardi S., & Yudhana A. (2018)	Mengembangkan konsep <i>Wireless Sensor Network</i> dengan memanfaatkan modul ESP8266 untuk memonitor nilai pH menggunakan sensor pH Meter Analog Kit dan suhu lahan pertanian menggunakan sensor Waterproof DS18B20.	<i>Wireless Sensor Network Berbasis Internet of Things.</i>	Penelitian ini berhasil mengembangkan konsep monitoring kualitas air dan suhu tanah pada lahan pertanian. Hasil pengukuran menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi untuk pengukuran suhu dan pH.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
4	Sudarsono S., Novianta M. A., & Parwati, C. I. (2019)	Membangun sistem basis data pemantauan polusi udara dengan menggunakan teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT). Sistem ini bertujuan untuk memberikan informasi struktur dan menelusuri tingkat pencemaran udara pada stasiun pemantauan tertentu.	a) Lokasi pemantauan tertentu (<i>node</i>) terhubung ke <i>server</i> iot/M2M melalui jaringan GSM menggunakan fitur GPRS dan ditampilkan pada aplikasi IoT/M2M dalam bentuk <i>web</i> . b) Basis data pada IoT/M2M berisi nama, deskripsi, dan lokasi stasiun pemantauan, indeks polusi, dan waktu pengambilan data.	a) Sistem diuji di lingkungan laboratorium untuk mendeteksi CO, SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , dan PM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik. b) Waktu yang diperlukan untuk mentransfer data pemantauan ke <i>server</i> IoT adalah sekitar 15 detik. c) Sedangkan waktu respon sistem adalah 10 detik.
5	Pujar P. M., <i>et al.</i> (2019)	Pemantauan kualitas air berbasis IoT dengan menerapkan analisis statistik untuk data yang dikumpulkan dari sungai Krishna.	Analisis varians satu arah (ANOVA) dan ANOVA dua arah.	Menemukan bahwa ANOVA satu arah lebih efektif dalam melakukan analisis kualitas air. Hipotesis yang ditarik menggunakan ANOVA digunakan untuk analisis kualitas air. Analisis ini dapat digunakan untuk mendapatkan sistem IoT.
6	Shafi U., <i>et al.</i> (2018)	Merancang sistem kualitas air yang menggunakan teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT) untuk memantau kualitas air secara langsung.	Pengembangan sistem kualitas air berbasis IoT.	Pengembangan sistem kualitas air berbasis IoT dengan prototipe perangkat keras untuk mengukur parameter air secara <i>real-time</i> dan mengirim data ke <i>cloud</i> , serta menggunakan algoritma pembelajaran mesin untuk menghasilkan jaringan syaraf tiruan dengan akurasi klasifikasi kualitas air 93%.

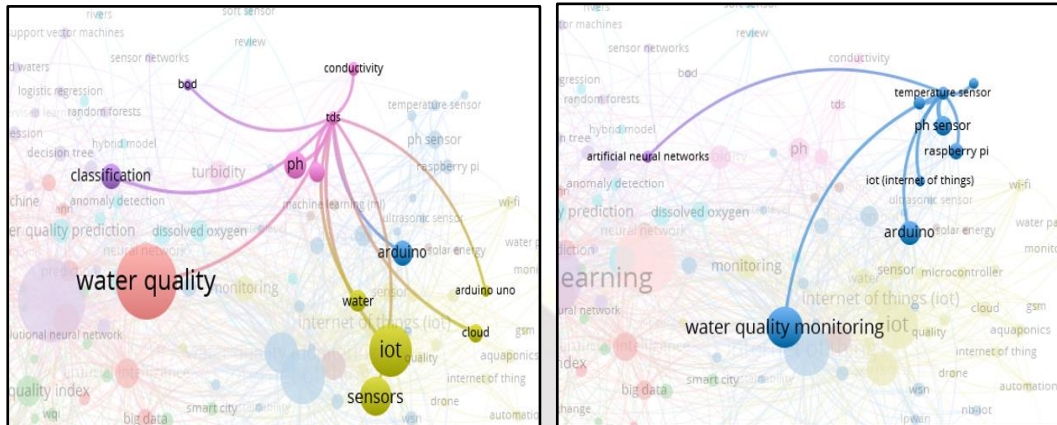
No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
7	Adityas Y., et al. (2021)	Membuat sistem pemantauan kualitas air berbasis <i>Internet of Things</i> untuk akuarium.	Sensor akan mendeteksi dan menangkap besaran nilai yang terkandung dalam air, lalu data dari dikirim ke <i>database</i> di <i>cloud</i> menggunakan <i>ethernet shield</i> secara <i>real time</i> .	a) Sensor dapat mendeteksi kualitas air secara <i>real time</i> dalam waktu 5-10 detik. b) Sistem pemantauan kualitas air ini efektif untuk membantu memastikan kualitas air dalam akuarium agar selalu memenuhi standar.
8	Perdana D., Naufal J., & Alinursafa I. (2021)	Mendapatkan evaluasi kinerja pemantauan kualitas air sungai menggunakan konektivitas Lora dengan Algoritma Fuzzy.	Parameter yang diukur pH, keasaman, tingkat kekeruhan, dan jumlah padatan terlarut.	a) Alat pemantau kualitas air sungai ini mampu mengolah data masukan dari sensor menggunakan fuzzy algoritma dan menentukan apakah kualitas air sungai baik atau tidak. b) Lora berfungsi sebagai transmisi data komunikasi dan sebagai layanan <i>cloud</i> untuk menyimpan data yang diperoleh dari sensor.
9	Putra V. H. C., Hendayun M., & Yustianto P. (2022)	Mengembangkan sistem peringatan dini dan pemantauan kualitas air sungai yang didasarkan pada teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT).	Menerapkan metode <i>waterfall</i> dengan melakukan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan dengan proses yang dilakukan secara berurutan.	Hasil berupa <i>website</i> peringatan dini dan monitoring air sungai, serta melakukan konfigurasi <i>cloud hosting niagahoster</i> , aplikasi telegram, dan <i>website twitter</i> .
10	Antony A. P., et al. (2020)	Menganalisis kondisi dari <i>Internet of Things</i> (IoT) dalam pengukuran lapangan dan implementasinya di pertanian petani kecil.	<i>Internet of Things</i> (IoT).	Kasus penerapan IoT yang berhasil di negara berpenghasilan rendah dan menengah direpresentasikan sebagai contoh keberhasilan penggunaan IoT dalam pertanian petani kecil.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
11	Chopade S., <i>et al.</i> (2021)	Membuat sistem pemantauan pencemaran air sungai yang hemat energi.	Jaringan Saraf dan Teknologi Komunikasi Jarak Jauh.	Jaringan terkompresi dapat berhasil digunakan pada perangkat <i>Internet of Things</i> sumber daya terbatas dan mencapai akurasi yang dapat diterima. Menghasilkan pendekatan berbasis teori permainan untuk memperkirakan durasi waktu untuk menggunakan faktor penyebaran yang sesuai dari jaringan jarak jauh untuk mengirimkan data air sungai.
12	Mabrouki J., Azrour M., & Hajjaji S. E. (2021)	Untuk meninjau dan membandingkan berbagai sistem yang diusulkan untuk memantau kualitas air menggunakan teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT).	Teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT).	Hasil penelitian menunjukkan ada berbagai sistem yang diusulkan menggunakan teknologi IoT untuk memantau kualitas air. Beberapa sistem menggunakan sensor-sensor yang terhubung dengan jaringan untuk mengumpulkan data fisika kimia dan parameter lainnya.
13	Maulana Y. Y., Wiranto G., & Kurniawan D. (2017)	Mendapatkan desain dan pengembangan sistem <i>online</i> monitoring kualitas air berbasis <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN) dan <i>Internet of Things</i> (IoT). Sistem ini untuk memantau parameter DO (<i>Dissolved Oxygen</i>), pH, <i>conductivity</i> dan temperatur pada budidaya udang.	a) Menggunakan beberapa <i>node sensor</i> dengan komponen utama arduino uno yang terhubung dengan Xbee board dan <i>master board</i> dengan komponen utamanya adalah Raspberry Pi 2 (<i>rpi2</i>) board dan Xbee. b) Menggunakan Bahasa python.	a) Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem memiliki prospek yang besar dan dapat digunakan untuk keperluan budidaya udang dengan memberikan informasi yang relevan dan tepat waktu. b) Data hasil pengumpulan tersebut dapat digunakan untuk penelitian dan analisa lebih lanjut.

No	Peneliti/Penulis	Tujuan penelitian	Metode	Hasil
14	Saravanan K., <i>et al.</i> (2018)	Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan dan menerapkan sistem SCADA yang terpadu dengan IoT untuk monitoring kualitas air secara <i>real-time</i> .	<i>Internet of Things</i> di SCADA (<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>).	Penelitian ini berhasil menghadirkan solusi yang efektif dalam pemantauan kualitas air secara <i>real-time</i> dengan menggunakan sistem SCADA yang terintegrasi dengan teknologi IoT. Sistem dapat memberikan kontribusi dalam pencegahan pencemaran air dan pengelolaan yang lebih baik.
15	Hidayat M., & Mardiyantoro N. (2020)	Membangun sistem berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) dan aplikasi Telegram untuk memantau dan mengendalikan pH air secara otomatis, efisien dan mudah digunakan untuk menjaga kualitas air dengan memonitor pH secara <i>real-time</i> .	Berbasis IoT menggunakan Platform Arduino.	Penelitian ini berhasil mengimplementasikan solusi berbasis IoT untuk pemantauan dan pengendalian pH air secara otomatis. Sistem ini memiliki potensi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi.

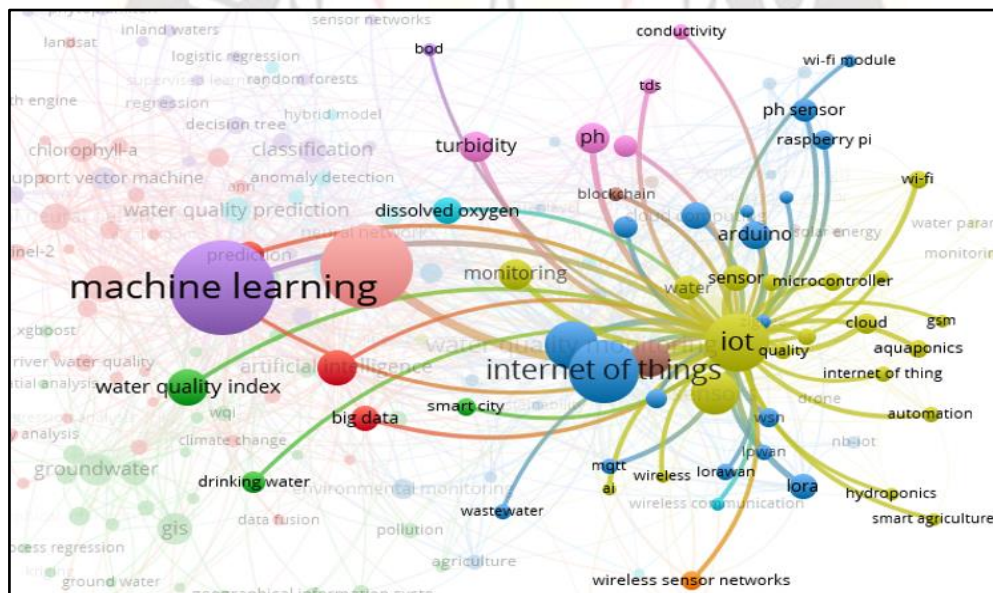
Untuk mendapatkan celah penelitian, digunakan perangkat lunak *Vosviewer* (VOS) untuk analisis bibliometrik kata kunci seperti *Machine Learning*, *Geographical Information System*, *Wireless Sensor Networks*, *Internet of Things*, dan *Water Quality* dari data tahun 2018 hingga 2022. Dari 4.445 kata kunci yang dianalisis, 191 memenuhi ambang batas. Kata kunci yang paling umum adalah "*machine learning*" (413 occurrences, total link strength 698). Penelitian tentang sistem pemantauan kualitas air permukaan sungai masih terbilang sedikit. Analisis menunjukkan sedikitnya penelitian berdasarkan objek dan sampel air permukaan dibandingkan dengan air tanah. Gambar 1.2 menunjukkan hubungan yang masih kurang antara *water quality* dengan *surface water* dan *artificial intelligence*. Penggunaan jaringan sensor nirkabel dan teknologi IoT pada Gambar 1.3 menunjukkan potensi penelitian yang masih terbuka.





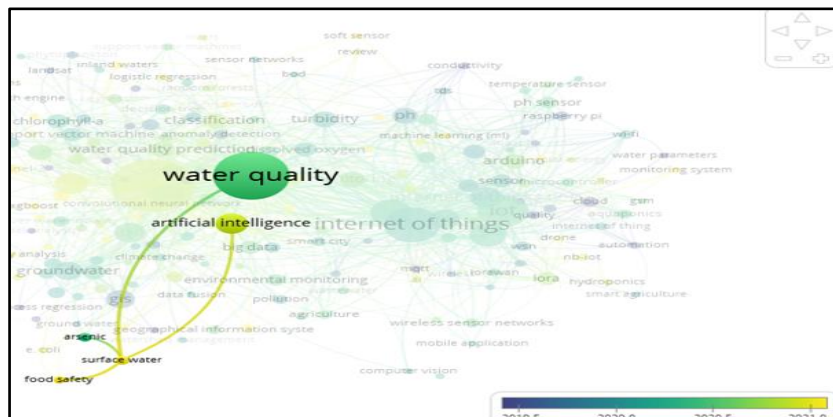
Gambar 1.3 Analisis Bibliometrik Berdasarkan Parameter Pengukuran

Berdasarkan analisis celah kerapatan yang menghubungkan metode dan tujuan penelitian masih sedikit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.4.



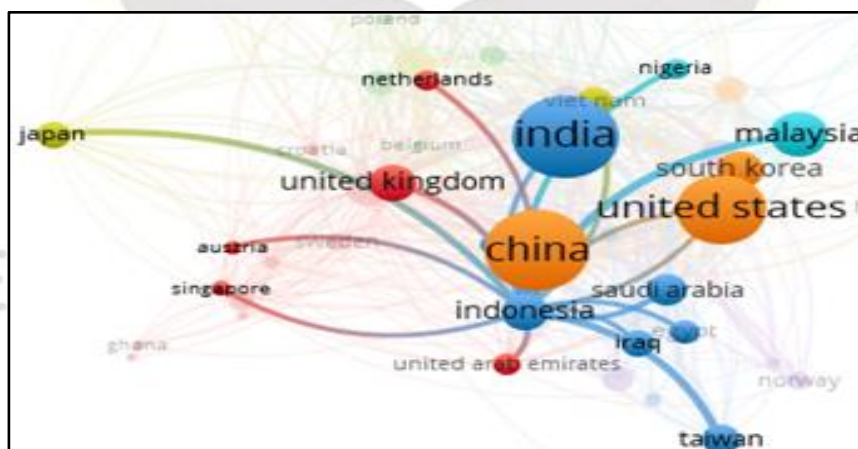
Gambar 1.4 Analisis Bibliometrik Berdasarkan Metode dan Tujuan Penelitian

Penelitian yang berkaitan dengan pengendalian kualitas air permukaan sungai yang dilakukan dalam 5 tahun terakhir nampak masih jarang hal ini dikarenakan warna cenderung cerah. Gambar 1.5 menunjukkan banyaknya penelitian yang dilakukan selama setahun.



**Gambar 1.5 Analisis Bibliometrik Berdasarkan Banyaknya Penelitian
Setahun**

Terdapat 134 negara yang relevan dengan jumlah publikasi dan sitasi serupa dengan penelitian disertasi ini, dimana 61 negara memenuhi ambang batas yang ditetapkan. India menduduki peringkat pertama dengan 378 dokumen dan 2194 sitasi, serta memiliki 130 *link strength*. Negara-negara lain yang signifikan termasuk China, Amerika Serikat, Malaysia, dan Australia. Indonesia memiliki 67 publikasi dan 189 sitasi dengan 35 *link strength*. Gambar 1.6 menunjukkan distribusi negara-negara berdasarkan publikasi yang relevan dengan penelitian disertasi ini.



Gambar 1.6 Analisis Bibliometrik Berdasarkan Negara Dalam Publikasi Penelitian

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Mengendalikan dan memantau kualitas air sungai secara efektif untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (SDGs) dengan konsep ekonomi hijau (*green economy*) melalui pengembangan dan penerapan model atau sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), sehingga menjadi solusi inovatif dan terukur bagi pengelolaan lingkungan air sungai oleh pihak berwenang.

1.4.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus pada penelitian disertasi ini antara lain:

- a) Menerapkan suatu tindakan untuk meningkatkan pengendalian kondisi lingkungan air sungai secara efektif dengan mempertimbangkan berbagai parameter lingkungan yang mempengaruhi kualitasnya melalui pengembangan pemodelan teknologi WebSIG.
- b) Merencanakan dan menerapkan tindakan untuk meningkatkan pengendalian kualitas air sungai melalui pengembangan model algoritma prediktif berbasis kecerdasan buatan (AI) yang dapat memprediksi dan menganalisis perubahan kualitas air sungai.
- c) Memantau kondisi air permukaan menggunakan jaringan sensor nirkabel (WSN) untuk informasi terkini dan mengirim peringatan dini melalui SMS kepada pengelola lingkungan atau pihak berwenang.
- d) Memantau kualitas air permukaan secara *real-time* dari jarak jauh menggunakan *platform* aplikasi IoT untuk mendukung pengambil kebijakan dalam pengelolaan sumber daya air.

- e) Memberikan kontribusi signifikan dalam pengendalian dan pemantauan kualitas air permukaan sungai dengan mengembangkan sistem yang terpadu untuk rekomendasi peruntukan sungai dan mitigasi dini.

1.5 Manfaat Penelitian

- a) Memberikan kontribusi signifikan dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan, fokus pada pengendalian kualitas air permukaan sungai secara holistik, terintegrasi, dan berkelanjutan dengan pendekatan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG).
- b) Meningkatkan sistem pengelolaan lingkungan air permukaan sungai secara adaptif dan berkelanjutan dengan penerapan teknologi kecerdasan buatan (AI) untuk pemantauan, pengendalian, dan manajemen lingkungan yang efektif.
- c) Memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan keberlanjutan pengelolaan lingkungan air permukaan sungai melalui teknologi jaringan sensor nirkabel dengan *SMS Gateway*.
- d) Meningkatkan pengelolaan dan pemantauan lingkungan air permukaan sungai secara canggih, efisien, dan berkelanjutan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT).
- e) Memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi *website* untuk pengendalian dan pemantauan lingkungan dengan dampak praktis yang besar pada peningkatan kesadaran publik, transparansi, efisiensi pengelolaan lingkungan, dan pengambilan keputusan yang informatif.