



Penentuan Kepadatan Tebar Lele yang Optimal Menggunakan Metode Integral Lipat Tiga

Alvi Sahrin Nasution^{1*}, Bobby Putra Delon Togatorop², Kenjo Oktaviano Damanik³, Lestari Novianti Sinurat⁴, Monica Triyuni Sinaga⁵, Widya Kartini Pangaribuan⁶

¹⁻⁶ Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email : alvisahrin@unimed.ac.id¹ togatoropbobby79@gmail.com², kenjodamanik@gmail.com³, lestarisinurat09@gmail.com⁴, mtriyunisinaga@gmail.com⁵, widyakartini70@gmail.com⁶

Alamat: Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

*Penulis Korespondensi: alvisahrin@unimed.ac.id

Abstract. This study aims to determine the ideal stocking density of catfish using the triple integral method. This mathematical method is applied to accurately calculate the volume of the cultivation pond and analyze the stocking amount and biomass projection at three different density levels, namely 50, 75, and 100 fish/m³. The calculation of the volume of the pond measuring 27 m x 11 m x 1.5 m produces a value of 445.5 m³. Based on the integral calculation, the optimal stocking amount is 22,275 fish, 33,413 fish, and 44,550 fish for each density, with the final biomass projection reaching 300.7 kg, 451.1 kg, and 600.4 kg, respectively. The analysis shows that the density of 100 fish/m³ produces the highest biomass, but its application must consider technical factors such as water quality, oxygen availability, and food competition. This method provides a solid and practical mathematical foundation for more efficient, scalable, and sustainable aquaculture planning.

Keywords: Optimal Stocking Density, Catfish, Triple Integral, Catfish Pond Volume, Biomass.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kepadatan tebar ideal ikan lele dengan menggunakan metode integral lipat tiga. Metode matematis ini diterapkan untuk menghitung dengan tepat volume kolam budidaya serta menganalisa jumlah tebar dan proyeksi biomassa pada tiga tingkat kepadatan yang berbeda, yakni 50, 75, dan 100 ekor/m³. Penghitungan volume kolam yang memiliki ukuran 27 m x 11 m x 1,5 m menghasilkan nilai 445,5 m³. Berdasarkan perhitungan integral, jumlah tebar yang optimal secara berurutan adalah 22.275 ekor, 33.413 ekor, dan 44.550 ekor untuk masing-masing kepadatan, dengan proyeksi biomassa akhir mencapai 300,7 kg, 451,1 kg, dan 600,4 kg. Analisis menunjukkan bahwa kepadatan 100 ekor/m³ menghasilkan biomassa tertinggi, tetapi penerapannya harus mempertimbangkan faktor teknis seperti kualitas air, ketersediaan oksigen, dan persaingan pakan. Metode ini menyediakan fondasi matematis yang solid dan praktis untuk perencanaan budidaya yang lebih efisien, terukur, dan berkelanjutan.

Kata kunci: Kepadatan Tebar Optimal, Ikan Lele, Integral Lipat Tiga, Volume Kolam Lele, Biomassa.

1. LATAR BELAKANG

Sektor budidaya ikan memainkan peranan penting dalam mendukung ketahanan pangan dan ekonomi negara. Menurut data dari BPS (2014), subsektor perikanan berkontribusi sebesar 22,34% terhadap Produk Domestik Bruto pertanian, dengan budidaya air tawar sebagai penyumbang utama (Setiawan & Oktarina, 2017). Salah satu komoditas unggulan dalam budidaya air tawar adalah ikan lele (*Clarias batrachus*), yang telah berkembang pesat secara komersial, termasuk di kalangan usaha kecil dan menengah (UKM). Budidaya lele bahkan telah digunakan sebagai alat untuk memberdayakan masyarakat, seperti terlihat dalam program GEMA MADANI di Kelurahan Purbaratu, Tasikmalaya, yang memanfaatkan pekarangan rumah untuk meningkatkan penghasilan keluarga (Santi et al., 2025). Selain memiliki nilai

ekonomi yang tinggi, ikan lele juga sangat disukai karena dagingnya yang lezat dan kandungan gizi yang baik. Dari segi teknis, ikan lele dapat dibudidayakan di berbagai jenis kolam, seperti terpal, beton, tanah, bioflok, hingga ember (Budikdamber), yang sangat cocok untuk modal terbatas dan lahan yang terbatas (Setiyaningsih et al., 2020).

Namun, dalam praktiknya, budidaya ikan lele menghadapi berbagai tantangan untuk meningkatkan produksi. Salah satu tantangan utama adalah kesalahan dalam menentukan kepadatan tebar, yang secara langsung mempengaruhi pertumbuhan, tingkat kelangsungan hidup, kualitas air, dan waktu panen. Kepadatan tebar yang berlebihan dapat mengurangi laju pertumbuhan ikan karena adanya persaingan untuk pakan dan ruang, sedangkan kepadatan yang terlalu sedikit tidak memaksimalkan penggunaan lahan (Nugroho et al., 2012). Faktor produksi lainnya seperti bibit, pakan, dan tenaga kerja juga mempengaruhi hasil budidaya (Setiawan & Oktarina, 2017).

Pendekatan matematis telah banyak diterapkan untuk memodelkan sistem budidaya dan produksi perikanan, contohnya dengan penggunaan model pertumbuhan logistik dan kontrol optimal untuk kebijakan penangkapan ikan yang berkelanjutan (NURBAYAN et al., 2014). Namun, pendekatan ini umumnya masih terbatas pada satu atau dua variabel, dan belum menggabungkan tiga aspek sekaligus seperti kepadatan ikan, volume media, dan biomassa dalam satu model yang menyeluruh. Pendekatan tradisional yang hanya mengandalkan perhitungan panjang, lebar, dan kedalaman juga dianggap kurang memadai untuk memahami kompleksitas ruang dalam sistem budidaya, padahal perhitungan volume yang tepat sangat penting untuk menentukan kepadatan tebar dan proyeksi biomassa yang optimal. Rangkaian penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh padat tebar benih ikan lele yang berbeda pada media ember terhadap beberapa parameter pertumbuhan dan kelangsungan hidup (Purnianto, 2022).

Secara dasar, integral tiga dimensi berfungsi sebagai alat matematis untuk menghitung akumulasi suatu jumlah dalam ruang tiga dimensi. Konsep ini telah terbukti berguna dalam banyak bidang, dari transportasi hingga ekonomi dan pemodelan lingkungan (ATIKURRAHMAN, 2025). Namun, penerapannya dalam konteks tertentu sering kali terhambat oleh tantangan abstraksi, seperti kesulitan dalam memvisualisasikan geometri ruang dan menetapkan batas integrasi (Meilasari, 2022). Dalam konteks budidaya ikan lele, pendekatan tradisional yang menganggap kolam sebagai bentuk persegi panjang ideal tidak mampu menangkap variasi spasial tiga dimensi yang memengaruhi distribusi ikan dan kualitas air. Kangkung air (*Ipomoea aquatica*) merupakan tanaman sayur yang bernilai ekonomi tinggi. Kangkung merupakan tanaman yang relatif tahan kekeringan dan memiliki daya adaptasi luas

terhadap berbagai keadaan lingkungan, mudah pemeliharaannya, dan memiliki masa panen pendek yaitu 25-30 hari setelah tanam (Putri Trianti, 2022).

Oleh karenanya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menciptakan model matematika yang berbasis pada integral tiga untuk menentukan tingkat kepadatan ideal dalam penebaran ikan lele. Secara rinci, penelitian ini ditujukan untuk menghitung volume kolam budidaya lele dengan tepat menggunakan pendekatan integral tiga, serta menetapkan jumlah penebaran yang optimal pada beberapa variasi kepadatan (50, 75, dan 100 ekor/m³) melalui penerapan metode tersebut. Selain itu, penelitian ini akan menganalisis hubungan antara kepadatan penebaran dan biomassa yang dihasilkan, dan menilai efektivitas metode integral tiga dalam memberikan rekomendasi kepadatan penebaran terbaik untuk budidaya ikan lele. Dengan demikian, pendekatan ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kepadatan penebaran yang tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga efisiensi biaya serta keberlanjutan dalam usaha budidaya lele.

2. KAJIAN TEORITIS

Dasar Konsep Budidaya Ikan Lele

Kualitas benih ikan lele adalah salah satu elemen kunci dalam keberhasilan usaha budidaya ikan lele. Benih berkualitas tinggi dapat membantu mengurangi kemungkinan kerugian dalam usaha. Hasil analisis data menunjukkan bahwa variabel benih memiliki dampak positif yang signifikan terhadap total produksi ikan lele. Ini menunjukkan bahwa pemilihan benih unggul dalam pembudidayaan ikan lele adalah strategi efektif untuk memperbaiki perkembangan usaha, yang dapat terlihat dari peningkatan jumlah ikan lele saat panen (Setiawan & Oktarina, 2017). Dari segi ekonomi, usaha budidaya ikan lele merupakan model usaha yang menjanjikan dan mampu memberikan dampak positif bagi perekonomian masyarakat. Selain itu, pengembangan usaha ini juga memberikan efek positif pada aspek lainnya, seperti peningkatan taraf hidup masyarakat, penciptaan lapangan kerja baru, serta penurunan angka kemiskinan dan ketimpangan antara daerah perkotaan dan pedesaan (Afiza & Pangestuti, 2018). Penebaran benih sebaiknya dilakukan pada pagi atau sore hari ketika suhu udara tidak panas. Sebelum ditebarkan ke dalam kolam, benih harus melalui proses aklimatisasi (penyesuaian suhu dan kondisi fisika-kimia) dengan cara memasukkan air kolam secara bertahap ke dalam wadah benih. Setelah itu, ikan diangkat dan jumlahnya dicatat. Pemantauan pertumbuhan ikan lele dumbo dilakukan setiap delapan hari sekali. Ikan lele dumbo diambil dari kolam menggunakan jaring untuk ditimbang berat totalnya dengan timbangan (Pamungkas et al., 2024). Salah satu permasalahan budidaya intensif adalah air buangan budidaya

yang berdampak pada penurunan kualitas perairan di lingkungan sekitar lokasi budidaya, karena akumulasi dari bahan organik sisa pakan maupun feses. Air buangan budidaya LeleDumbobanyak memiliki kandungan N dan NH₃(amoniak) sebagai hasil perombakan protein dan asam amino dari sisa pakan dan feses (Difinubun et al., 2023).

Tingkat Kepadatan dan Biomassa

Salah satu elemen penting untuk keberhasilan budidaya ikan adalah penentuan kepadatan tebar yang ideal, yang harus diperhatikan selama proses budidaya. Kepadatan tebar yang berlebihan akan menyebabkan penurunan kualitas air akibat akumulasi limbah dan sisa pakan. Selain itu, tingkat kepadatan ini juga bisa memengaruhi pertumbuhan ikan karena akan muncul persaingan dalam mendapatkan makanan dan oksigen (Fanani et al., 2018).

Dalam dunia budidaya perikanan, termasuk ikan lele, biomassa diartikan sebagai total berat ikan yang hidup (bobot basah) dalam suatu media pemeliharaan seperti kolam, akuarium, atau keramba pada waktu tertentu. Pertumbuhan biomassa mutlak adalah selisih berat total pada akhir dan awal periode penelitian, yang digunakan untuk menilai keberhasilan metode budidaya tertentu. Kapasitas tampung adalah untuk menentukan seberapa banyak ikan yang bisa dipelihara dalam lingkungan budidaya agar tidak terjadi kepadatan berlebih yang bisa menyebabkan stres dan penurunan kualitas air. Pengukuran pertumbuhan bobot mutlak dilakukan secara berkala dari awal hingga akhir penelitian dengan menimbang biomassa ikan. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan pada pengukuran pertumbuhan bobot mutlak. Tingkat kelangsungan hidup ditentukan dengan menghitung persentase jumlah ikan yang tetap hidup dibandingkan dengan jumlah ikan yang ditebar selama masa pemeliharaan (Madinawati et al., 2011).

Integral Tiga Dimensi dan Penerapannya

Integral tunggal mencakup domain satu dimensi (garis), sementara integral ganda melibatkan domain dua dimensi (luas), dan integral tiga dimensi memiliki domain volume. Namun, karena sulitnya membayangkan konsep empat dimensi, kita dapat menyederhanakan dengan menganggap integral tiga dimensi yang memiliki domain volume tertentu, dengan fungsi yang diberikan sebagai nilai kerapatan pada titik (x, y, z), menghasilkan nilai massa yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\iiint_D \delta(x, y, z) dV$$

Dimana $\delta(x, y, z)$ adalah kerapatan pada titik (x, y, z) dan karena perubahan volume sama dengan hasil kali perubahan x, y dan z, maka dapat ditulis ulang sebagai berikut:

$$\iiint_D \delta(x, y, z) dz dy dx$$

Dimana urutan dx, dy, dan dz tidak menimbulkan persoalan, seperti halnya urutan dx dan dy yang juga tidak menjadi kendala dalam integral ganda. Apabila kerapatan objek tersebut adalah 1, kita bisa beranggapan bahwa massa objek itu setara dengan volumenya, karena kerapatan adalah hasil bagi massa dengan volume. Maka, jika kerapatan = 1, kita bisa menerapkan integral tiga kali untuk menentukan volume, yang juga dapat diartikan sebagai massa. Oleh karena itu, volume kolam bisa dihitung dengan:

$$V = \iiint_V 1 dV$$

Atau kedalam bentuk integrasi berlapis:

$$\int_a^b \int_c^d \int_e^f 1 dz dy dx$$

Jika dalam bentuk fungsi kepadatan kita dapat mengubah rumus volume kolam menjadi:

$$N = \iiint_V \rho dV = \rho \cdot V$$

Dengan ρ = kepadatan tebar ($50,75,100$ ekor/ m^3) (Lukman & Dedy, 2023).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi matematis dan analisis kuantitatif dengan pendekatan integral lipat tiga untuk memodelkan volume kolam dan menentukan kepadatan tebar optimal ikan lele. Desain penelitian bersifat eksploratif-modeling, di mana model matematis dikembangkan berdasarkan data empiris, kemudian dianalisis untuk menghasilkan rekomendasi teknis.

Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan bersifat sekunder, diperoleh dari studi literatur dan penelitian terdahulu yang relevan, khususnya dari (Hermawan et al., 2012).

Prosedur Pemodelan Matematis

Model dibangun dalam dua tahap utama:

Perhitungan Volume Kolam

Volume kolam dimodelkan sebagai fungsi ruang tiga dimensi dengan batas integrasi sesuai dimensi fisik kolam. Formula yang digunakan adalah:

$$V = \int_0^{27} \int_0^{11} \int_0^{1,5} dz dy dx$$

Perhitungan dilakukan secara bertahap (iteratif) untuk memastikan akurasi.

Penentuan Jumlah Tebar dan Proyeksi Biomassa

Fungsi kepadatan tebar ρ diintegralkan dalam volume yang sama:

$$N = \iiint_v \rho dV$$

dengan $\rho = 50,75,100$ ekor/ m^3 . Biomassa dihitung dengan:

$$\text{Biomassa} = N \times \text{bobot rata - rata ikan}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian yang digunakan dalam simulasi matematis ini meliputi spesifikasi kolam, ikan, dan kepadatan tebar ikan lele, seperti yang tercantum pada Tabel 1 sampai Tabel 5. Data yang digunakan pada penelitian ini diambil dari penelitian (Hermawan et al., 2012).

Tabel 1 Data Spesifikasi Kolam Budidaya

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Panjang	27	m
2	Lebar	11	m
3	Kedalaman	1,5	m
4	Bentuk Kolam	Persegi Panjang	-

Sumber : Penelitian Hermawan Dkk

<https://jurnal.unpad.ac.id/jpk/article/view/1413>

Tabel 2 Luas Spesifikasi Ikan Lele

No	Parameter	Nilai
1	Bobot Awal	12-15 gram
2	Bobot Rata-rata	13,5 gram

Sumber : Penelitian Hermawaan Dkk

<https://jurnal.unpad.ac.id/jpk/article/view/1413>

Tabel 3 Data Kepdatan Tebar Ikan Lele

No	Kepdatan (ekor/m^3)
1	50
2	75
3	100

Sumber : Penelitian Hermawaan Dkk

<https://jurnal.unpad.ac.id/jpk/article/view/1413>

Tabel 4 Batas Integrasi untuk Perhitungan Volume

Variable	Batas bawah	Batas atas	Satuan
x	0	27	m
y	0	11	m
z	0	1,5	m

Tabel 5 Fungsi Kepadatan untuk Setiap Kepdatan Tebar Ikan

No	Fungsi Kepadatan $\rho(x, y, z)$	Kepadatan (ekor/m ³)
1	$\rho_1(x, y, z)$	50
2	$\rho_2(x, y, z)$	75
3	$\rho_3(x, y, z)$	100

Sebelum melaksanakan perhitungan secara rinci, sangat penting untuk mengenali kerangka konseptual yang menjadi dasar analisis ini. Metode integral tiga kali dipilih karena dapat menghitung volume dalam ruang tiga dimensi dengan tepat. Pendekatan ini memperlakukan kolam sebagai ruang tiga dimensi yang dapat dibagi menjadi elemen-elemen volume kecil, yang kemudian diintegrasikan untuk memperoleh volume total. Untuk mempermudah pemahaman mengenai proses perhitungan yang dilakukan, berikut ini disajikan analisis menyeluruh yang dimulai dari perhitungan volume dasar hingga analisis kepadatan penebaran.

Perhitungan Volume Kolam dengan Integral Lipat Tiga.

Langkah awal dalam analisis ini adalah mengestimasi volume kolam dengan memanfaatkan integral tiga dimensi. Volume kolam tersebut ditentukan sebagai integral dari elemen volume $dV = dz dy dx$ di seluruh area kolam. Perhitungan dilakukan secara bertahap untuk menjamin akurasi hasil.

Volume kolam dihitung menggunakan integral:

$$V = \int_0^{27} \int_0^{11} \int_0^{1,5} dz dy dx$$

Langkah 1. Integralkan terhadap variabel z

$$\int_0^{1,5} dz = [z]_0^{1,5} = 1,5 - (0) = 1,5$$

Langkah 2. Integralkan terhadap variabel y

$$\int_0^{11} 1,5 dy = [1,5y]_0^{11} = [1,5(11) - 1,5(0)] = 16,5 - 0 = 16,5$$

Langkah 3. Integralkan terhadap variabel x

$$\int_0^{27} 16,5 \, dx = [16,5x]_0^{27} = [16,5(27) - 16,5(0)] = 445,5 - 0 = 445,5$$

Jadi, volume kolam lele yang berukuran $27 \times 11 \times 1,5\text{m}$ adalah $445,5 \text{ m}^3$.

Analisis Jumlah Tebar Ikan dengan Integral Lipat Tiga.

Setelah mengetahui volume kolam ikan lele, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi jumlah ikan yang akan ditebar untuk setiap tingkat kepadatan. Metode integral tiga dimensi memungkinkan perhitungan yang tepat dengan menggabungkan fungsi kepadatan di seluruh ukuran kolam.

Kepadatan 50 ekor/m^3

Dalam hal kepadatan rendah 50 ikan per meter kubik, perhitungan jumlah ikan dilakukan dengan cara menggabungkan fungsi kepadatan yang tetap dalam volume kolam.

$$N_1 = \int_0^{27} \int_0^{11} \int_0^{1,5} 50 \, dz \, dy \, dx$$

Langkah 1. Integralkan terhadap variabel z

$$\int_0^{1,5} 50dz = [50z]_0^{1,5} = 50(1,5) - 50(0) = 75 - 0 = 75$$

Langkah 2. Integralkan terhadap variabel y

$$\int_0^{11} 75 \, dy = [75y]_0^{11} = [75(11) - 75(0)] = 825 - 0 = 825$$

Langkah 3. Integralkan terhadap variabel x

$$\int_0^{27} 825 \, dx = [825x]_0^{27} = [825(27) - 825(0)] = 22.275 - 0 = \mathbf{22.275 \text{ ekor}}$$

Kepadatan 75 ekor/m^3

Dalam hal kepadatan rendah 75 ikan per meter kubik, perhitungan jumlah ikan dilakukan dengan cara menggabungkan fungsi kepadatan yang tetap dalam volume kolam.

$$N_2 = \int_0^{27} \int_0^{11} \int_0^{1,5} 75 \, dz \, dy \, dx$$

Langkah 1. Integralkan terhadap variabel z

$$\int_0^{1,5} 75 \, dz = [75z]_0^{1,5} = 75(1,5) - 75(0) = 112,5$$

Langkah 2. Integralkan terhadap variabel y

$$\int_0^{11} 112,5 \, dy = [112,5y]_0^{11} = [112,5(11) - 112,5(0)] = 1.237,5 - 0 = 1.237,5$$

Langkah 3. Integralkan terhadap variabel x

$$\int_0^{27} 1.237,5 \, dx = [1.237,5x]_0^{27} = [1.237,5(27) - 1.237,5(0)] = 33.412,5 - 0 \\ = 33.412,5 = \mathbf{33.413 \, ekor}$$

Kepadatan 100 ekor/m³

Dalam hal kepadatan rendah 100 ikan per meter kubik, perhitungan jumlah ikan dilakukan dengan cara menggabungkan fungsi kepadatan yang tetap dalam volume kolam.

$$N_3 = \int_0^{27} \int_0^{11} \int_0^{1,5} 100 \, dz \, dy \, dx$$

Langkah 1. Integralkan terhadap variabel z

$$\int_0^{1,5} 100 \, dz = [100z]_0^{1,5} = 100(1,5) - 100(0) = 150 - 0 = 150$$

Langkah 2. Integralkan terhadap variabel y

$$\int_0^{11} 150 \, dy = [150y]_0^{11} = [150(11) - 150(0)] = 1.650 - 0 = 1.650$$

Langkah 3. Integralkan terhadap variabel x

$$\int_0^{27} 1.650 \, dx = [1.650x]_0^{27} = [1.650(27) - 1.650(0)] = 44.550 - 0 = \mathbf{44.550 \, ekor}$$

Analisis Biomassa.

Setelah menentukan jumlah tebar untuk masing-masing kepadatan, tahap selanjutnya ialah menganalisa biomassa yang dihasilkan. Biomassa dihitung berdasarkan berat rata-rata ikan sebesar 13,5 gram, yang merupakan nilai tengah dari kisaran bobot 12-15 gram. Analisis ini krusial untuk memahami potensi hasil dari setiap kepadatan.

Perhitungan biomassa menggunakan bobot rata-rata ikan 13,5 gram:

a. **Kepadatan 50 ekor/m³**

$$\text{a. Biomassa} = 22.275 \times 13,5 = 300.712,5 \text{ gram} = 300,7125 \text{ kg}$$

b. **Kepadatan 75 ekor/m³**

$$\text{a. Biomassa} = 33.413 \times 13,5 = 451.075,5 \text{ gram} = 451,0755 \text{ kg}$$

c. **Kepadatan 100 ekor/m³**

$$\text{a. Biomassa} = 44.550 \times 13,5 = 600.425 \text{ gram} = 600,425 \text{ kg}$$

Penelitian oleh Hermawan dan tim menunjukkan bahwa jumlah tebar 50 ekor memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan jumlah tebar 75 dan 100 ekor. Sementara itu, padat tebar 100 ekor tidak menunjukkan perbedaan yang jelas dengan padat tebar 75 ekor. Hal ini terjadi karena pada kepadatan tersebut, ikan lele dapat beradaptasi dengan baik terhadap pakan

dan ruang yang tersedia. Jumlah tebar sebanyak 100 ekor menghasilkan produksi yang tinggi, karena semakin banyak jumlah tebar, semakin besar pula hasil produksinya. Ukuran ikan dalam kepadatan ini tidak seragam jika dibandingkan dengan kepadatan yang lebih rendah. Ini disebabkan oleh meningkatnya kompetisi untuk ruang dan pakan seiring dengan bertambahnya kepadatan tebar. Jumlah tebar 50 ekor mencatat pertumbuhan biomassa terendah dan menunjukkan perbedaan signifikan dengan kepadatan lainnya. Hal ini diperkirakan akibat dari rendahnya kepadatan tebar yang menghasilkan produksi yang kurang, meskipun dapat menghasilkan bobot individu yang lebih besar dibandingkan kepadatan yang tinggi. Faktor limbah di antara kepadatan 50, 75, dan 100 ekor cenderung mempengaruhi pertumbuhan ikan lele. Penurunan kualitas air, khususnya kadar oksigen dan amonia, sejalan dengan meningkatnya kepadatan, yang juga diikuti oleh semakin baiknya tingkat pertumbuhan.

Keunggulan dari metode integral lipat tiga dalam penelitian ini terletak pada kemampuannya untuk menghitung volume kolam dengan akurat untuk kolam yang teratur, serta memberikan dasar matematis yang kuat untuk pengembangan model-model yang lebih rumit. Metode ini juga fleksibel, sehingga dapat diterapkan pada berbagai bentuk kolam yang tidak teratur dengan menyesuaikan batas integrasi sesuai geometry kolam. Dari sisi praktis, penelitian ini memiliki kontribusi penting bagi kemajuan industri budidaya lele. Metode integral lipat tiga memungkinkan peternak untuk menghitung volume kolam secara akurat, sehingga dapat menentukan jumlah tebar yang optimal dan mengurangi potensi kesalahan dalam perencanaan produksi. Hasil penelitian ini juga bisa digunakan sebagai panduan dalam menyusun prosedur operasional standar budidaya lele yang lebih ilmiah, membantu industri menetapkan standar kepadatan tebar yang berdasarkan volume kolam, serta meningkatkan konsistensi hasil produksi di kalangan peternak.

Dalam konteks pengembangan teknologi, temuan dari penelitian ini dapat mendorong inovasi dalam desain kolam yang lebih efisien dan pengembangan sistem monitoring densitas ikan. Penggabungan pendekatan matematis dengan sistem manajemen kualitas air modern dapat menciptakan sistem budidaya yang lebih terukur dan terkontrol. Penerapan metode ini berpotensi meningkatkan daya saing industri lele di tingkat nasional melalui peningkatan produktivitas dan efisiensi, pengurangan biaya produksi, dan peningkatan kualitas produk yang konsisten. Walaupun kepadatan 100 ekor/m³ menunjukkan biomassa tertinggi, penerapannya dalam budidaya nyata harus mempertimbangkan berbagai faktor teknis dan lingkungan dengan hati-hati. Aspek-aspek penting seperti ketersediaan oksigen terlarut, akumulasi zat metabolit (seperti amonia dan nitrit), tingkat persaingan untuk pakan, dan kesejahteraan ikan harus

menjadi fokus utama. Selain itu, kemampuan teknis dan modal peternak juga perlu disesuaikan dengan tingkat kepadatan yang dipilih (Hermawan et al., 2012).

Dampak ekonomi dari penerapan hasil penelitian ini di sektor industri sangat signifikan. Peningkatan kepadatan tebar dapat meningkatkan pendapatan para peternak melalui peningkatan produktivitas, serta mengurangi kerugian yang muncul akibat kesalahan dalam menentukan kepadatan tebar. Peningkatan efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya juga akan mendukung perkembangan usaha budidaya yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Temuan dari penelitian ini dapat menjadi acuan penting bagi pemerintah dalam merancang kebijakan pengembangan budidaya lele. Penyusunan panduan teknis untuk budidaya yang berbasis ilmiah dan program pengembangan kapasitas peternak dapat mengintegrasikan hasil ini untuk menciptakan sistem budidaya yang lebih terstandarisasi dan berorientasi pada efisiensi.

Dengan demikian, penerapan pendekatan matematis dalam praktik budidaya lele tidak hanya meningkatkan akurasi perhitungan, tetapi juga membuka kesempatan untuk transformasi industri ke arah sistem produksi yang lebih efisien, terukur, dan berkelanjutan. Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan yang berbasis ilmu pengetahuan dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap optimalisasi praktik budidaya yang selama ini lebih banyak didasarkan pada pengalaman praktis.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa metode integral lipat tiga merupakan alat yang berfungsi secara efektif dan tepat untuk menghitung kepadatan tebar terbaik bagi ikan lele. Dari perhitungan yang dilakukan, volume kolam standar dengan dimensi 27 m x 11 m x 1,5 m mencapai 445,5 m³, yang menghasilkan rekomendasi jumlah tebar sebesar 22. 275, 33. 413, dan 44. 550 ekor untuk kepadatan masing-masing 50, 75, dan 100 ekor/m³. Analisis mengenai proyeksi biomassa mengindikasikan bahwa kepadatan tertinggi (100 ekor/m³) dapat menghasilkan bobot panen maksimal sekitar 600,4 kg. Namun, peningkatan kepadatan tersebut perlu diimbangi dengan pengelolaan kualitas air dan pakan yang ketat, mengingat adanya kemungkinan meningkatnya kompetisi antarikan dan penumpukan limbah. Oleh karena itu, pendekatan matematis ini tidak hanya meningkatkan ketepatan dalam perencanaan budidaya, tetapi juga menyediakan kerangka ilmiah untuk mengoptimalkan hasil sekaligus memperhatikan aspek keberlanjutan.

Merujuk pada hasil penelitian, disarankan agar petani lele mulai menggunakan perhitungan volume kolam yang lebih tepat melalui pendekatan matematis sederhana sebelum

menetapkan jumlah tebar, untuk memaksimalkan pemanfaatan lahan dan sumber daya. Dalam penerapan kepadatan tinggi (100 ekor/m³), sangat penting untuk dilengkapi dengan sistem aerasi yang baik, pemantauan kualitas air secara teratur, serta manajemen pakan yang efisien agar dampak negatif terhadap lingkungan dan pertumbuhan ikan dapat diminimalisir. Untuk pengembangan ke depan, perlu dilaksanakan penelitian lanjutan dengan mengintegrasikan model integral ini ke dalam sistem pemodelan yang lebih adaptif, yang mencakup variabel waktu, laju pertumbuhan ikan, serta perubahan parameter kualitas air. Selain itu, pemerintah dan lembaga penyuluhan perikanan disarankan untuk membuat panduan teknis atau modul pelatihan berdasarkan hasil temuan ini, sehingga dapat membantu standar praktik budidaya yang lebih efisien dan ilmiah di kalangan petani, yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas dan daya saing usaha budidaya lele di tingkat nasional dengan berkelanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Afiza, Y., & Pangestuti, S. P. (2018). Analisis Dan Strategi Pengembangan Usaha Budidaya Lele Dumbo Di Kelurahan Tembilahan Hulu Kecamatan Tembilahan Kabupaten Indragiri Hilir. *Jurnal Agribisnis*, 7(1), 58–73. <https://doi.org/10.32520/agribisnis.v7i1.164>
- ATIKURRAHMAN, M. (2025). Analisis Konseptual Dan Aplikatif Konteks Integral Dalam Kehidupan Sehari-Hari. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 5(2), 56–62. <https://doi.org/10.46368/kjpm.v5i2.4088>
- Difinubun, M. I., Rahman, A. A., & Tumembouw, S. S. (2023). Pengaruh Padat Tebar yang Berbeda Terhadap Tingkat Kelangsungan Hidup dan Laju Pertumbuhan Ikan Lele (Clarias gariepinus). *Jurnal Budidaya Perairan*, 11(2), 161–174. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/bdp/article/view/47607/43942>
- Fanani, A. N., Rahardja, B. S., & Prayogo. (2018). Efek Padat Tebar Ikan Lele Dumbo (Clarias Sp.) yang Berbeda terhadap Kandungan Amonia (NH₃) dan Nitrit (NO₂) dengan Sistem Bioflokk. *Journal of Aquaculture Science*, 3(2), 182–190.
- Hermawan, T. A., Iskandar, & Subhan, U. (2012). Pengaruh Padat Tebar terhadap Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan Lele Dumbo (Clarias gariepinus Burch.) di Kolam Kali Menir Indramayu. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 3, 85–93.
- Lukman, & Dedy, E. (2023). *Kalkulus Vektor* (Edisi Pert). PT Bumi Aksara.
- Madinawati, Serdiati, N., & Yoel. (2011). Pemberian Pakan yang Berbeda terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Benih Ikan Lele Dumbo (Clarias gariepinus). *Jurnal Media Litbang Sulteng*, 4(2), 83–87.
- Meilasari, V. (2022). Penerapan E-Modul Berbantuan Geogebra Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Kalkulus Integral Lipat. *Jurnal Eksponen*, 12(2), 80–90. <https://doi.org/10.47637/eksponen.v12i2.634>
- Nugroho, A. R., Pambudi, T. L., Chilmawati, D., & Haditomo, A. H. C. (2012). Aplikasi

Teknologi Aquaponic Pada Budidaya Ikan Air Tawar Untuk Optimalisasi Kapasitas Produksi. *Jurnal Saintek Perikanan*, 8(1), 46–51. <https://doi.org/10.14710/ijfst.8.1.46-51>

NURBAYAN, R., BAKHTIAR, T., & KUSNANTO, A. (2014). Aplikasi Kontrol Optimum Pada Model Pemanenan Ikan Di Zona Noncadangan Dengan Mempertimbangkan Zona Cadangan. *Journal of Mathematics and Its Applications*, 13(2), 35–48. <https://doi.org/10.29244/jmap.13.2.35-48>

Pamungkas, Y. T., Febriyanti, T. L., & Utami, E. S. (2024). Pengaruh Padat Tebar Yang Berbeda Terhadap Laju Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Benih Ikan Lele Dumbo (Clarias Gariepinus) Budidaya Ikan Dalam Ember Budikdamber Universitas Nahdlatul Ulama Lampung , Indonesia Kegiatan budidaya dapat menyumbang. *Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan*, 2(2), 48–60. <https://journal.asrihindo.or.id/index.php/Zoologi>

Purnianto, E. (2022). PENGARUH PADAT TEBAR TERHADAP KELANGSUNGAN HIDUP DAN PERTUMBUHAN BENIH IKAN BAUNG (Hemibagrus nemurus) YANG DI BERI PAKAN PASTA KEONG MAS (Pomacea canaliculata). *Skripsi Universitas Islam Riau*, 1–77.

Putri Trianti, D. (2022). Budidaya Ikan Lele Dumbo (Clarias Gariepinus) Dan Tanaman Kangkung Air (Ipomoea Aquatica) Dengan Menggunakan Sistem Akuaponik Di Dalam Ember. *Skripsi UIN SUNAN AMPEL SURABAYA*, 2–64.

Santi, M., Daniel, A., Hamdan, A., & Karwati, L. (2025). Pemberdayaan Masyarakat Melalui Budidaya Ikan Lele. *Jurnal Cendekiawan Ilmiah PLS*, 4(1), 1–7.

Setiawan, A. E., & Oktarina, Y. (2017). Analisis Faktor-Faktor Produksi Budidaya Ikan Lele (Clarias Batrachus) di Kecamatan Buay Madang Timur Kabupaten OKU Timur. *Jurnal Agribisnis Dan Sosial Ekonomi Pertanian*, 3(2), 16–23.

Setyaningsih, D., Bahar, H., Iswan, & Mas'udi Azis Aulia, R. (2020). Penerapan Sistem Budikdamber Dan Akuaponik Sebagai Strategi Dalam Memperkuat Ketahanan Pangan Di Tengah Pandemi COVID-19. *Jurnal Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ*, 1–10.