

MODEL SIG INTERPOLASI DAN OVERLAY UNTUK ZONASI KESESUAIAN AKUAKULTUR TINGKAT KECAMATAN DI KABUPATEN INDRAGIRI HILIR

Maulidya Risvani Syafha Samosir¹, Syaiful Ramadhan Harahap^{2*},
Arief Rachman B³, Khairul Ihwan⁴, Indra Suandy⁵

^{1,2,3} Budidaya Perairan, Universitas Islam Indragiri, Tembilahan, Riau, Indonesia

⁴ Teknik Industri, Universitas Islam Indragiri, Tembilahan, Riau, Indonesia

⁵ Perencanaan Wilayah dan Perdesaan, Program Pascasarjana, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia.

*Correspondent email: syaiful.r.harahap@gmail.com

Diterima: 25 Februari 2026| Disetujui: 29 Maret 2026| Diterbitkan: 30 Maret 2026

ABSTRACT

Coastal wetland regions require precise spatial planning to support sustainable aquaculture development, particularly in areas where environmental constraints limit production potential. This study aimed to evaluate land suitability for aquaculture in the Tembilahan Hulu District using integrated geospatial modeling based on biophysical parameters and spatial analysis. Surface water quality was measured in situ under tidal conditions at six sampling stations and analyzed using inverse distance weighted (IDW) interpolation to generate spatial distribution patterns. A GIS-based weighted overlay approach was applied through multi-criteria decision evaluation to classify aquaculture suitability zones. The resulting suitability map showed four classes covering 14,870.31 ha, including highly suitable (S1) areas of 1,246.75 ha, moderately suitable (S2) areas of 1,968.44 ha, marginally suitable (S3) areas of 9,772.76 ha, and unsuitable (N) areas of 1,882.36 ha. The dominance of S3 indicated broad aquaculture potential with management requirements, whereas low pH and dissolved oxygen (DO) fluctuations associated with wetland characteristics and geopedological constraints were identified as major limiting factors. The spatial model demonstrates an effective decision-support framework for aquaculture zoning and provides practical guidance for regional fishery development policies and sustainability.

Keywords: Aquaculture suitability; GIS-based modeling; IDW interpolation; weighted overlay

PENDAHULUAN

Akuakultur kini menjadi salah satu simpul strategis dalam pemenuhan kebutuhan pangan, penguatan ekonomi wilayah, dan pengurangan tekanan terhadap sumber daya ikan tangkap. Pertumbuhan konsumsi ikan dan meningkatnya kebutuhan protein akuatik menempatkan sektor ini bukan lagi sebagai kegiatan pelengkap, melainkan sebagai pilar penting dalam transformasi sistem pangan biru yang berkelanjutan (FAO, 2020; Kurniawan et al., 2025). Di Indonesia, arah pembangunan kelautan dan perikanan juga semakin menekankan peningkatan produktivitas perikanan budidaya melalui pemanfaatan ruang yang lebih terencana, adaptif, dan berbasis data spasial (Pattinasarany et al., 2026). Akan tetapi, ekspansi akuakultur yang tidak didukung informasi kesesuaian lahan berisiko menimbulkan inefisiensi produksi, konflik pemanfaatan ruang, penurunan kualitas lingkungan, serta kegagalan usaha budidaya. Karena itu, perencanaan lokasi menjadi tahap awal yang menentukan keberhasilan teknis, ekologis, dan ekonomi dalam pengembangan akuakultur.

Kabupaten Indragiri Hilir, khususnya Kecamatan Tembilahan Hulu, memiliki karakter wilayah yang potensial untuk dikembangkan sebagai kawasan akuakultur berbasis perairan umum. Wilayah ini berada dalam lanskap dataran rendah pesisir-tropis yang dipengaruhi jaringan sungai, kanal, lahan basah, serta dinamika iklim lokal yang dapat mendukung kegiatan perikanan apabila dikelola secara tepat (BPS, 2025; Sawitri & Afiza, 2024). Potensi tersebut belum sepenuhnya terkonversi menjadi peningkatan produksi perikanan yang



signifikan karena informasi spasial mengenai zona kesesuaian lahan akuakultur belum tersedia secara memadai. Dalam praktik lapangan, pemilihan lokasi budidaya sering kali masih bertumpu pada pengalaman lokal, kedekatan akses, atau ketersediaan lahan, bukan pada evaluasi ilmiah terhadap kualitas air, kondisi geomorfologi, dan faktor klimatologi (Aguilar-Manjarrez et al., 2010). Situasi ini menyebabkan keputusan pengembangan sentra akuakultur belum memiliki dasar spasial yang kuat.

Kajian terdahulu menunjukkan bahwa pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah menjadi instrumen penting dalam seleksi lokasi akuakultur karena mampu mengintegrasikan berbagai parameter biofisik, lingkungan, dan sosial-ekonomi ke dalam satu kerangka analisis spasial. Assefa & Abebe (2018) misalnya, menggunakan pemodelan SIG untuk mengidentifikasi lokasi potensial akuakultur di wilayah Danau Tana, Ethiopia, dengan mempertimbangkan kesesuaian lahan dan ketersediaan sumber daya. Calle Yunis et al. (2020) mengombinasikan penginderaan jauh, SIG, dan Analytical Hierarchy Process untuk menilai kesesuaian lahan budidaya ikan trout di Peru. Di Indonesia, Wicaksono et al. (2020) memetakan kesesuaian kualitas perairan untuk keramba jaring apung di Teluk Lampung menggunakan parameter kedalaman, kecerahan, arus, suhu, salinitas, pH, dan oksigen terlarut. Tinjauan sistematis Chentouf et al. (2023) juga menegaskan bahwa metode multi-criteria evaluation berbasis SIG semakin dominan dalam riset pemilihan lokasi akuakultur karena dapat menangani banyak parameter secara simultan.

Meskipun literatur tersebut telah memperlihatkan kemajuan metodologis, masih terdapat celah penting yang belum dijawab dalam konteks perairan umum Kabupaten Indragiri Hilir. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada kawasan pesisir, danau besar, atau sistem budidaya tertentu seperti keramba jaring apung dan tambak, sementara kajian spasial untuk akuakultur perairan umum pada skala kecamatan masih relatif terbatas. Selain itu, beberapa studi lebih menitikberatkan parameter kualitas air atau faktor fisik tertentu, tetapi belum secara eksplisit menggabungkan kualitas air permukaan, kondisi geomorfologi, dan klimatologi dalam satu model interpolasi dan *overlay* yang menghasilkan informasi rinci hingga tingkat kelurahan. Keterbatasan lain terletak pada keluaran analisis yang sering berhenti pada klasifikasi kesesuaian umum, tanpa menyajikan estimasi luas zona potensial menurut unit administrasi lokal. Padahal, informasi semacam ini sangat dibutuhkan pemerintah daerah untuk menyusun prioritas intervensi, alokasi program, dan arahan pengembangan sentra akuakultur.

Penelitian ini menawarkan kebaruan melalui pembangunan model SIG yang mengintegrasikan metode interpolasi dan *overlay* untuk menghasilkan zonasi kesesuaian lahan akuakultur secara lebih rinci di Kecamatan Tembilahan Hulu. Interpolasi digunakan untuk memodelkan distribusi spasial parameter kualitas air permukaan dari titik pengamatan menjadi permukaan kontinu, sedangkan *overlay* digunakan untuk menggabungkan parameter kualitas air, geomorfologi, dan klimatologi ke dalam kelas kesesuaian lahan. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan peta tematik, tetapi juga menyediakan informasi kuantitatif mengenai luas zona kesesuaian berdasarkan wilayah kelurahan. Dengan demikian, penelitian ini bergerak melampaui pemetaan potensi secara deskriptif menuju sistem pendukung keputusan spasial yang lebih operasional. Sejalan dengan pandangan Silverthorn et al. (2025), model kesesuaian akuakultur berbasis SIG perlu disusun secara transparan agar hasilnya dapat digunakan oleh pengambil kebijakan, penyuluh, dan pelaku usaha secara lebih efektif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan membuat peta zonasi kesesuaian lahan akuakultur di Kecamatan Tembilahan Hulu, Kabupaten Indragiri Hilir, dengan mengintegrasikan parameter kualitas air permukaan, geomorfologi, dan klimatologi

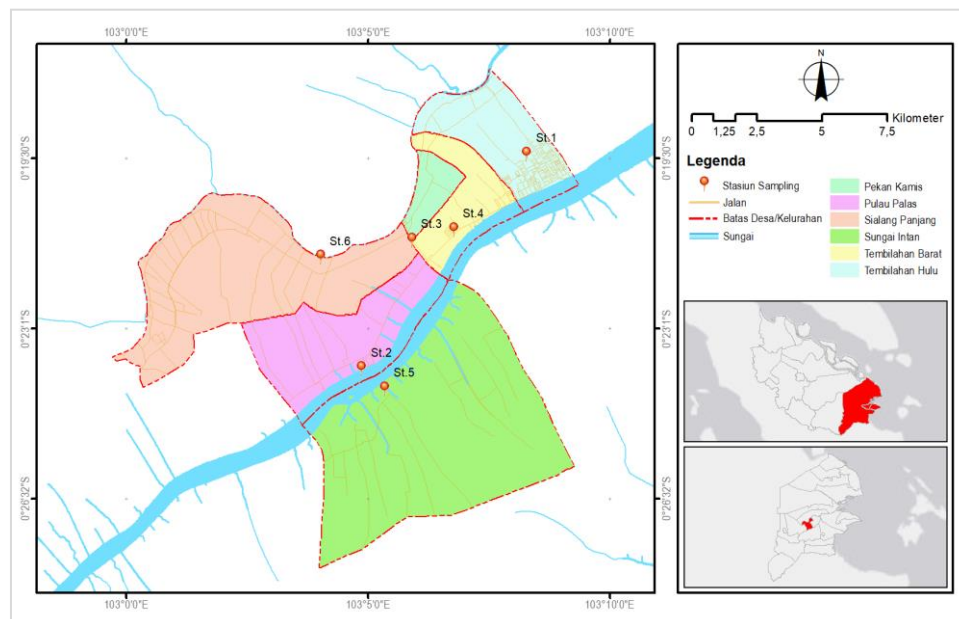


melalui pendekatan SIG, interpolasi, dan *overlay*. Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi pada penguatan literatur pemodelan spasial akuakultur di perairan umum tropis, khususnya pada skala administrasi kecamatan yang selama ini kurang mendapat perhatian. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan menjadi rujukan awal bagi pemerintah daerah dalam menentukan lokasi prioritas pengembangan akuakultur, mengurangi risiko pemanfaatan ruang yang tidak sesuai, serta mendorong peningkatan produksi perikanan secara berkelanjutan. Dengan peta kesesuaian yang terukur hingga tingkat kelurahan, potensi Kecamatan Tembilahan Hulu dapat diterjemahkan menjadi kebijakan pengembangan sentra akuakultur yang lebih presisi, berbasis bukti, dan responsif terhadap karakter biofisik wilayah.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Januari–April 2026 di Kecamatan Tembilahan Hulu, Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. Lokasi penelitian dipilih karena wilayah ini memiliki kombinasi perairan umum, dataran rendah aluvial, kawasan permukiman, lahan pertanian, dan sistem hidrologi yang dipengaruhi dinamika pasang-surut. Enam stasiun pengamatan kualitas air permukaan ditetapkan secara *purposive* pada enam wilayah administrasi, yaitu Pulau Palas, Tembilahan Hulu, Sialang Panjang, Pekan Kamis, Sungai Intan, dan Tembilahan Barat. Penentuan stasiun tidak hanya didasarkan pada kemudahan akses, tetapi juga pada prinsip keterwakilan spasial dan ekologis, meliputi variasi rona lingkungan, tekanan aktivitas manusia, perbedaan penggunaan lahan, dan distribusi badan air yang relevan bagi akuakultur. Satu stasiun pada setiap kelurahan dianggap memadai untuk membangun permukaan spasial awal karena unit analisis akhir penelitian adalah zona kesesuaian tingkat kelurahan. Sebaran stasiun, batas administrasi, jaringan perairan, dan lokasi pengamatan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan titik sampling kualitas air permukaan menurut kelurahan di Kecamatan Tembilahan Hulu



Prosedur Sampling

Variabel penelitian ini terdiri atas kualitas air permukaan, klimatologi, dan geomorfologi. Parameter kualitas air meliputi suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO), dan salinitas. Parameter klimatologi berupa curah hujan, sedangkan parameter geomorfologi mencakup tutupan lahan, geologi, kemiringan lereng, dan jenis tanah. Pengukuran kualitas air dilakukan secara *in situ* di enam stasiun pengambilan sampel menggunakan multiparameter *water quality meter* yang dilengkapi sensor suhu, pH, salinitas dan DO meter untuk mengukur DO pada air permukaan. Prosedur pengukuran dirujuk pada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* edisi ke-24 untuk analisis kualitas air, SNI 6989.11:2019 untuk pH, SNI 06-6989.23:2005 untuk suhu, dan SNI 06-6989.14:2004 sebagai acuan DO konvensional (Harahap et al., 2023; Lipps et al., 2023; SNI, 2008; Triwulandari & Cahyonugroho, 2023).

Pada setiap stasiun, koordinat titik dicatat menggunakan GPS *handheld* dalam sistem koordinat WGS 1984 (Rachman B et al., 2025). Sebelum pengukuran, probe dibersihkan dengan akuades, dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4,00; 7,00; dan 10,00, kemudian sensor DO dikondisikan sesuai petunjuk pabrik hingga pembacaan stabil. Pengukuran dilakukan pada kedalaman ± 30 cm dari permukaan air untuk menghindari bias lapisan permukaan. Probe dicelupkan selama 2–3 menit sampai nilai suhu, pH, DO, dan salinitas stabil; hasil pembacaan dicatat pada lembar lapangan dan disimpan dalam format tabular. Sampling dilakukan dua replikasi, yaitu saat pasang dan surut, agar variasi hidrologis dapat direpresentasikan dan nilai rata-rata setiap parameter lebih kuat secara validitas lapangan. Data sekunder berupa berkas spasial (*.shp) curah hujan, tutupan lahan, geologi, lereng, dan jenis tanah diperoleh dari BAPPEDA Kabupaten Indragiri Hilir, kemudian diperiksa sistem proyeksi, kelengkapan atribut, dan kesesuaiannya dengan batas administrasi Kelurahan pada Kecamatan Tembilahan Hulu.

Analisis Data

Data kualitas air diolah secara deskriptif melalui nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan simpangan baku. Nilai rata-rata parameter kualitas air permukaan kemudian dimasukkan ke dalam atribut titik sampling pada perangkat lunak ArcMap versi 10.8. Distribusi spasial suhu, pH, DO, dan salinitas dibangun menggunakan interpolasi *inverse distance weighted* (IDW). Metode IDW dipilih karena mengasumsikan bahwa titik yang lebih dekat memiliki kemiripan nilai lebih tinggi dibandingkan titik yang jauh (Harahap et al., 2023). Analisis IDW menggunakan alat analisis spasial di bawah *toolbox arc* pada ArcMap versi 10.8 (Shivakrishna et al., 2020). Hasil interpolasi selanjutnya dikonversi menjadi raster tematik per parameter, dipotong menggunakan batas Kecamatan Tembilahan Hulu. Rumus IDW dinyatakan sebagai berikut (ESRI, 2024; Khouni et al., 2021):

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(S_i) \quad w_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_j^p}}$$

Di mana; $\hat{Z}(S_0)$ = nilai estimasi atau hasil interpolasi pada lokasi target S_0 ; $\hat{Z}(S_i)$ = nilai atribut yang diketahui pada titik sampel ke- i ; w_i = bobot yang diberikan untuk titik sampel ke- i ; d_i = jarak euclidean antara lokasi target S_0 dengan titik sampel ke- i ; p = parameter pangkat (*power parameter*), umumnya bernilai 2. Semakin tinggi nilai p , maka semakin kecil



pengaruh titik sampel yang jauh; n = jumlah titik sampel yang digunakan dalam radius pencarian.

Penentuan tingkat kesesuaian akuakultur merujuk pada skor dan bobot setiap parameter. Skor menunjukkan tingkat kesesuaian masing-masing kategori parameter, sedangkan bobot menunjukkan tingkat kepentingan parameter terhadap pengembangan akuakultur. Nilai skor merujuk pada skala *Likert*: $S1 = 4$, $S2 = 3$, $S3 = 2$, dan $N = 1$. Sedangkan bobot ditentukan berdasarkan relevansi ekologis parameter terhadap keberhasilan akuakultur dan mengacu pada pendekatan *GIS-based multi-criteria* (Assefa & Abebe, 2018; Chentouf et al., 2023; Orou-Seko & Adokiya, 2026). Nilai skor dan bobot masing-masing variabel secara rinci disajikan pada Tabel 1.

Analisis indeks kesesuaian lahan dilakukan untuk menentukan tingkat kesesuaian setiap satuan wilayah berdasarkan total nilai skor berbobot. Indeks Kesesuaian (IK) dihitung berdasarkan persentase perbandingan antara total nilai parameter yang diperoleh dan total nilai maksimum yang mungkin dicapai. Rumus yang digunakan mengacu pada H et al. (2023), yaitu:

$$IK = \sum \left[\frac{N_i}{N_{max}} \right] \times 100\%$$

Di mana: IK = indeks kesesuaian; N_i = nilai parameter ke- i , yaitu hasil perkalian antara bobot dan skor; N_{maks} = nilai maksimum kelas kesesuaian.

Berdasarkan nilai indeks kesesuaian, pengelompokan kelas dilakukan menggunakan metode equal interval atau interval kelas jarak sama. Rumus interval kelas mengacu pada Riza (2016), yaitu:

$$Interval (i) = \frac{\text{Nilai tertinggi aktual} - \text{Nilai terendah aktual}}{\text{Jumlah kelas}}$$

Hasil perhitungan interval digunakan untuk menentukan batas kelas kesesuaian lahan. Dalam penelitian ini, kelas kesesuaian lahan dikelompokkan ke dalam empat kelas kesesuaian mengacu pada Supriyono et al. (2025) sebagai berikut:

1. Skor $\geq 92,05\%$: Kelas S1 (Sangat Sesuai – *Highly Suitable*)

Lahan pada kelas ini tidak memiliki faktor pembatas yang nyata atau hanya memiliki faktor pembatas yang tidak berarti terhadap keberlanjutan aktivitas akuakultur. Seluruh parameter berada pada rentang optimal bagi biota akuakultur. Kelas ini menjamin produktivitas yang maksimal dengan biaya masukan (*input*) pengelolaan yang minimal dan efisien,

2. Skor 87,88% - 92,05%: Kelas S2 (Cukup Sesuai – *Moderately Suitable*)

Lahan mempunyai faktor pembatas yang agak berat untuk mempertahankan tingkat pengelolaan yang dilakukan. Hambatan ini sedikit mengurangi produktivitas atau keuntungan biologis biota akuakultur, serta memerlukan tingkat masukan teknologi atau biaya operasional tambahan agar produksi tetap optimal,

3. Skor 83,72% - 87,88%: Kelas S3 (Sesuai Marginal – *Marginally Suitable*)

Lahan memiliki faktor pembatas yang sangat berat yang dapat mengganggu keberlangsungan budidaya secara signifikan. Faktor pembatas ini akan sangat mengurangi produktivitas dan keuntungan ekonomi apabila tidak dilakukan modifikasi atau perbaikan lingkungan yang intensif. Penggunaan lahan pada kelas ini membutuhkan masukan modal dan teknologi yang tinggi agar memenuhi syarat minimal budidaya.



4. Skor < 83,72%: Kelas N (Tidak Sesuai – *Not Suitable*)

Lahan atau perairan memiliki faktor pembatas yang bersifat permanen atau sangat sulit diatasi dengan teknologi saat ini. Kondisi lingkungan (seperti pencemaran ekstrem, fluktuasi parameter kualitas air yang mematikan, pembatasan tata ruang, dan peraturan perundangan) tidak memungkinkan untuk menunjang kehidupan biota akuakultur secara lestari, sehingga investasi di wilayah ini berpotensi merusak ekologi dan atau dapat mengalami kerugian ekonomi yang besar.

Tabel 1. Skor dan bobot penilaian variabel kesesuaian akuakultur

Parameter	Skor	Bobot
Tutupan Lahan		
Sawah	4	0,15
Pertanian Lahan Kering	3	0,15
Tanah Terbuka	3	0,15
Perkebunan	2	0,15
Belukar Rawa	2	0,15
Badan Air	1	0,15
Hutan Mangrove Sekunder	1	0,15
Pemukiman	1	0,15
Kelas Lereng		
Datar (0–8%)	4	0,15
Landai (8–15%)	3	0,15
Agak Curam (15–25%)	2	0,15
Curam (25–45%)	1	0,15
Jenis Tanah		
Aluvial	4	0,2
Gley (Gleysol)	3	0,2
Grumosol (Vertisol)	3	0,2
Regosol / Litosol	2	0,2
Organosol / Gambut	1	0,2
Geologi		
Endapan Aluvium (Qac)	4	0,05
Endapan Danau (Qs)	3	0,05
Formasi Kasai (Q Tk)	2	0,05
Formasi Karst / Gamping	1	0,05
Formasi Batuan Beku	1	0,05
Curah Hujan		
2.000–2.500 mm/tahun	4	0,1
2.500–3.000 mm/tahun	3	0,1
3.000–3.500 mm/tahun	2	0,1
< 2.000 mm/tahun	2	0,1
> 3.500 mm/tahun	1	0,1
Kualitas Air Permukaan		
Suhu		
28–32 °C	4	0,25
25–28 °C / 32–34 °C	3	0,25
20–25 °C	2	0,25
<20 °C atau >34 °C	1	0,25
Salinitas		
0–5 ppt	4	0,25
5–15 ppt	3	0,25
15–30 ppt	2	0,25
>30 ppt	1	0,25
pH		
6,5–8,5	4	0,25
5,5–6,5 / 8,5–9,0	3	0,25
4,0–5,5 / 9,0–10,0	2	0,25



<4,0 atau >10,0	1	0,25
DO		
>5 mg/L	4	0,25
3–5 mg/L	3	0,25
1–3 mg/L	2	0,25
<1 mg/L	1	0,25

Sumber: Dimodifikasi dari Zammi et al. (2019); Puspaningsih et al. (2025); Cahyaningrum et al. (2014); Nurussalam & Supriyono (2023); dan Wijanarko et al. (2023).

Overlay dilakukan melalui *weighted overlay* pada ArcMap 10.8 menggunakan pendekatan *Linear Combination* atau *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) yaitu dengan mengalikan nilai rating/skor dari setiap kriteria dengan bobot kepentingannya, kemudian menjumlahkan seluruh hasil perkalian tersebut untuk menghasilkan nilai total kesesuaian pada setiap piksel atau sel raster (ESRI, 2026b; Greene et al., 2011).

Luas zonasi dihitung melalui *intersect* antara raster kelas kesesuaian dan batas kelurahan pada ArcMap 10.8. Penghitungan luas area (L) untuk poligon hasil proyeksi dilakukan pada *projected coordinate system* UTM 48S menggunakan algoritma *Gauss's area formula* berbasis koordinat *vertices* (x, y) dengan rumus (ESRI, 2026a; Rogers & Staub, 2013):

$$L = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) + (x_n y_1 - x_1 y_n) \right|$$

Di mana: L = luas poligon hasil potongan *intersect* untuk kombinasi Kelurahan tertentu dan Kelas Kesesuaian tertentu; x_i, y_i = koordinat titik sudut (*vertices*) ke- i dari poligon tersebut; dan n = jumlah total titik sudut yang membentuk poligon.

Hasil akhir berupa peta zonasi lahan akuakultur dan tabel luas berdasarkan kriteria kesesuaian S1, S2, S3, dan N menurut kelurahan sebagai dasar spasial dalam pengembangan akuakultur di Kecamatan Tembilahan Hulu secara terukur dan operasional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

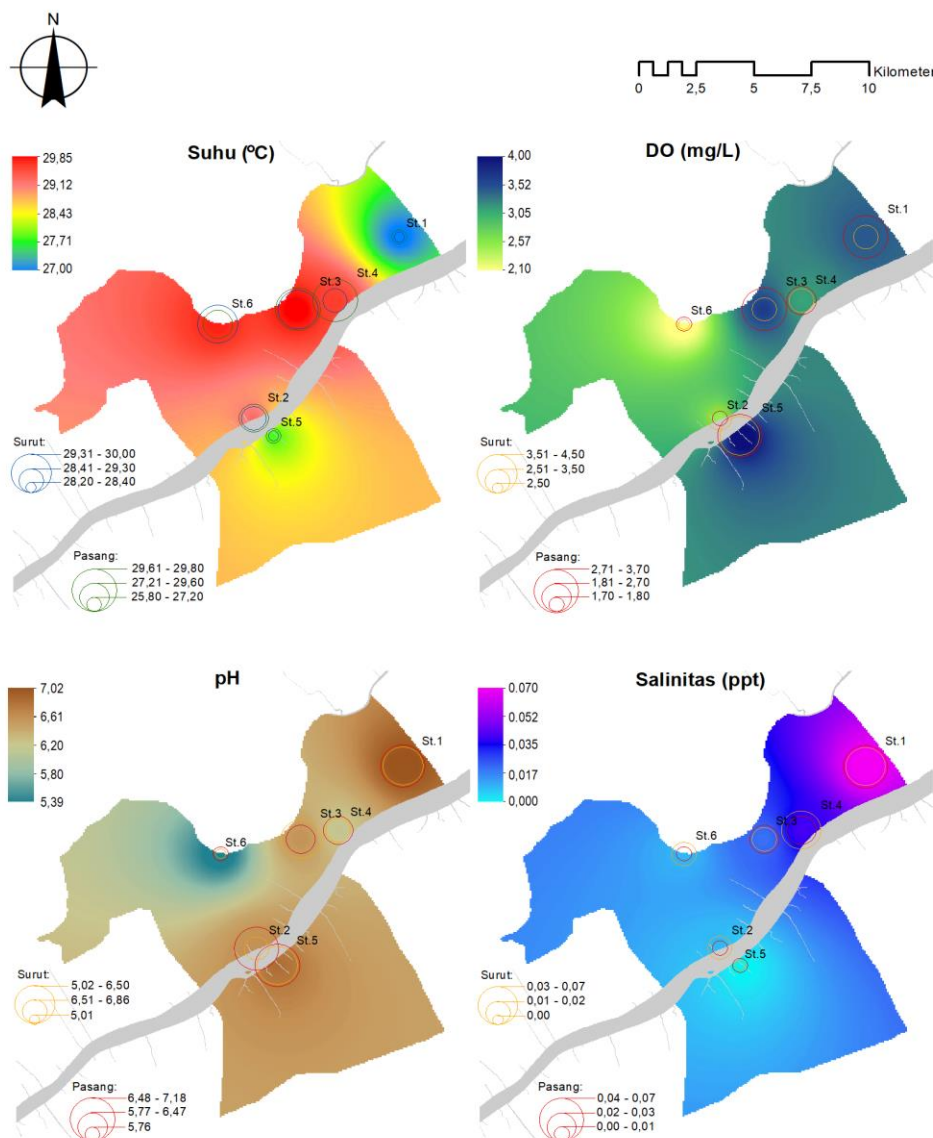
Pola Spasial Kualitas Air Permukaan Kecamatan Tembilahan Hulu

Hasil pengukuran kualitas air permukaan menunjukkan bahwa sistem perairan di wilayah studi berada dalam rezim tawar pasang-surut dengan dinamika fisik-kimia yang tidak seragam antar stasiun. Pola spasial kualitas air permukaan Kecamatan Tembilahan Hulu secara rinci disajikan pada Gambar 2.

Suhu air permukaan di Kecamatan Tembilahan Hulu berkisar 25,80–30,00°C, dengan kondisi surut cenderung lebih hangat (28,20–30,00°C) dibanding pasang (25,80–29,80°C). Rata-rata suhu tertinggi tercatat di Stasiun 3 Pekan Kamis sebesar 29,85°C, sedangkan nilai terendah terdapat di Stasiun 1 Tembilahan Hulu sebesar 27,00°C. Pola ini mengindikasikan bahwa pada saat surut, volume massa air yang lebih kecil dan waktu tinggal air yang lebih lama meningkatkan penyerapan panas di permukaan, sementara saat pasang terjadi pencampuran massa air yang relatif lebih besar sehingga suhu menjadi lebih teredam. Hasil interpolasi memperlihatkan bahwa variasi suhu tidak sekadar berupa titik ekstrem lokal, tetapi membentuk gradien spasial yang logis mengikuti kedekatan antarlokasi pengamatan. Temuan ini sejalan dengan penggunaan IDW dalam memetakan parameter kualitas air yang terbatas secara titik tetapi memerlukan representasi spasial kontinu (Khouni et al., 2021; Munyai et al., 2025).



Parameter pH menunjukkan kondisi agak masam hingga netral. Pada saat surut, pH berada pada kisaran 5,01–6,86, sedangkan saat pasang meningkat menjadi 5,76–7,18. Rata-rata pH tertinggi tercatat di Stasiun 1 Tembilaan Hulu sebesar 7,02, sementara nilai terendah ditemukan di Stasiun 6 Sialang Panjang sebesar 5,39. Kenaikan pH saat pasang dapat dipahami sebagai akibat pengenceran air masam lokal dan meningkatnya pencampuran kolom air, sedangkan pada saat surut pengaruh air dari lahan rawa, sedimen halus, dan rembesan bahan organik menjadi lebih dominan. Pada Stasiun 6, pH rendah tidak berdiri sendiri, namun berasosiasi dengan karakter tanah gley dan lingkungan rawa yang kaya bahan organik. Degradasi serasah vegetasi rawa menghasilkan senyawa humat dan fulvat yang memperkuat kemasaman air, sebagaimana dijelaskan pada kajian air gambut yang menempatkan *natural organic matter* sebagai penyebab warna gelap dan pH asam (Qadafi et al., 2023). Dengan demikian, anomali di Sialang Panjang lebih tepat dibaca sebagai sinyal geopedologi lokal, bukan sekadar variasi harian pasang-surut.



Gambar 2. Pola sebaran spasial kualitas air permukaan Kecamatan Tembilaan Hulu



Oksigen terlarut (DO) memperlihatkan fluktuasi yang lebih kritis bagi akuakultur. Nilai DO pada saat surut berkisar 2,50–4,50 mg/L, sedangkan saat pasang turun menjadi 1,70–3,70 mg/L. Rata-rata DO tertinggi terdapat di Stasiun 5 Sungai Intan sebesar 4,00 mg/L, sementara Stasiun 6 Sialang Panjang kembali menjadi lokasi paling tertekan dengan rata-rata 2,10 mg/L. Rendahnya DO di Sialang Panjang dapat dijelaskan melalui dua proses simultan: pertama, dekomposisi bahan organik rawa meningkatkan kebutuhan oksigen biologis; kedua, air yang relatif tenang pada zona datar dan rawa memperlambat reaerasi alami. Dalam konteks budidaya, nilai sekitar 2 mg/L telah mendekati ambang hipoksia operasional, sehingga perairan seperti ini membutuhkan pengelolaan aerasi, pengurangan beban organik, dan pengaturan kepadatan tebar. Kajian terbaru tentang DO pada kolam akuakultur menegaskan bahwa stabilitas oksigen merupakan faktor langsung bagi pertumbuhan, kesehatan, dan efisiensi sistem budidaya (Kelestemur et al., 2024; Yu et al., 2026).

Salinitas pada seluruh stasiun berada pada kategori tawar mutlak, yakni 0,00–0,07‰ baik saat pasang maupun surut. Konsistensi ini penting karena menunjukkan bahwa pasang-surut di wilayah studi lebih berperan sebagai mekanisme hidrodinamika sungai, bukan intrusi salin. Bagi ikan air tawar, salinitas yang homogen menurunkan beban osmoregulasi karena ikan tidak perlu mengalokasikan energi berlebih untuk menyesuaikan tekanan osmotik eksternal yang berubah-ubah. Energi metabolik yang tidak tersedot untuk regulasi ion dapat lebih banyak diarahkan pada pertumbuhan, respons imun, dan pemanfaatan pakan. Prinsip ini konsisten dengan kajian *salinity stress* yang menempatkan osmoregulasi sebagai proses fisiologis berbiaya energi tinggi pada organisme akuatik (Dildar et al., 2025).

Secara metodologis, interpolasi IDW menjadi pilihan yang kuat untuk menjembatani keterbatasan data diskret dari enam stasiun menjadi permukaan spasial kontinu di tingkat kecamatan. Prinsipnya sederhana tetapi efektif, di mana nilai pada sel yang tidak terukur diprediksi dari titik pengamatan di sekitarnya dengan bobot yang menurun mengikuti jarak *Euclidean*. Dengan *power* parameter ($p = 2$), titik yang lebih dekat memperoleh pengaruh jauh lebih besar dibanding titik yang jauh, sehingga permukaan yang dihasilkan tetap mengikuti logika kedekatan spasial tanpa menciptakan pola yang terlalu spekulatif. Keunggulan IDW dalam studi ini terletak pada kemampuannya menampilkan gradien suhu, pH, DO, dan salinitas secara komunikatif bagi pengambil keputusan. Namun, IDW tetap harus dibaca sebagai alat estimasi spasial, bukan pengganti pengukuran lapangan. Kualitasnya akan meningkat bila jumlah stasiun dan frekuensi temporal ditambah pada penelitian berikutnya.

Faktor Klimatologi dan Geomorfologi Lahan Kecamatan Tembilahan Hulu

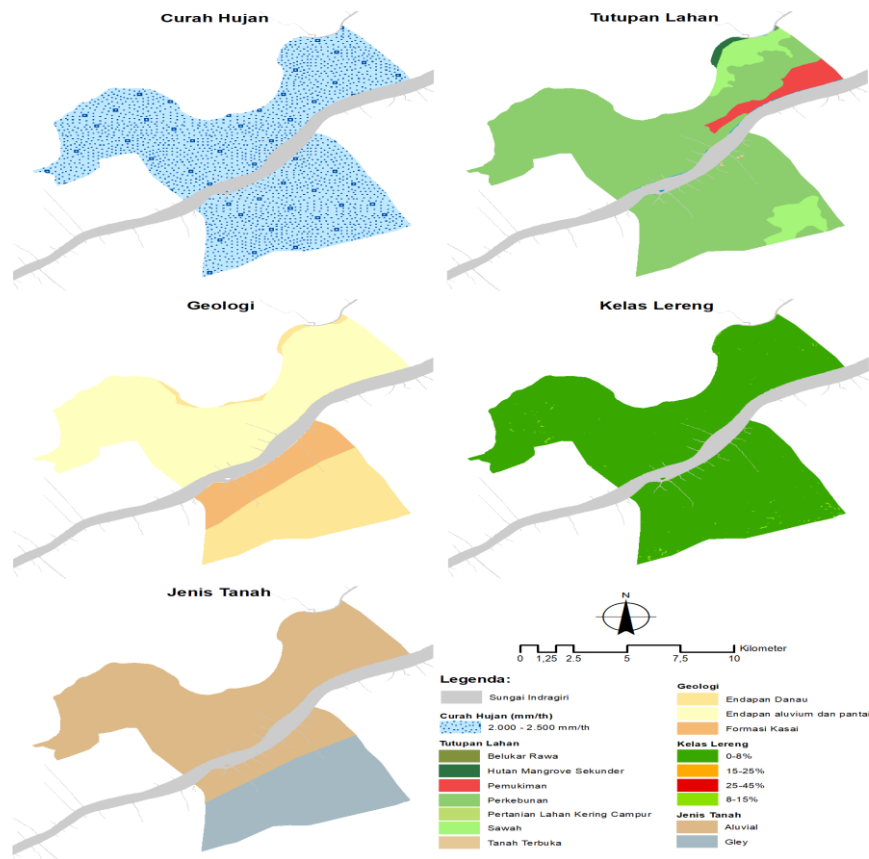
Faktor klimatologi dan geomorfologi memperlihatkan bahwa wilayah studi memiliki curah hujan relatif homogen, yaitu 2.000–2.500 mm/tahun. Homogenitas curah hujan ini menguntungkan karena mengurangi perbedaan tajam pasokan air antar blok lahan, meskipun pada sisi lain tetap menuntut desain *drainase* yang baik agar kolam tidak mengalami limpasan berlebih pada musim hujan. Dari aspek pedologi, wilayah studi didominasi tanah aluvial pada koridor utara dan tengah, serta tanah gley pada bagian selatan dan tenggara. Kedua kelompok tanah ini disokong oleh satuan geologi Endapan Aluvium dan Pantai, Formasi Kasai, serta endapan danau. Kombinasi tersebut menunjukkan bahwa bentang lahan dibentuk oleh proses deposisional berenergi rendah, yang umumnya menghasilkan tekstur halus, kelembapan tinggi, dan daya simpan air yang baik.

Kemiringan lereng 0–8% mempertegas bahwa kawasan ini secara teknis sesuai untuk pengembangan kolam tanah. Pada lahan datar, kebutuhan *cut and fill*, pemindahan tanah, serta stabilisasi tanggul relatif lebih kecil dibanding lahan bergelombang. Konsekuensinya, biaya



awal *earthwork* dapat ditekan, risiko erosi tanggul menurun, dan desain *inlet-outlet* lebih mudah dikontrol. Studi geoteknologi untuk kolam gali menekankan bahwa kemiringan rendah merupakan faktor utama karena lereng yang lebih curam meningkatkan kebutuhan pekerjaan tanah dan biaya konstruksi (Francisco et al., 2019). Dalam konteks ini, satuan aluvial dan endapan danau memberi keuntungan tambahan berupa retensi air yang baik, sedangkan tanah gley perlu dikelola lebih hati-hati karena kondisi reduktif dan bahan organik tinggi dapat menurunkan pH serta DO.

Tutupan lahan didominasi perkebunan, pertanian lahan kering campur, sawah, dan tanah terbuka. Secara praktis, kategori tersebut merupakan ruang yang relatif lebih mudah dipertimbangkan untuk akuakultur sepanjang tidak mengganggu produktivitas pangan dan tidak bertentangan dengan rencana tata ruang. Sebaliknya, permukiman padat, hutan mangrove sekunder, dan belukar rawa harus ditempatkan sebagai *constraint*. Permukiman padat menimbulkan risiko konflik ruang, pencemaran domestik, keterbatasan lahan, dan isu biosekuriti. Hutan mangrove sekunder lebih tegas lagi, meskipun penelitian ini berorientasi pada akuakultur air tawar, konversi mangrove atau vegetasi basah bernilai ekologis dapat melemahkan fungsi perlindungan pesisir, biodiversitas, dan penyimpanan karbon. Literatur terbaru menekankan bahwa pemilihan lokasi akuakultur harus mengintegrasikan batas ekologis dan regulasi agar ekspansi produksi tidak mengulang pola degradasi mangrove yang pernah terjadi pada kawasan budidaya tropis (Jayanthi et al., 2022; McSherry et al., 2023; Muenzel et al., 2025). Sebaran spasial faktor klimatologi dan geomorfologi lahan di Kecamatan Tembilihan Hulu dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sebaran spasial klimatologi dan geomorfologi lahan Kecamatan Tembilihan Hulu



Zonasi Kesesuaian Akuakultur Berbasis Administrasi Kecamatan Tembilahan Hulu

Hasil pemodelan *weighted overlay* mengklasifikasikan 14.870,31 ha wilayah ke dalam empat kelas kesesuaian. Kelas S1 atau sangat sesuai memiliki indeks kesesuaian 92,42% dengan total 1.246,75 ha atau 8,38% dari wilayah terklasifikasi. Kelas ini tersebar di Sungai Intan 588,42 ha, Tembilahan Hulu 433,33 ha, Pekan Kamis 136,80 ha, dan Tembilahan Barat 88,20 ha. Kelas S2 atau cukup sesuai mencakup 1.968,44 ha atau 13,24%, dengan IK 90,15–90,91%. Sebarannya meliputi Sungai Intan 1.223,20 ha, Tembilahan Barat 283,28 ha, Pulau Palas 208,45 ha, Sialang Panjang 129,61 ha, Pekan Kamis 98,41 ha, dan Tembilahan Hulu 25,49 ha. Kelas S3 atau sesuai marginal menjadi kelas dominan dengan luas 9.772,76 ha atau 65,72%, terutama di Sungai Intan 3.799,38 ha dan Sialang Panjang 3.525,87 ha. Kelas N atau tidak sesuai mencakup 1.882,36 ha atau 12,66%, terbesar di Tembilahan Hulu 582,83 ha dan Tembilahan Barat 435,59 ha. Luas kesesuaian lahan akuakultur Kecamatan Tembilahan Hulu berdasarkan administrasi kelurahan dapat di lihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas kesesuaian lahan akuakultur Kecamatan Tembilahan Hulu berdasarkan administrasi Kelurahan

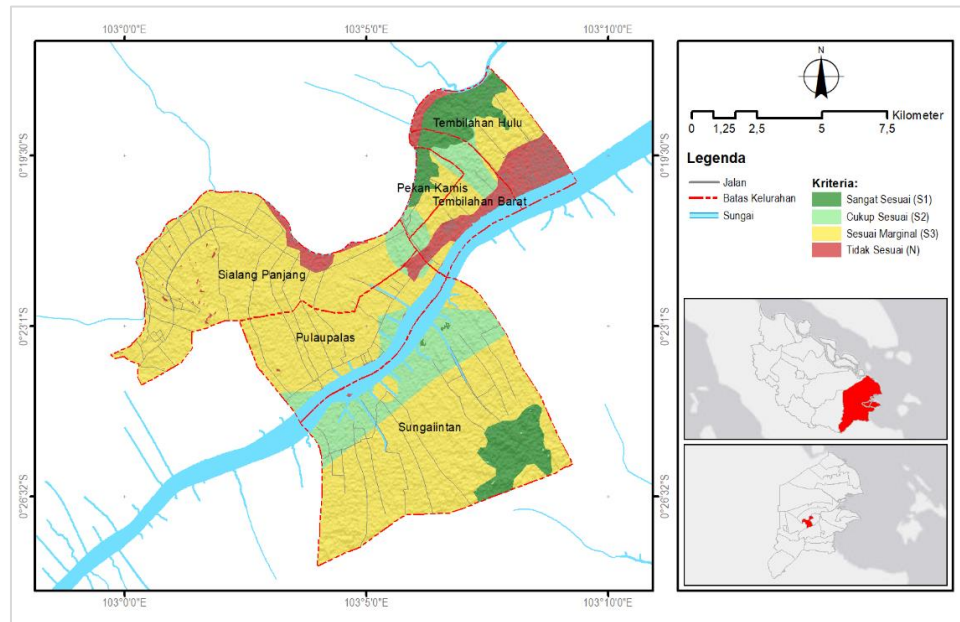
Kelurahan	IK	Kriteria	Luas (ha)	Persentase (%)
Tembilahan Hulu	92,42	S1	433,33	2,91
	90,15	S2	25,49	0,17
	87,88	S3	425,87	2,86
	79,55	N	582,83	3,92
Pulau Palas	91,67	S2	208,45	1,40
	84,09	S3	1.596,67	10,74
	81,82	N	366,51	2,46
Pekan Kamis	92,42	S1	136,80	0,92
	90,15	S2	98,41	0,66
	87,88	S3	161,71	1,09
	79,55	N	0,81	0,01
Tembilahan Barat	92,42	S1	88,20	0,59
	90,15	S2	283,28	1,91
	87,88	S3	263,26	1,77
	79,55	N	435,59	2,93
Sungai Intan	92,42	S1	588,42	3,96
	90,91	S2	1.223,20	8,23
	86,36	S3	3.799,38	25,55
	81,82	N	327,92	2,21
Sialang Panjang	91,67	S2	129,61	0,87
	84,09	S3	3.525,87	23,71
	80,30	N	168,70	1,13
Luas Kecamatan Tembilahan Hulu			14.870,31	100,00

Keterangan: S1 = Sangat Sesuai (*Highly Suitable*); S2 = Cukup Sesuai (*Moderately Suitable*); S3 = Sesuai Marginal (*Marginally Suitable*); Kelas N = Tidak Sesuai (*Not Suitable*).

Dominasi kelas S3 tidak boleh dimaknai sebagai kegagalan lahan, melainkan sebagai indikasi bahwa sebagian besar wilayah memerlukan intervensi teknis sebelum mencapai performa budidaya yang stabil. Di Sungai Intan, luas S3 yang besar berdampingan dengan S1 dan S2 yang juga luas, artinya kelurahan ini memiliki prospek ekspansi, tetapi harus diseleksi mikro berdasarkan pH, DO, akses air, dan konflik lahan. Di Sialang Panjang, dominasi S3 lebih terkait dengan tekanan kualitas air, terutama pH rata-rata 5,39 dan DO rata-rata 2,10 mg/L. Untuk kawasan seperti ini, teknologi budidaya tidak boleh dilepas secara ekstensif tanpa perlakuan. Pengapuran lahan menjadi kebutuhan utama untuk meningkatkan pH tanah-dasar dan kapasitas penyangga alkalinitas, sementara aerasi intensif diperlukan untuk



mengurangi risiko hipoksia, terutama pada malam hari dan saat akumulasi bahan organik meningkat. Literatur terbaru menunjukkan bahwa pengapuran dapat memperbaiki pH tanah dasar, alkalinitas, dan stabilitas kualitas air, sedangkan aerasi merupakan teknik langsung untuk meningkatkan DO pada kolam (Kelestemur et al., 2024; Nguyen, 2025). Peta zonasi kesesuaian akuakultur berbasis administrasi Kecamatan Tembilahan Hulu secara rinci disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Zonasi kesesuaian akuakultur berbasis administrasi Kecamatan Tembilahan Hulu

Secara kebijakan, peta kesesuaian berbasis kecamatan merupakan instrumen penting bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Indragiri Hilir. Unit administrasi kecamatan memudahkan penerjemahan hasil teknis menjadi arahan zonasi, prioritas investasi, dan pengendalian izin. Kelas S1 dan S2 sebaiknya ditempatkan sebagai zona prioritas pengembangan awal, khususnya pada area Sungai Intan dan Tembilahan Hulu yang menunjukkan kombinasi kualitas lahan dan air lebih kuat. Kelas S3 dapat diarahkan sebagai zona pengembangan bersyarat dengan paket teknologi wajib: pengapuran, aerasi, pengelolaan lumpur organik, serta pemantauan pH-DO berkala. Kelas N perlu ditahan dari ekspansi budidaya karena biaya koreksi biofisik dan risiko konflik ruangnya lebih besar. Dengan model spasial yang transparan, Pemda dapat mencegah tumpang tindih antara rencana akuakultur dan perkebunan, sekaligus memastikan bahwa konversi lahan tidak merambah permukiman padat, mangrove sekunder, atau kawasan rawa bernilai ekologis. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *GIS-based multi-criteria evaluation* yang menekankan integrasi kriteria ekologis, teknis, infrastruktur, dan regulasi dalam pengambilan keputusan akuakultur (Assefa & Abebe, 2018; Gemilang et al., 2024; Orou-Seko & Adokiya, 2026; Silverthorn et al., 2025).

KESIMPULAN

Integrasi pemodelan spasial berbasis interpolasi *inverse distance weighted* (IDW) dan *weighted overlay* mampu merepresentasikan pola kesesuaian lahan akuakultur di Kecamatan Tembilahan Hulu secara komprehensif melalui kombinasi karakteristik biofisik dan spasial.



Dari total wilayah terklasifikasi seluas 14.870,31 ha, zona S1 mencakup 1.246,75 ha, S2 sebesar 1.968,44 ha, S3 mendominasi dengan luas 9.772,76 ha, dan zona N seluas 1.882,36 ha, yang menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah memiliki peluang pengembangan akuakultur dengan kebutuhan intervensi teknis tertentu. Rendahnya kualitas air, terutama fluktuasi DO dan pH akibat karakteristik lahan basah serta kondisi tanah gley dengan akumulasi bahan organik, menjadi faktor pembatas utama yang mengendalikan distribusi kesesuaian, sebagaimana terlihat pada wilayah Sialang Panjang. Peta zonasi berbasis administrasi kelurahan yang dihasilkan menyediakan informasi strategis bagi pengelolaan ruang akuakultur, baik untuk penetapan kawasan prioritas pada zona S1–S2 maupun pengembangan bersyarat pada zona S3 melalui penerapan teknologi perbaikan kualitas lingkungan seperti pengapuran, aerasi, dan pengelolaan bahan organik. Namun, peningkatan akurasi model masih diperlukan melalui integrasi data temporal kualitas air, karakteristik tanah, dinamika hidrodinamika, serta pendekatan pemodelan spasial-temporal agar sistem evaluasi kesesuaian lahan akuakultur tropis dapat berkembang menjadi lebih adaptif, presisi, dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada BAPPEDA Kabupaten Indragiri Hilir dalam penyediaan data tematik sekunder dan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam kelancaran dan penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar-Manjarrez, J., Kapetsky, J. M., Soto, D., & Fisheries and Aquaculture Management Division. (2010). *The Potential of Spatial Planning Tools to Support the Ecosystem Approach to Aquaculture*. (1st ed.). <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i1359e>.
- Assefa, W. W., & Abebe, W. B. (2018). GIS Modeling of Potentially Suitable Sites for Aquaculture Development in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 7(1), 72. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0222-0>.
- BPS. (2025). *Kabupaten Indragiri Hilir Dalam Angka 2025*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Indragiri Hilir. <https://inhilkab.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/ccd06ccd6612863f6ced45aa/kabupaten-indragiri-hilir-dalam-angka-2025.html>.
- Cahyaningrum, W., Widiatmaka, W., & Soewardi, K. (2014). Potensi Lahan Untuk Kolam Ikan di Kabupaten Cianjur Berdasarkan Analisis Kesesuaian- Lahan Multi Kriteria. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 16(1), 24–30. <https://doi.org/10.29244/jitl.16.1.2430>.
- Calle Yunis, C. R., Salas López, R., Cruz, S. M. O., Barboza Castillo, E., Silva López, J. O., Iliquin Trigos, D., & Briceño, N. B. R. (2020). Land Suitability for Sustainable Aquaculture of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Molinopampa (Peru) Based on RS, GIS, and AHP. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(1), 28. <https://doi.org/10.3390/ijgi9010028>.



- Chentouf, S., Sebbah, B., Bahousse, E. H., Wahbi, M., & Maâtouk, M. (2023). GIS-Based Multi-Criteria Evaluation (MCE) Methods for Aquaculture Site Selection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(10), 439. <https://doi.org/10.3390/ijgi12100439>.
- Dildar, T., Cui, W., Ikhwanuddin, M., & Ma, H. (2025). Aquatic Organisms in Response to Salinity Stress: Ecological Impacts, Adaptive Mechanisms, and Resilience Strategies. *Biology*, 14(6), 667. <https://doi.org/10.3390/biology14060667>.
- ESRI. (2024). *How Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation Works*. ArcGIS Pro Documentation. <https://doc.esri.com/en/arcgis-pro/latest/>.
- ESRI. (2026a). *An Overview of the Analysis Toolbox*. ArcGIS Pro Documentation. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/an-overview-of-the-analysis-toolbox.htm>.
- ESRI. (2026b). *How Weighted Overlay Works*. ArcGIS Pro Documentation. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.htm>.
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.
- Francisco, H. R., Fabrício Corrêia, A., & Feiden, A. (2019). Classification of Areas Suitable for Fish Farming Using Geotechnology and Multi-Criteria Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(9), 394. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090394>.
- Gemilang, W. A., Wisha, U. J., Rahmawan, G. A., Ondara, K., & Dhiauddin, R. (2024). Land Suitability Modeling for Fishery Resource Enhancement in the Padang Pariaman Regency, West Sumatera, Indonesia: Gis and Multi-Criteria Evaluation Approaches. *Indonesian Aquaculture Journal*, 19(1), 75–85. <https://doi.org/10.15578/iaj.19.1.2024.75-85>.
- Greene, R., Devillers, R., Luther, J. E., & Eddy, B. G. (2011). GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geography Compass*, 5(6), 412–432. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2011.00431.x>.
- H, M., Damis, D., & Putri, A. R. S. (2023). Analisis Kesesuaian Lahan Untuk Budidaya Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Wilayah Daratan Tinggi Desa Leppangeng. *SEMAH Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Perairan*, 7(2), 141–150. <https://doi.org/10.36355/semahjps.v7i2.1242>.
- Harahap, S. R., Sukendi, Siregar, Y. I., Nofrizal, Aramiko, R., & Syafriansyah. (2023). Assessment of Pollution Status and Spatiotemporal Distribution of Physico-Chemical Parameters Using the STORET Index and GIS Methods in Lake Laut Tawar, Aceh, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 16(4), 2231–2251.



- Jayanthi, M., Samynathan, M., Thirumurthy, S., Duraismay, M., Kabiraj, S., Vijayakumar, S., Panigrahi, A., Kumaran, M., & Muralidhar, M. (2022). Is Aquaculture Development Responsible for Mangrove Conversion in India? - A Geospatial Study to Assess the Influence of Natural and Anthropogenic Factors on Mangroves in the Last Three Decades. *Aquaculture*, 561, 738696. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738696>.
- Kelestemur, G. T., Aytac, A., & Tuna, M. C. (2024). Experimental Investigation on Oxygenation Efficiency of an Effective Aeration System for Ponds. *Aquaculture International*, 32(6), 8631–8647. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01583-4>.
- Khouni, I., Louhichi, G., & Ghrabi, A. (2021). Use of GIS Based Inverse Distance Weighted Interpolation to Assess Surface Water Quality: Case of Wadi El Bey, Tunisia. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101892. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101892>.
- Kurniawan, R., Wahyuni, S., Syuhada, N. I., Karsih, O. R., & Riswan, M. (2025). Blue Economy sebagai Kerangka Transformasi Akuakultur Berkelanjutan di Indonesia. *South East Asian Management Concern*, 3(1), 18–25. <https://doi.org/10.61761/seamac.3.1.18-25>.
- Lipps, W. C., Braun-Howland, E. B., & Baxter, T. E. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association.
- McSherry, M., Davis, R. P., Andradi-Brown, D. A., Ahmadia, G. N., Van Kempen, M., & Wingard Brian, S. (2023). Integrated Mangrove Aquaculture: The Sustainable Choice for Mangroves and Aquaculture? *Frontiers in Forests and Global Change*, 6. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1094306>.
- Muenzel, D., Anggoro, A. W., Bulan, D. E., Yadi, Nurfadilah, Pratama, R., Ilman, M., Basir, Nirwan, M., Adriano, V., Bayyan, M. M., Hidayat, T., Trisnawati, A., & Beger, M. (2025). Optimising Site Selection for Ecosystem Approaches to Shrimp Aquaculture in Mangrove Systems. *Aquaculture International*, 33(7), 632. <https://doi.org/10.1007/s10499-025-02338-5>.
- Munyai, L. F., Mthombeni, M., Mpopetsi, P., & Dalu, T. (2025). Integrating GIS-Based Inverse Distance Weighting and Multivariate Statistical Techniques to Assess Surface Water Quality Within a Sub-Tropical River System. *Water, Air, & Soil Pollution*, 237(2), 69. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08641-4>.
- Nguyen, T. (2025). Lime Requirement Methods of Aquaculture Ponds-A Review. *Asian Fisheries Science*, 38(4), 236. <https://doi.org/https://doi.org/10.33997/j.afs.2025.38.4.003>.
- Nurussalam, W., & Supriyono, E. (2023). Studi Kelayakan Lokasi Budidaya serta Pembuatan Masterplan di Kampung Perikanan Desa Patra Tani, Muara Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Akuakultur Sungai Dan Danau*, 8(1), 79–89. <https://doi.org/https://doi.org/10.33087/AKUAKULTUR.V8I1.167>.



- Orou-Seko, A., & Adokiya, M. N. (2026). Multi-Criteria Geographic Information System (GIS) Approach to Aquaculture Site Selection: Balancing Sustainable Aquaculture Development and Fish Biodiversity Conservation in White Volta Basin, Ghana. *Global Ecology and Conservation*, 65, e04003. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2025.e04>.
- Pattinasarany, M. M., Jutan, Y., Matakupan, J., Sahetapy, J. M. F., Palinussa, E. M., Anaktototy, Y., Ririhena, J. E., & Lekirupy, O. R. (2026). *Transformasi Perikanan Budidaya Indonesia: Menuju Akuakultur Modern dan Berkelanjutan*. Kamiya Jaya Aquatic.
- Puspaningsih, D., Tumembouw, S. S., Rahantoknam, S. P. T., Wijianto, Huda, J. M. A., Fitrinawati, H., Lukmini, A., Ali, G. S., Nuban, S. R., & Jasmanindar, Y. (2025). *Manajemen Kualitas Air Budidaya Ikan*. Kamiya Jaya Aquatic.
- Qadafi, M., Wulan, D. R., Notodarmojo, S., & Zevi, Y. (2023). Characteristics and Treatment Methods for Peat Water as Clean Water Sources: A Mini Review. *Water Cycle*, 4, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.02.005>.
- Rachman B, A., Harahap, S. R., Andi, Y., Nurhasan, N., Sf, M. R. F., Syahrantau, G., Selvia, S., Hafiz, A., Azmi, A., & Sugianto, S. (2025). Peningkatan Kompetensi Mahasiswa Melalui Pelatihan Dasar Penggunaan ArcGIS untuk Pemetaan Geospasial. *CANANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(1), 12–22. <https://doi.org/10.52364/canang.v5i1.57>.
- Riza, A. I. (2016). Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Penentuan Kesesuaian Lokasi Perikanan Budidaya Tambak Ramah Lingkungan di Kabupaten Batang. *RISTEK : Jurnal Riset, Inovasi dan Teknologi Kabupaten Batang*, 1(1), 17–31. <https://doi.org/10.55686/ristek.v1i1.3>.
- Rogers, S. R., & Staub, B. (2013). Standard Use of Geographic Information System (GIS) Techniques in Honey Bee Research. *Journal of Apicultural Research*, 52(4), 1–48. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.08>.
- Sawitri, N., & Afiza, Y. (2024). Analisis Sumberdaya Lahan Pertanian Melalui Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Kecamatan Kempas Kabupaten Indragiri Hilir). *Jurnal Perangkat Lunak*, 6(3), 428–435. <https://doi.org/10.32520/jupel.v6i3.3660>.
- Shivakrishna, A., Ramteke, K., Dhanya, M., Charitha, R., Aktar, S., Singh, R., & Abidi, Z. J. (2020). Spatio-Temporal Distribution of Water Quality Parameters in Ramsar Site-Kolleru Lake. *Indian Journal of Animal Research*, 6, 753–760. <https://doi.org/10.18805/ijar.B-3836>.
- Silverthorn, M., Yakubu, S. O., & Falconer, L. (2025). Checklist and Reporting Framework to Support Documentation and Communication of GIS-Based Multi-Criteria Evaluation (MCE) Models for Aquaculture Site Selection. *PLOS Sustainability and Transformation*, 4(1), e0000155. <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000155>.
- SNI. (2008). Air Dan Air Limbah–Bagian 57: Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*, 1–19.



- Supriyono, E., Nurussalam, W., Rirojoyo, G. P. P., Faturachman, I., Rohman, R., Hastuti, S., & Mahmud, M. B. (2025). Kelayakan Kualitas Air dan Tanah Budidaya Segmentasi Pembesaran di Kecamatan Kemang Kabupaten Bogor. *Sains Akuakultur Tropis : Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 9(1), 62–78. <https://doi.org/10.14710/sat.v9i1.26209>.
- Triwulandari, A. H., & Cahyonugroho, O. H. (2023). Analisis Kualitas Air Permukaan Sungai Gandong Bojonegoro. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(6), 1080–1087. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i6.2829>.
- Wicaksono, A., Astuti, A. P., & Widyatmanti, W. (2020). GIS Application for Water Quality Suitability Mapping to Optimize Floating Net Cages Cultivation in Lampung Bay. *Journal of Applied Geospatial Information*, 4(1), 312–319. <https://doi.org/10.30871/jagi.v4i1.1162>.
- Wijanarko, U., Barus, B., & Yulianda, F. (2023). Analisis Penggunaan Lahan Budidaya Ikan di Kawasan Minapolitan Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *TATALOKA*, 25(2), 95–104. <https://doi.org/10.14710/tataloka.25.2.95-104>.
- Yu, M., Feng, Y., Ouyang, B., Wills, P. S., & Tang, Y. (2026). Dissolved Oxygen in Aquaculture Ponds: Causal Factors, Predictive Modeling, and Intelligent Monitoring. *Aquacultural Engineering*, 112, 102634. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2025.102634>.
- Zammi, N. Z., Astriyani, R. N., & Suharianto. (2019). Analisis Kesesuaian Kualitas Air Sungai dengan Baku Mutu Air untuk Budidaya Ikan Air Tawar di Kabupaten Tabalong. *SPECTA Journal of Technology*, 3(3), 36–43. <https://doi.org/10.35718/specta.v3i3.131>.

