



Jurnal Teknologi Maritim Volume 8 No 2 Tahun 2025
9 September 2025 / 23 Oktober 2025 / 24 Oktober 2025

Jurnal Teknologi Maritim

<http://jtm.ppns.ac.id>

Pengembangan Sistem Drainase Hemat Energi dan Air Berbasis Multi-Hole Suction Pipe (MHSP) untuk Aplikasi Akuakultur

George Endri Kusuma¹, Adi Wirawan Husodo¹, Mohammad Miftachul Munir¹, Heroe Poernomo¹, Mardi Santoso¹, Burniadi Moballa¹, Adhe Rizky Ramadhani¹, Vernando Yongki Prasetio¹, Asrori Asrori²

¹Spoliteknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS Surabaya Jawa Timur, 60111, Indonesia

²Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta Malang Jawa Timur, 65141, Indonesia

Abstrak. Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur, memiliki potensi besar dalam budidaya akuakultur khususnya ikan gurami (*Osphronemus goramy*), namun produktivitas sering terkendala oleh akumulasi sedimentasi kotoran di dasar kolam yang menghasilkan amonia (NH_3) yang bersifat toksik. Sistem drainase konvensional dinilai kurang efisien dalam mengeliminasi limbah padat, serta menyebabkan tingginya konsumsi energi dan air. Penelitian ini bertujuan merancang dan memodelkan sistem drainase berbasis Multi-Hole Suction Pipe (MHSP) untuk meningkatkan efisiensi teknis pengelolaan limbah budidaya. Sistem MHSP menggunakan material pipa PVC berdiameter 1,5 inci dengan 16 titik hisap yang tersebar merata di dasar kolam berukuran $11 \times 13 \times 1,7$ m. Pendekatan teoritis menggunakan persamaan Durand dan Zandi-Govatos digunakan untuk menentukan kecepatan minimum fluida ($0,038$ m/s) guna mencegah sedimentasi kotoran ikan berukuran ± 1 mm dengan densitas $1050\text{--}1100$ kg/m³. Pemodelan aliran menggunakan perangkat lunak simulasi menunjukkan kecepatan aktual rata-rata sebesar $0,108$ m/s, melampaui nilai ambang minimal yang dibutuhkan untuk mencegah sedimentasi. Hasil analisis implementasi menunjukkan efisiensi energi sebesar 50% yaitu $1,6$ kWh menjadi hanya $0,8$ kWh per hari per kolam melalui pengurangan waktu operasional pompa dari 4 menjadi 2 jam per hari. Efisiensi air tercapai dengan penghematan $20\text{--}24$ m³/hari tanpa perlu pengurasan total. Sistem ini juga menjaga kualitas air kolam yang akan mengurangi frekuensi kematian ikan akibat amonia. Sistem drainase MHSP menjadi solusi rekayasa terapan yang unggul dalam efisiensi energi, konservasi air, dan pengelolaan limbah budidaya secara berkelanjutan.

Katakunci: Efisiensi, Energi, Gurami, Kontaminasi Ammonia

Abstract. Tulungagung Regency, East Java province, possesses significant potential in the aquaculture of gourami (*Osphronemus goramy*). However, productivity is often constrained by the accumulation of organic sediment at the pond bottom, which generates toxic ammonia (NH_3). Conventional drainage systems have proven to be inefficient in removing solid waste and are associated with high energy and water consumption. This study aims to design and model a drainage system based on the Multi-Hole Suction Pipe (MHSP) concept to enhance the technical efficiency of aquaculture waste management. The MHSP system utilizes 1,5-inch diameter polyvinyl chloride

Email Korespondensi: kusuma.george@ppns.ac.id
doi: 10.35991/jtm.v8i2.86

(PVC) pipes equipped with 16 evenly distributed suction points across the bottom of a pond measuring $11 \times 13 \times 1,7$ meters. A theoretical approach using the Durand and Zandi–Govatos equations was applied to determine the minimum fluid velocity (0.038 m/s) required to prevent sedimentation of fish waste, which has a particle size of approximately 1 mm and a density of 1050–1100 kg/m³. Simulation showed that the actual average velocity achieved by the system was 0,108 m/s—exceeding the critical threshold to prevent settling. Analysis of the implementation shows that reducing the pump operation time from 4 to 2 hours per day enhanced energy efficiency by 50%, reducing consumption from 1,6 kWh/day/pond to 0,8 kWh/day/pond. Water efficiency was also achieved, saving 20–24 m³/day without the need for complete pond drainage. The system effectively maintains water quality and will reduces fish mortality caused by ammonia buildup. In conclusion, the MHSP drainage system presents at applied engineering solution that promotes energy efficiency, water conservation, and sustainable waste management in freshwater aquaculture

Keywords: ammonia contamination, energy efficiency, Osphronemus goramy

1. Pendahuluan

Kabupaten Tulungagung, khususnya Kecamatan Ngunut, memiliki potensi besar dalam sektor perikanan, terutama untuk budidaya ikan gurami (*Osphronemus Goramy*). Ikan gurami di kabupaten Tulungagung menjadi salah satu komoditas unggulan dengan pangsa pasar yang luas, meliputi daerah seperti Jakarta, Surabaya, dan Bali. Berdasarkan data Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Tulungagung, produksi ikan gurami pada tahun 2023 mencapai 181.960 kg, dengan nilai produksi lebih dari Rp 416 juta. Data peningkatan untuk produk perikanan air tawar dapat dibaca di Tabel 1 di bawah :

Tabel 1 Produktivitas Perikanan Air Tawar di Kabupaten Tulungagung (*Badan Pusat Statistik Kabupaten Tulungagung, n.d.*)

Tahun	Kapasitas (Ton)	Jenis Ikan	Keterangan
2021	14.750	Ikan Konsumsi (Lele, Gurami)	Data mencakup hasil budidaya kolam air tawar di beberapa kecamatan utama.
2022	15.280	Ikan Konsumsi (lele, Gurami) & Ikan Hias	Ada peningkatan hasil, khususnya pada ikan konsumsi seperti gurami dan lele.
2023	15.700	Ikan Konsumsi (lele, Gurami) & Ikan Hias	Produksi stabil dengan dukungan program pemerintah daerah untuk kelompok budidaya.

Jumlah pembudidaya ikan konsumsi, termasuk gurami, di kabupaten ini tercatat sebanyak 10.370 Rumah Tangga Perikanan (RTP), yang tersebar di berbagai kecamatan dengan dominasi di Ngunut. Gambar 1 di bawah menunjukkan kolam pembesaran ikan gurami konsumsi dari salah satu petani pembudidaya ikan di desa Sumberjo Wetan kecamatan Ngunut Kabupaten Tulungagung dengan menggunakan sistem drainase konvensional yaitu sistem *overflow & underflow drainage* yang cenderung boros untuk kebutuhan air dan energi listrik pada operasional pompa air suplai. Kondisi eksisting sistem drainase kolam pada gambar 1 akan membutuhkan 4 jam pengoperasian 1 unit pompa dengan spesifikasi *volume-rate* 130 liter/min, *suction head* 9 meter dan *discharge head* 20 meter dan berdaya 400 Watt untuk menjaga kualitas air 1 unit kolam pembesaran sehingga akan

mengonsumsi 31,2 m³/hari-nya. Operasional eksisting per harinya pompa drainase akan membutuhkan biaya operasional listrik mencapai 1,6 kW/hari-nya. Sistem drainase konvensional yang membutuhkan biaya operasional listrik dan kuantitas volume air yang tinggi ternyata tidak mampu membersihkan sedimentasi dari kotoran sisa kotoran ikan dengan optimal. Sedimentasi akibat kotoran ikan pada dasar kolam ikan akan menyebabkan proses reaksi pembusukan yang menghasilkan amonia NH₃.



Gambar 1 Kolam Pembesaran Ikan Gurami dengan (a) sistem suplai air (b) *Overflow pipe* (c) *Underflow pipe Drainage*

Tantangan utama dalam budidaya gurami dari beberapa penelitian adalah menekan angka kematian ikan akibat perubahan kualitas air efek kontaminasi dari akumulasi amoniak (NH₃) dari kotoran ikan di dasar kolam (Usman et al., 2022). Tantangan lain adalah efisiensi biaya produksi pada budidaya ini juga menghadapi tekanan dari tingginya konsumsi listrik untuk sistem pemompaan air dan proyeksi kenaikan tarif dasar listrik yg ditetapkan pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (Badan Pusat Statistik Kabupaten Tulungagung, n.d.). Oleh karena itu, inovasi seperti PVC *Multi- Hole Suction Pipe* (MHSP) *System of pumping* dengan kontrol otomatis untuk mengoptimalkan proses pembersihan kotoran dengan berbasis waktu pemompaan yang lebih singkat akan berpotensi menjadi solusi yang tidak hanya menjaga kualitas air kolam ikan tetapi juga menekan konsumsi biaya energi listrik untuk operasionalnya.

2. Tinjauan Pustaka

Produktivitas perikanan air tawar di Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur mengalami banyak kendala terutama mayoritas pada penurunan kualitas air yang akan menyebabkan timbulnya kematian ikan dan penyakit. Tabel 2 di bawah menunjukkan kegagalan panen mengacu pada kompilasi data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Tulungagung dan juga media masa lokal selama 3 tahun terakhir (Badan Pusat Statistik Kabupaten Tulungagung, n.d.).

Tabel 2 Penyebab Kegagalan Peningkatan Produktivitas Ikan Air Tawar

Tahun	Penyebab Utama	Dampak	Jumlah Kasus (Estimasi)
2021	Tingginya kadar amonia akibat limbah	Penurunan kualitas air dan mortalitas ikan	± 20% produksi gagal
2022	Perubahan suhu ekstrim dan banjir	Stres ikan dan kerugian lahan	± 25% penurunan hasil
2023	Penyakit ikan (<i>Aeromonas</i> , jamur)	Kematian massal ikan budidaya	± 15% produksi gagal

Tabel 2 diatas memaparkan kendala dan tantangan serius selama rentang 3 tahun terakhir yang dihadapi petani ikan gurami Kabupaten Tulungagung dalam budidaya. Tingginya tingkat kematian ikan yang disebabkan oleh akumulasi amonia (NH_3) dari sedimentasi kotoran ikan di dasar kolam menjadi salah satu faktor yang dominan. Pada tahun 2021 Amonia menjadi penyebab utama kegagalan peningkatan produktivitas ikan air tawar. Amonia merupakan senyawa toksik yang berasal dari limbah metabolisme ikan dan sisa pakan. Dalam konsentrasi lebih dari 1,5 mg/L, amonia dapat menyebabkan gangguan metabolisme ikan, mengurangi pertumbuhan, dan menurunkan konversi pakan, sehingga berdampak pada hasil panen yang buruk dan kematian massal ikan. Masalah ini diperburuk oleh pengelolaan limbah kolam yang kurang optimal. Sebagian besar petani masih bergantung pada metode manual untuk membersihkan kotoran, yang membutuhkan waktu, tenaga, dan biaya yang tinggi. Proses pembersihan kolam secara manual yang dilakukan secara berkala juga dinilai tidak efisien karena :

1. **Tingginya konsumsi air:** Menguras 1/3 dari volume kolam membutuhkan volume air suplai yang besar, sehingga berpotensi menyebabkan eksploitasi air tanah secara massif.
2. **Gangguan ekosistem:** Pengurasan menghilangkan mikroorganisme penting yang berperan dalam menjaga keseimbangan biologis kolam sendiri.
3. **Pencemaran lingkungan:** Air limbah yang dikeluarkan dari kolam konsumsi secara langsung tanpa proses *treatment* akan mencemari lingkungan sekitar.

Di sisi lain, efisiensi produksi menjadi perhatian utama. Sistem manual tidak hanya membutuhkan banyak waktu tetapi juga meningkatkan biaya operasional, terutama untuk kebutuhan energi listrik pada sistem pemompaan air. Sebagai solusi, diperlukan inovasi yang diharapkan mampu :

1. Mengendalikan kadar amonia secara efektif sebelum amonia terbentuk pada saat proses durasi sedimentasi lebih panjang.
2. Mengurangi biaya operasional dan konsumsi energi.
3. Meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dengan membuang kotoran ke lingkungan berbasis tanah untuk membantu proses fertilisasi tanah.

Sehingga dibutuhkan teknik rekayasa dari sistem drainase yang bisa menjadi solusi bagi permasalahan tersebut.

3. Metode

Salah satu pendekatan inovatif untuk mengatasi masalah budidaya ikan gurami adalah penerapan sistem perpipaan berbasis material PVC dengan inovasi *Multi-Hole Suction Pipe* (MHSP) yang terintegrasi dengan pompa dan dikontrol menggunakan *timer* otomatis. Sistem ini dirancang lebih secara efektif menyedot kotoran ikan langsung dari dasar kolam, sehingga dapat mencegah akumulasi amonia (NH_3) tanpa perlu melakukan pengurasan air secara keseluruhan. Studi literatur menunjukkan akumulasi komposisi kotoran ikan *Osphronemus Goramy* dari nutrisi pakan yang signifikan mengandung unsur N dan P menjadi sedimentasi organik dengan densitas padat rata-rata 1,0 – 1,3 g/cm³ (dalam kondisi kering) dan konsentrasi kotoran cair saat kolam air sebelum pengendapan diperkirakan mencapai 5–6 kg/m³(Syandri et al., 2021)(Dr'ozdz et al., 2020)(Rahman & Yakupitiyage, 2002).

Kecepatan teoritis fluida di suction pipa untuk mencegah sedimentasi kotoran ikan dapat didekati dengan persamaan aliran.(Journal, 2014)(Durand, 1953)

$$V_s = K. \sqrt{(s - 1). g. d} \quad (1)$$

Di mana:

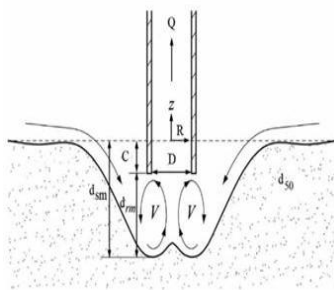
V_s : kecepatan minimum (m/s) agar partikel tidak mengendap

K : koefisien empiris ($\approx 1 - 1,5$, tergantung bentuk dan ukuran partikel) s : rasio densitas partikel terhadap air = ρ_s/ρ_w

g : percepatan gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$

d : diameter partikel (m)

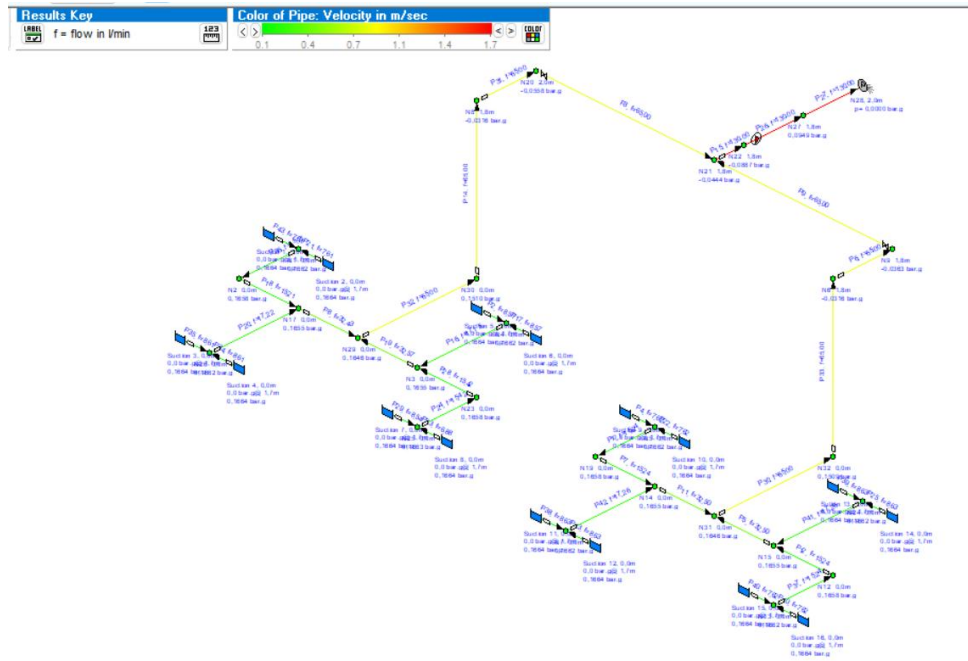
Pemodelan aliran desain MHSP dibutuhkan untuk mendapatkan desain sistem pipa drainase untuk memenuhi kecepatan minimum persamaan (1) untuk mencegah sedimentasi kotoran dimodelkan dengan software ditampilkan di Gambar 2. Pemodelan menghasilkan simulasi kemampuan pembersihan sedimentasi sebanyak 16 titik dengan menggunakan desain pompa eksisting dengan spesifikasi head suction 9-meter dan volume flow rate 130 liter/min. Desain perpipaan MHSP mengacu beberapa penelitian mampu efektif untuk proses evakuasi sedimentasi padatan dari lingkungan cairan (Tajima et al., 2005)(Sakurai et al., 2007)(Jaiswal et al., 2022)(Song et al., 2024)(Burford & Lorenzen, 2004).



Gambar 2 Diagram Pergerakan Sedimen Efek dari Daya Isap Hydro (Yang et al., 2020)

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa daya hisap cairan (*hydro*) merupakan fungsi dari ukuran median sedimen, yaitu hisap diameter pipa, tinggi saluran masuk isap, dan kecepatan saluran masuk. Pergerakan material lapisan dasar, variasi temporal konsentrasi sedimen dalam pipa, profil gerusan selama hisapan hidro telah diselidiki pada penelitian didapatkan bahwa proses gerusan sedimentasi tidak ada sampai pipa saluran hisap masuk dipasang di bawah kedalaman kritis dimana nilai C turun di bawah C_{cr} maka pergerakan material lapisan dimulai(Jaiswal et al., 2022)(Yang et al., 2020)(Tajima et al., 2005). Mengacu penelitian tersebut maka teknik tersebut bisa digunakan untuk proses drainase untuk memindahkan sedimentasi kotoran ikan pada kolam untuk mencegah proses pembentukan NH_3 di dasar kolam.

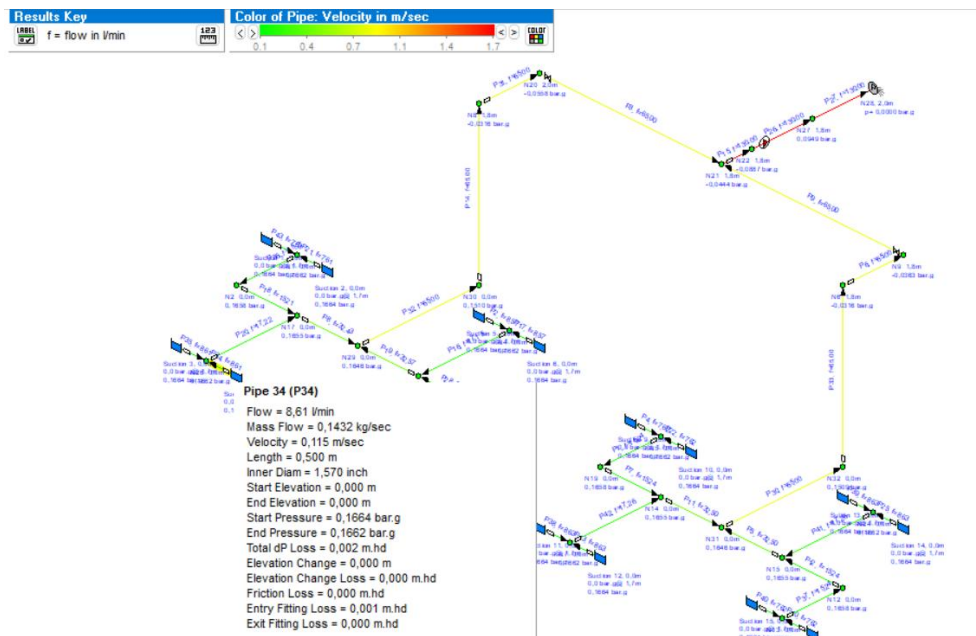
Desain MHSP pompa drainase untuk pembersihan sedimentasi kotoran ikan ditampilkan pada Gambar 2 dan pada ujung pipa suction pipa didesain dengan *fitting Tee* dengan total jumlahnya ada 16 titik yang didasarkan penelitian akan mampu menghisap sedimentasi padatan hasil kotoran ikan yg terkumpul di dasar kolam ikan lebih efektif(Jaiswal et al., 2022)(Jaiswal et al., 2024)(Jaiswal et al., n.d.). Sistem ini dirancang untuk membersihkan kotoran ikan dari dasar kolam secara efektif dan dioperastikan kontrol otomatis dengan *timer*, sehingga dapat menjaga kualitas air kolam tanpa perlu pengurasan berkala yang membutuhkan banyak volume air. Desain sistem drainase ini akan mampu menyediakan solusi pengelolaan limbah perikanan dari kolam petani; yang efisien, ramah lingkungan, dan hemat biaya operasional, sehingga dapat meningkatkan produktivitas petani ikan gurami secara berkelanjutan.



Gambar 3 Desain sistem perpipaan pada suction pipa MHSP Pompa

4. Hasil dan Pembahasan

Kalkulasi aliran fluida teoritis dengan persamaan dan Zandi-Govatos dan mengacu referensi data Tabel 3 Parameter Teknis Kotoran Ikan Gurami didapatkan kecepatan minimal adalah $\pm 0,038$ m/s. Desain dan analisis pemodelan aliran pada sistem MHSP pada kolam dengan menggunakan software pemodelan dapat didapatkan hasil di bawah :



Gambar 4 Hasil Pemodelan *Software* aliran fluida air pada suction pipa MHSP Pompa

Pemodelan menghasilkan simulasi kemampuan pembersihan sedimentasi per titik mencapai rerata 8,125 liter/min dengan kecepatan isap mencapai rata-rata antara 0,108 m/s pada setiap titik suction perpipaan pada dasar mampu membuang sedimentasi kotoran ikan gurami per hari dari hasil konsumsi pakan 15 kg/hari . Pompa drainase menggunakan spesifikasi pompa eksisting *Head Suction* 9-meter dan *volume flowrate* 130 liter/min.

Tabel 4 Data Hasil Pemodelan Desain Perpipaan 16 Titik MHSP

Suction	Mass Flow rate	Volume Flow-rate	Velocity
	(kg/sec)	(l/min)	(m/sec)
1	0,1265	7,61	0,101
2	0,1265	7,61	0,101
3	0,1432	8,61	0,115
4	0,1432	8,61	0,115
5	0,1426	8,57	0,114
6	0,1426	8,57	0,114
7	0,1420	8,54	0,114
8	0,1145	6,88	0,092
9	0,1267	7,62	0,102
10	0,1267	7,62	0,102
11	0,1435	8,63	0,115
12	0,1435	8,63	0,115
13	0,1435	8,63	0,115
14	0,1435	8,63	0,115
15	0,1267	7,62	0,102
16	0,1267	7,62	0,102
Average	0,135	8,125	0,108

Hasil pemodelan di 16 titik suction pipa dihasilkan kecepatan diatas kecepatan minimal terjadinya sedimentasi sehingga desain dikategorikan memenuhi persyaratan desain untuk mencegah akumulasi kotoran ikan yang akan menimbulkan keracunan ikan akibat NH_3 . Berikut adalah manfaat utama dari teknologi MHSP diatas dikombinasikan dengan kinerja pompa dapat setelah diterapkan :

1. **Peningkatan Kualitas Air:** Sistem ini mampu mengurangi akumulasi sedimentasi limbah organik dari beberapa studi ikan gurami memiliki menghasilkan kotoran dengan kandungan organik dengan massa jenis (ρ) kotorannya mendekati 1,2–1,4 g/cm³ sehingga membentuk sedimentasi di dasar kolam yang akan menghasilkan gas ammonia. Upaya untuk menjaga konsentrasi amonia di bawah ambang batas yang aman sangat diperlukan untuk menciptakan lingkungan optimal untuk pertumbuhan ikan(Edwards & al., 2024).
2. **Efisiensi Energi:** Dengan memanfaatkan *timer* otomatis dan efektivitas pembersihan sedimentasi kotoran pada sistem pompa, waktu operasi dapat ditekan sesuai kebutuhan,

mengurangi konsumsi energi listrik. Hal ini memberikan efisiensi penggunaan listrik dibandingkan metode pemompaan manual atau kontinyu dengan durasi waktu panjang.

3. **Penghematan Biaya Operasional:** Pengurangan frekuensi pengurasan air kolam menghemat biaya, baik dalam hal konsumsi air maupun penggunaan tenaga kerja untuk proses pembersihan manual.
4. **Keberlanjutan Ekosistem:** Teknologi ini mempertahankan keberadaan mikroorganisme penting di kolam, yang berfungsi dalam proses dekomposisi alami dan menjaga keseimbangan biologis air. Dengan begitu, dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan.

Keunggulan-keunggulan yang didapatkan pada pemodelan dan implementasi teknik sistem MHSP pada aplikasi akuakultur khususnya perikanan (*Osphronemus goramy*):

1. Efisiensi Energi: Pengoperasian pompa berkurang dari 4 jam menjadi 2 jam per hari, menghasilkan efisiensi energi sebesar 50%, serta penurunan konsumsi listrik dari 1,6 kWh menjadi hanya 0,8 kWh per hari per kolam.
2. Efisiensi Pengelolaan Air: Sistem memungkinkan penghilangan sedimen tanpa pengurasan total air kolam, menghemat air hingga 20–24 m³ per hari, yang dalam skala tahunan setara lebih dari 7.000 m³ per kolam.
3. Peningkatan Kualitas Air: Dengan mencegah akumulasi sedimen, sistem menjaga kadar amonia (NH₃) tetap di bawah batas toksik, memperbaiki parameter air dan meningkatkan kelangsungan hidup serta pertumbuhan ikan.
4. Keunggulan Pemodelan Sistem Perpipaan: Pemodelan sistem MHSP memberikan pendekatan prediktif dan berbasis data dalam menentukan kecepatan fluida dan distribusi titik hisap secara optimal. Desain 16 titik *suction* memungkinkan efisiensi evakuasi material padat kotoran ikan dari dasar kolam secara simultan, menghindari zona stagnan, dan meningkatkan homogenitas pembersihan dasar kolam. Hal ini memperkuat validitas desain sebelum implementasi fisik, mengurangi *trial-error* lapangan, serta mendukung replikasi sistem pada skala lebih besar.
5. Konservasi Ekosistem & Biaya Operasional: dengan meminimalkan gangguan terhadap mikroorganisme penting dan mengurangi biaya pembersihan manual serta tenaga kerja, sistem ini mendukung keberlanjutan budidaya dan efisiensi ekonomi hingga 40–60% dibanding sistem konvensional.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menemukan rancangan sistem drainase dengan tipe *Multi-Hole Suction Pipe* (MHSP) sebagai solusi teknis dan aplikatif untuk mencegah akumulasi sedimentasi kotoran ikan gurami (*Osphronemus goramy*) di dasar kolam budidaya pada perikanan akuakultur. Pemodelan hidraulik sistem MHSP menggunakan perangkat lunak simulasi dengan debit total mencapai 130 liter/menit menunjukkan kecepatan aliran aktual rata-rata 0,108 m/s pada setiap 16 titik hisap. Kecepatan ini telah mampu melebihi batas minimum teoritis $\pm 0,038$ m/s agar mencegah proses sedimentasi mengacu pada karakteristik teknis kotoran ikan dengan densitas antara 1050–1100 kg/m³ dan ukuran partikel sekitar 1 mm. Keseluruhan hasil membuktikan bahwa sistem MHSP merupakan solusi rekayasa drainase yang unggul, adaptif terhadap dinamika kolam intensif, dan dapat menjadi model sistem drainase akuakultur modern yang hemat energi, hemat air, dan ramah lingkungan.

Teknologi ini layak direplikasi secara luas sebagai standar baru dalam pengelolaan limbah organik kolam berbasis teknik fluida terapan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Tulungagung. (n.d.). Retrieved December 1, 2024, from <https://tulungagungkab.bps.go.id/id>
- Burford, M. A., & Lorenzen, K. (2004). Modeling benefits of removing sedimented material to reduce ammonia release. *Aquaculture Engineering*.
- Durand, R. (1953). *Basic relationships of the transportation of solids in pipes – Experimental research*. International Association for Hydraulic Structures Research.
- Edwards, T. M., & al., et. (2024). Ammonia and aquatic ecosystems — a global review. *Environmental Science & Technology*.
- Jaiswal, A., Ahmad, Z., & Mishra, S. K. (n.d.). *Effect of Diameter and Inlet-Depth on Hydro-Suction Performance of a Suction Pipe BT - Proceedings of the 9th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures*. <https://doi.org/10.26077/aa4f-76f0>
- Jaiswal, A., Ahmad, Z., & Mishra, S. K. (2022). Removal of sediment through hydro-suction revisited: An extensive review. *Water Practice and Technology*, 17(6), 1305–1316. <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.088>
- Jaiswal, A., Ahmad, Z., & Mishra, S. K. (2024). Experimental study on hydro-suction removal of cohesionless bed material. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Journal, W. (2014). An overview of theories describing head losses in slurry transport: A tribute to some of the early researchers. *WEDA Journal of Dredging Engineering*, 14(1).
- Law, B. A., Smith, S., & Parker, C. (2014). Size, settling velocity and density of small suspended aquaculture wastes. *Aquaculture Environment Interactions*.
- Munsiri, P., Boyd, C. E., & Hajek, B. F. (1995). Characterization of pond bottom soil profiles for aquaculture operations in Alabama. *Aquaculture Engineering*, 14(4), 311–330. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(95\)00021-6](https://doi.org/10.1016/0144-8609(95)00021-6)
- Rahman, M. M., & Yakupitiyage, A. (2002). Improving efficiency of pond fertilization through nutrient budgeting in fish ponds of Bangladesh. *Aquaculture*, 206(3–4), 245–259. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00835-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00835-3)
- Tajima, Y., Nakashima, & Tatayama, H. (2005, January 1). *Development and Applications of Multi Hole Suction Pipe*.
- Durand, R. (1952). Basic relationships of the transportation of solids in pipes - Experimental research. *Proc. of the International Association for Hydraulic Research*, 39–48.
- Rahman, M. M., & Yakupitiyage, A. (2002). Improving efficiency of pond fertilization through nutrient budgeting in fish ponds of Bangladesh. *Aquaculture*, 206(3–4), 245–259. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00835-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00835-3)
- Sakurai, T., Hakoishi, N., Kashiwai, J., Izumiya, T., & Kubo, Y. (2007). Development of sediment supply measures for restoration of riverbed environment at the downstream of the dam -Sediment

discharge facility by sheet and suction pipe, and air valve. 4Th International Symposium on Modern Technology of Dams.

- Song, Y., Wu, D., Gu, Y., Ren, Y., Wu, Z., & Mou, J. (2024). Multi-objective optimal design of double- suction centrifugal pump impeller using agent-based models. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 38(8), 4175–4186. <https://doi.org/10.1007/s12206-024-0715-7>
- Syandri, H., Putri, R., Roni, Z., & Irhamsyah, M. (2021). Nutrient Budget in a Floating Net Cage Aquaculture System in Lake Maninjau, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 12149. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012149>
- Usman, Z., Kurniaji, A., Saridu, S. A., Pengajar, S., Studi, P., Budidaya, T., Pengajar, S., Studi, P., Budidaya, T., Program, A., Teknik, S., & Perikanan, B. (2022). Produksi juvenil ikan gurame (*Osphronemus gouramy*) menggunakan teknologi recirculating aquaculture system. *Budidaya Perairan*, 10(2), 263–271. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/bdp/article/view/40705/36428>
- Yang, P., Wang, G., & Zhong, L. (2020). Suction removal of cohesionless sediment. *Energies*, 13(20), 1–11. <https://doi.org/10.3390/en13205436>
- Zandi, I., & Govatos, M. J. (1967). Hydraulic Conveying of Solids in Pipes. *Journal of the Hydraulics Division*, 93(HY2), 1–19.