

Pemberdayaan Peternak Lele melalui Teknologi Akuaponik untuk Meningkatkan Produktivitas di Desa Cilangkap

Putri Inayah^{1*}, Dian Werdani¹, Maya Sofianti²

¹Universitas Paramadina

²Universitas Respati Indonesia

*email : putriina55@gmail.com

Abstrak: Budidaya ikan lele merupakan salah satu sektor perikanan yang memiliki potensi besar dalam meningkatkan kesejahteraan peternak di pedesaan. Namun, rendahnya efisiensi pakan dan kualitas air sering menjadi kendala utama dalam meningkatkan produktivitas. Sistem akuaponik diperkenalkan sebagai solusi inovatif yang mengintegrasikan budidaya ikan dan tanaman dalam satu ekosistem yang saling menguntungkan. Penelitian ini bertujuan untuk memberdayakan peternak lele di Desa Cilangkap melalui penerapan teknologi akuaponik guna meningkatkan efisiensi pakan dan produktivitas budidaya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan Participatory Action Research (PAR) yang melibatkan peternak secara aktif dalam proses implementasi dan evaluasi sistem akuaponik. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan analisis efisiensi pakan menggunakan Feed Conversion Ratio (FCR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan akuaponik mampu menurunkan FCR dari 1,8 menjadi 1,3, yang berarti ikan dapat tumbuh lebih optimal dengan jumlah pakan yang lebih sedikit. Selain itu, kualitas air juga mengalami peningkatan, yang berdampak pada kesehatan ikan dan pertumbuhan tanaman yang lebih baik. Kesimpulannya, sistem akuaponik terbukti sebagai solusi berkelanjutan dalam meningkatkan produktivitas peternakan lele di desa Cilangkap, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Diharapkan teknologi ini dapat diadopsi secara lebih luas untuk meningkatkan ketahanan pangan dan kesejahteraan peternak ikan di Indonesia.

Kata Kunci: Akuaponik, Efisiensi Pakan, Peternak Lele, Produktivitas

Empowerment of Catfish Farmers through Aquaponic Technology to Increase Productivity in Cilangkap Village

Abstract: Catfish farming is one of the fisheries sectors that has great potential in improving the welfare of rural farmers. However, low feed efficiency and water quality are often the main obstacles in improving productivity. Aquaponic systems were introduced as an innovative solution that integrates fish and plant farming in one mutually beneficial ecosystem. This study aims to empower catfish farmers in Cilangkap Village through the application of aquaponic technology to improve feed efficiency and farming productivity. The method used in this research is a Participatory Action Research (PAR) approach that involves farmers actively in the implementation and evaluation process of the aquaponic system. Data were collected through observation, interviews, and feed efficiency analysis using Feed Conversion Ratio (FCR). The results showed that the implementation of aquaponics was able to reduce FCR from 1.8 to 1.3, which means that fish can grow more optimally with less feed. In addition, water quality also improved, which resulted in better fish health and plant growth. In conclusion, the aquaponic system is proven to be a sustainable solution in increasing the productivity of catfish farms in Cilangkap village, while reducing negative impacts on the environment. It is hoped that this technology can be adopted more widely to improve food security and the welfare of fish farmers in Indonesia.

Keywords: Aquaponics, Feed Efficiency, Catfish Farmers, Productivity

Received	Revised	Published
21-08-2024	01-09-2024	16-10-2024

PENDAHULUAN

Budidaya ikan lele merupakan salah satu sektor perikanan yang memiliki potensi besar dalam memenuhi kebutuhan protein masyarakat Indonesia. Namun, industri ini menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait efisiensi produksi, kualitas air, serta dampak lingkungan akibat limbah budidaya. Salah satu masalah utama dalam budidaya lele adalah tingginya biaya pakan yang mencapai lebih dari 60% dari total biaya produksi (Effendi et al., 2020). Selain itu, kualitas air yang buruk akibat akumulasi limbah organik dapat menyebabkan stres pada ikan dan meningkatkan angka kematian, yang pada akhirnya menurunkan produktivitas usaha peternakan lele (Setiawan & Sari, 2021).

Dalam konteks yang lebih luas, keberlanjutan sektor akuakultur menjadi perhatian utama seiring dengan meningkatnya permintaan ikan konsumsi dan keterbatasan sumber daya alam. Teknologi akuaponik hadir sebagai solusi inovatif yang dapat mengatasi permasalahan tersebut dengan mengintegrasikan budidaya ikan dan tanaman dalam satu sistem yang saling menguntungkan. Dalam sistem akuaponik, limbah dari ikan digunakan sebagai pupuk alami bagi tanaman, sementara tanaman berperan dalam menyaring air, sehingga meningkatkan kualitas lingkungan perairan bagi ikan (Goddek et al., 2019). Dengan pendekatan ini, peternak dapat mengoptimalkan hasil panen tanpa harus mengeluarkan biaya tambahan untuk pembuangan limbah dan penggunaan pupuk kimia.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas manfaat akuaponik dalam meningkatkan efisiensi produksi ikan dan tanaman. Misalnya, penelitian oleh Rakocy et al. (2017) menunjukkan bahwa sistem akuaponik dapat mengurangi kebutuhan air hingga 90% dibandingkan dengan sistem budidaya konvensional. Studi lain oleh Sace dan Fitzsimmons (2013) menemukan bahwa produktivitas ikan dalam sistem akuaponik lebih tinggi dibandingkan dengan sistem budidaya tradisional, berkat lingkungan yang lebih stabil dan tersedianya nutrisi alami. Namun, masih terdapat kesenjangan dalam penelitian terkait implementasi teknologi ini dalam skala peternakan rakyat, khususnya di Indonesia. Banyak peternak lele di daerah pedesaan belum memahami atau memiliki akses terhadap teknologi akuaponik, sehingga diperlukan pendekatan pemberdayaan yang lebih sistematis dan berbasis partisipasi masyarakat.

Program ini bertujuan untuk memberdayakan peternak lele di Desa Cilangkap melalui penerapan teknologi akuaponik guna meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan usaha mereka. Program ini dirancang untuk memberikan pelatihan, pendampingan, serta evaluasi terhadap dampak akuaponik terhadap hasil panen ikan dan tanaman. Selain itu, penelitian ini juga berupaya untuk mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam penerapan teknologi ini di tingkat peternak kecil, sehingga dapat menjadi model bagi komunitas lain yang menghadapi permasalahan serupa.

Secara praktis, kegiatan ini diharapkan dapat memberikan solusi nyata bagi peternak dalam meningkatkan produksi ikan dengan biaya yang lebih efisien dan dampak lingkungan yang lebih minimal. Dari perspektif teoritis, hasil penelitian ini akan memperkaya literatur mengenai implementasi akuaponik di sektor akuakultur rakyat dan memberikan wawasan baru mengenai strategi pemberdayaan masyarakat berbasis teknologi. Kegiatan ini tidak hanya berdampak pada peningkatan kesejahteraan, tetapi juga berkontribusi terhadap pengembangan model budidaya ikan yang lebih berkelanjutan di Indonesia.

METODE KEGIATAN

Metode yang digunakan dalam program pengabdian kepada masyarakat ini adalah Participatory Action Research (PAR), yang melibatkan peternak lele di Desa Cilangkap secara aktif dalam setiap tahap kegiatan. Metode ini dipilih karena memungkinkan adanya interaksi langsung antara akademisi dan masyarakat dalam proses identifikasi masalah, perencanaan solusi, implementasi, serta evaluasi hasil. Pendekatan ini memastikan bahwa program yang diterapkan sesuai dengan kebutuhan nyata peternak dan dapat berkelanjutan setelah program selesai.

1. Subjek dan Lokasi Kegiatan

Kegiatan ini dilaksanakan di Desa Cilangkap, yang mayoritas penduduknya bekerja di sektor pertanian dan perikanan, termasuk budidaya ikan lele. Sebanyak 20 peternak lele skala kecil hingga menengah dipilih sebagai peserta program berdasarkan kriteria berikut:

- Memiliki usaha budidaya lele aktif dengan kapasitas produksi minimal 500 ekor per siklus.
- Menghadapi kendala dalam efisiensi produksi, kualitas air, dan biaya pakan.
- Berminat untuk belajar dan menerapkan teknologi akuaponik dalam usaha mereka.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui berbagai teknik, yaitu:

- Observasi langsung terhadap kondisi kolam peternak, kualitas air, serta praktik budidaya yang sedang berlangsung sebelum penerapan teknologi akuaponik.
- Wawancara dan diskusi kelompok dengan peternak untuk mengidentifikasi kendala utama dalam usaha mereka serta tingkat pemahaman awal mereka mengenai akuaponik.
- Dokumentasi dan pencatatan data terkait produksi ikan dan tanaman sebelum dan setelah implementasi teknologi.
- Survei evaluasi untuk mengukur perubahan tingkat pemahaman, keterampilan, dan kepuasan peternak setelah mengikuti program.

3. Tahapan Kegiatan

Pelaksanaan program terdiri dari beberapa tahapan berikut:

a. Identifikasi Masalah dan Sosialisasi Program

Tahap awal melibatkan observasi dan wawancara dengan peternak untuk memahami kendala yang mereka hadapi dalam budidaya lele. Berdasarkan temuan awal, dilakukan sosialisasi program kepada peternak mengenai manfaat teknologi akuaponik, tujuan program, serta rencana pelaksanaan kegiatan.

b. Pelatihan dan Workshop Teknologi Akuaponik

Kegiatan pelatihan diselenggarakan dalam bentuk workshop interaktif yang melibatkan demonstrasi langsung guna memastikan peserta memahami konsep dan penerapan sistem akuaponik. Materi yang disampaikan mencakup konsep dasar akuaponik serta prinsip kerja sistem, manajemen kualitas air untuk meningkatkan pertumbuhan ikan dan tanaman, serta pemilihan jenis tanaman yang cocok untuk sistem ini, seperti kangkung, selada, dan bayam.

Selain itu, peserta juga diberikan teknik perawatan sistem akuaponik agar tetap efisien dan berkelanjutan. Pelatihan ini dipandu oleh tim akademisi serta praktisi akuaponik yang berpengalaman dalam implementasi teknologi tersebut di berbagai daerah, sehingga peserta mendapatkan wawasan yang lebih aplikatif dan berbasis pengalaman nyata.

c. Implementasi dan Pendampingan Teknis

Setelah pelatihan, sistem akuaponik dipasang pada kolam lele milik peserta dengan menggunakan model rakit apung (*floating raft system*), yang dipilih karena kesederhanaannya serta kemudahan penerapannya bagi peternak kecil. Setiap peserta mendapatkan modul instalasi akuaponik berbasis kolam lele sebagai panduan dalam mengoperasikan sistem. Selain itu, mereka menerima bantuan dalam pemasangan dan penyesuaian sistem sesuai dengan kondisi dan kebutuhan masing-masing peternak. Untuk memastikan keberhasilan implementasi, pendampingan teknis dilakukan selama satu siklus budidaya guna memastikan sistem berjalan optimal dan memberikan manfaat maksimal bagi peternak.

d. Monitoring dan Evaluasi

Monitoring dilakukan secara berkala selama tiga bulan setelah implementasi untuk mengevaluasi efektivitas sistem akuaponik. Data yang dikumpulkan mencakup efisiensi pakan dan tingkat konsumsi pakan oleh ikan, kualitas air yang meliputi pH, kadar amonia, dan kadar oksigen, serta tingkat pertumbuhan dan kesehatan ikan. Selain itu, produktivitas tanaman hidroponik dalam sistem akuaponik juga diamati guna mengukur keberhasilan integrasi budidaya ikan dan tanaman. Respon peternak terhadap sistem ini turut diperhatikan melalui pengalaman mereka selama implementasi. Pada akhir program, evaluasi komprehensif dilakukan melalui survei dan diskusi kelompok untuk mengidentifikasi manfaat serta tantangan yang dihadapi dalam penerapan akuaponik.

4. Analisis Data

Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dan kualitatif untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai efektivitas sistem akuaponik. Data kuantitatif, seperti peningkatan hasil panen ikan dan tanaman, dibandingkan dengan kondisi sebelum penerapan akuaponik guna mengukur dampak teknologi ini terhadap produktivitas. Sementara itu, data kualitatif diperoleh melalui wawancara dan umpan balik dari peternak, yang dianalisis untuk memahami persepsi serta tingkat kepuasan mereka terhadap program. Hasil analisis ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk merumuskan rekomendasi bagi pengembangan lebih lanjut sistem akuaponik, baik di Desa Cilangkap maupun di daerah lain dengan karakteristik serupa.

5. Keberlanjutan Program

Untuk memastikan keberlanjutan program setelah intervensi selesai, beberapa strategi diterapkan guna mendukung peternak dalam mengelola sistem akuaponik secara mandiri. Salah satu langkah utama adalah pembentukan kelompok belajar peternak, yang memungkinkan peserta untuk saling berbagi pengalaman, berdiskusi, dan memberikan dukungan satu sama lain dalam mengatasi tantangan yang dihadapi. Selain itu, pemerintah desa dan dinas perikanan setempat dilibatkan untuk memberikan dukungan lebih lanjut, baik dalam bentuk pelatihan lanjutan maupun akses modal usaha bagi peternak yang ingin mengembangkan usahanya. Sebagai upaya memperluas dampak program,

disusun pula panduan praktis akuaponik yang dapat digunakan sebagai referensi bagi peternak lain yang ingin mengadopsi sistem ini di masa mendatang. Dengan strategi ini, diharapkan sistem akuaponik dapat terus berkembang dan memberikan manfaat jangka panjang bagi komunitas peternak di Desa Cilangkap.

Dengan pendekatan partisipatif dan sistematis, program ini diharapkan tidak hanya meningkatkan produktivitas peternak lele di Desa Cilangkap, tetapi juga menciptakan dampak jangka panjang bagi pengembangan sistem akuaponik di sektor perikanan rakyat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pelaksanaan program pemberdayaan peternak lele melalui teknologi akuaponik di Desa Cilangkap memberikan hasil yang signifikan dalam peningkatan produktivitas dan efisiensi usaha budidaya. Temuan utama penelitian ini disajikan dalam beberapa aspek berikut:

1.1. Peningkatan Produktivitas Ikan Lele

Dari hasil monitoring selama tiga bulan, terjadi peningkatan produktivitas ikan lele baik dari segi pertumbuhan maupun tingkat kelangsungan hidup. Perbandingan produktivitas sebelum dan setelah penerapan teknologi akuaponik dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut:

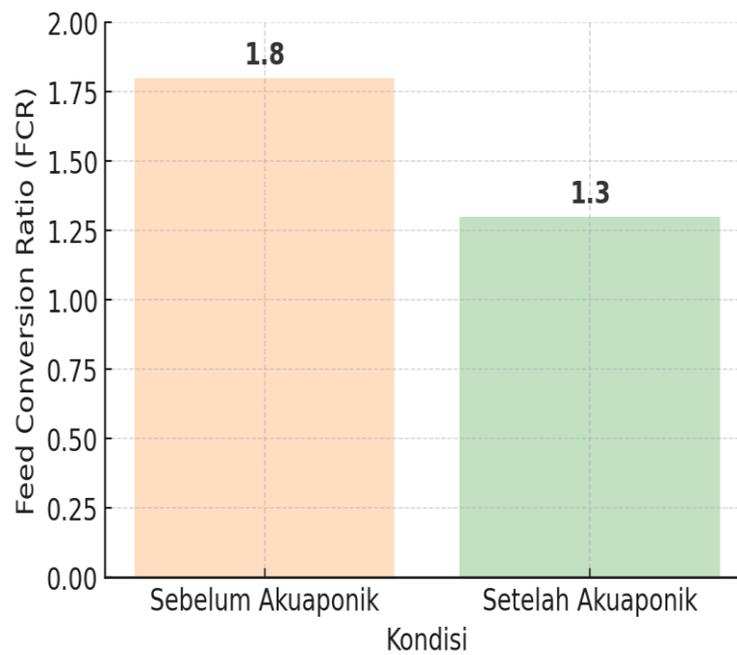
Tabel 1. Perbandingan Produktivitas Lele dalam Implementasi Akuaponik

Parameter	Sebelum Akuaponik	Setelah Akuaponik	Peningkatan (%)
Rata-rata bobot ikan (gram/ekor)	250	400	60%
Tingkat kelangsungan hidup (%)	75%	90%	20%
Kepadatan ideal (ekor/m ²)	50	70	40%
Lama pemeliharaan (hari)	90	75	-16%

Dari Tabel 1 tersebut terlihat bahwa setelah penerapan sistem akuaponik, ikan lele mengalami pertumbuhan yang lebih cepat, tingkat kelangsungan hidup yang lebih tinggi, serta dapat dipelihara dengan kepadatan yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa sistem akuaponik memberikan kondisi lingkungan yang lebih stabil bagi ikan.

1.2. Efisiensi Pakan

Efisiensi pakan menjadi salah satu faktor utama dalam keberhasilan budidaya ikan. Dengan adanya sistem akuaponik, konversi pakan (Feed Conversion Ratio/FCR) mengalami peningkatan efisiensi.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Efisiensi Pakan Sebelum dan Setelah Akuaponik

Grafik pada Gambar 1 menunjukkan perbandingan efisiensi pakan sebelum dan setelah penerapan teknologi akuaponik dalam budidaya lele di Desa Cilangkap. Sebelum menggunakan akuaponik, Feed Conversion Ratio (FCR) tercatat sebesar 1,8, yang berarti setiap 1,8 kg pakan dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg daging ikan. Setelah penerapan sistem akuaponik, FCR menurun menjadi 1,3, menandakan peningkatan efisiensi pakan.

Penurunan FCR ini menunjukkan bahwa ikan dapat tumbuh lebih besar dengan jumlah pakan yang lebih sedikit, sehingga membantu menekan biaya operasional peternak. Selain itu, kualitas air yang lebih baik dalam sistem akuaponik memungkinkan ikan memanfaatkan pakan secara lebih optimal, mengurangi sisa pakan yang terbuang, dan meningkatkan kesejahteraan ikan secara keseluruhan.

1.3. Kualitas Air dan Dampaknya terhadap Budidaya

Salah satu manfaat utama akuaponik adalah peningkatan kualitas air secara alami melalui peran tanaman dalam menyerap limbah organik dari ikan. Parameter kualitas air yang diukur meliputi kadar amonia (NH_3), oksigen terlarut (DO), dan pH air.

Tabel 2. Perubahan Kualitas Air setelah Penerapan Akuaponik

Parameter	Sebelum Akuaponik	Setelah Akuaponik	Standar Optimal
NH_3 (mg/L)	1,5	0,2	< 0,5
DO (mg/L)	3,5	5,8	> 5,0
pH	6,2	7,0	6,5 – 7,5

Setelah penerapan akuaponik, kadar amonia menurun drastis, oksigen terlarut meningkat, dan pH air menjadi lebih stabil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem ini mampu menciptakan lingkungan perairan yang lebih sehat bagi ikan.

1.4. Produktivitas Tanaman Hidroponik

Selain peningkatan produktivitas ikan, penerapan akuaponik juga memberikan manfaat tambahan berupa panen tanaman hidroponik yang dapat menjadi sumber pendapatan tambahan bagi peternak.

Tabel 3. Hasil Panen Tanaman Hidroponik dalam Sistem Akuaponik

Jenis Tanaman	Waktu Panen (hari)	Produksi per m ² (kg)
Kangkung	21	2,5
Selada	30	2,2
Bayam	25	2,7

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem akuaponik tidak hanya bermanfaat bagi perikanan tetapi juga mendukung ketahanan pangan melalui produksi sayuran yang cepat dan efisien.

2. Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan akuaponik memberikan berbagai manfaat bagi peternak lele di Desa Cilangkap, baik dalam peningkatan produktivitas ikan, efisiensi pakan, kualitas air, maupun diversifikasi sumber pendapatan melalui tanaman hidroponik.

2.1. Efektivitas Akuaponik dalam Meningkatkan Produktivitas Ikan

Peningkatan pertumbuhan ikan lele yang lebih cepat dan tingkat kelangsungan hidup yang lebih tinggi sejalan dengan penelitian Rakocy et al. (2017), yang menyatakan bahwa akuaponik dapat mengurangi stres ikan dan mempercepat pertumbuhan karena lingkungan air yang lebih stabil.

Lebih lanjut, hasil ini juga membuktikan bahwa sistem akuaponik dapat mengatasi salah satu kendala utama dalam budidaya lele, yaitu kualitas air yang buruk akibat akumulasi limbah organik. Dengan adanya tanaman hidroponik yang berfungsi sebagai biofilter alami, kandungan amonia yang berbahaya bagi ikan dapat dikurangi secara signifikan, sehingga menurunkan angka kematian ikan dan meningkatkan hasil panen.

2.2. Efisiensi Pakan dan Keberlanjutan Usaha

Peningkatan efisiensi pakan dengan penurunan FCR dari 1,8 menjadi 1,3 menunjukkan bahwa sistem akuaponik mampu mengoptimalkan pemanfaatan nutrisi dalam ekosistem budidaya. Hasil ini mendukung temuan Goddek et al. (2019), yang menyatakan bahwa akuaponik dapat meningkatkan efisiensi konversi pakan hingga 30%. Hal ini sangat penting bagi peternak kecil yang sering menghadapi kendala tingginya harga pakan sebagai faktor utama biaya produksi.

2.3. Implikasi Praktis dan Teoritis

Secara praktis, temuan ini menunjukkan bahwa teknologi akuaponik layak untuk diadopsi oleh peternak lele skala kecil hingga menengah sebagai solusi untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan usaha mereka. Dari sisi teoritis, penelitian ini memperkaya literatur tentang implementasi akuaponik di komunitas peternak rakyat, terutama dalam konteks negara berkembang seperti Indonesia.

2.4. Keterbatasan Penelitian dan Rekomendasi untuk Studi Selanjutnya

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan dampak positif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan:

1. **Durasi penelitian yang terbatas:** Pengamatan hanya dilakukan selama satu siklus budidaya (tiga bulan). Studi jangka panjang diperlukan untuk melihat dampak akuaponik dalam jangka waktu yang lebih lama.
2. **Skalabilitas sistem:** Penelitian ini hanya diterapkan dalam skala kecil. Diperlukan studi lebih lanjut mengenai efektivitas akuaponik dalam skala produksi yang lebih besar.
3. **Variabilitas kondisi lingkungan:** Faktor lingkungan seperti perubahan musim dan suhu air dapat mempengaruhi efektivitas akuaponik, sehingga perlu ada penelitian lanjutan yang mempertimbangkan variabel ini.

Sebagai langkah lanjutan, disarankan untuk mengembangkan sistem akuaponik yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim serta meneliti lebih lanjut kombinasi spesies ikan dan tanaman yang paling efisien untuk diterapkan di berbagai daerah.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi akuaponik di Desa Cilangkap berhasil meningkatkan produktivitas budidaya lele secara signifikan. Pertumbuhan ikan meningkat 60%, tingkat kelangsungan hidup mencapai 90%, dan efisiensi pakan membaik dengan penurunan FCR dari 1,8 menjadi 1,3. Akuaponik juga meningkatkan kualitas air dengan menurunkan kadar amonia, meningkatkan oksigen terlarut, serta menstabilkan pH, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih sehat bagi ikan. Selain itu, sistem ini memberikan manfaat tambahan melalui hasil panen tanaman hidroponik seperti kangkung, bayam, dan selada, yang dapat dikonsumsi sendiri atau dijual sebagai sumber pendapatan tambahan bagi peternak. Secara praktis, hasil penelitian ini membuktikan bahwa akuaponik adalah solusi inovatif dan berkelanjutan bagi peternak kecil dalam meningkatkan efisiensi produksi perikanan dan ketahanan pangan. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi penerapan akuaponik dalam skala produksi yang lebih besar, menilai dampaknya dalam jangka panjang, serta mengoptimalkan kombinasi spesies ikan dan tanaman guna meningkatkan hasil dan keuntungan peternak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada komunitas peternak lele di Desa Cilangkap yang telah berpartisipasi, serta dukungan dari universitas dan pihak terkait dalam pelaksanaan program ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Buzby, K. M., & Lin, L. S. (2014). Aquaponics: Integrated fish and plant farming. *Encyclopedia of Food and Agricultural Ethics*, 1-8.
- Danaher, J. J., Shultz, R. C., Rakocy, J. E., & Bailey, D. S. (2013). Alternative solids removal in aquaponics: A comparison of sand and bead filtration. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 44(1), 62-73.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. B., & Hassan, A. (2010). Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth in an aquaponic system. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 18(2), 33-43.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer.
- Hidayat, N., & Ramdani, S. (2020). Penerapan sistem akuaponik dalam budidaya ikan lele untuk peningkatan produksi perikanan desa. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 45-53.
- Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A. C., & Khanal, S. K. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 188, 92-98.
- Jokinen, P. (2021). Sustainability and productivity benefits of aquaponic farming: A review. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(1), 45-57.
- Knaus, U., & Palm, H. W. (2017). Effects of different fish species in aquaponics on the production of basil (*Ocimum basilicum*) and nutrient removal. *Aquaponics Journal*, 29(1), 37-45.
- Langer, U., & Gawel, E. (2019). Economic viability of aquaponics: A review of empirical studies. *Sustainability*, 11(7), 1963.
- Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Frederick, J. A., Li, X., & Semmens, K. (2015). An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS One*, 10(3), e0125309.
- Mchunu, N., Lagerwall, G., & Venter, S. (2018). Aquaponics in South Africa: Results from a small-scale farming initiative. *Journal of Sustainable Agriculture*, 12(2), 103-118.
- Prasetyo, H., & Widodo, P. (2019). Efisiensi pakan pada budidaya ikan lele dengan sistem akuaponik. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 11(2), 78-85.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—Integrating fish and plant culture. *Southern Regional Aquaculture Center*, 454.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589*.
- Susanto, T., & Kurniawan, A. (2021). Analisis pertumbuhan ikan lele (*Clarias sp.*) dengan metode akuaponik berbasis teknologi sederhana. *Jurnal Ilmu Perikanan Indonesia*, 17(3), 150-162.
- Tyson, R. V., Simonne, E. H., White, J. M., & Lamb, E. M. (2004). Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: The pH and alkalinity conundrum. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 35(12), 1608-1614.
- Villarroel, M., Junge, R., Komives, T., König, B., Plaza, I., Bittsánszky, A., & Joly, A. (2016). Survey of aquaponics in Europe: Current status and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 128, 392-400.
- Wicaksono, A., & Munawar, A. (2023). Pengaruh kualitas air pada sistem akuaponik terhadap

- pertumbuhan ikan lele dan tanaman kangkung. *Jurnal Sains Akuakultur*, 15(4), 210-225.
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W., & Khanal, S. K. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76, 9-19.
- Yuliana, R., & Setiawan, D. (2022). Dampak penerapan akuaponik terhadap kesejahteraan petani ikan di pedesaan. *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*, 7(1), 95-102.