

Akuaponik Sebagai Salah Satu Pendekatan Pemanfaatan Lahan Marginal untuk Penambahan Pendapatan Keluarga

Aquaponics as an Approach in Utilizing Marginal Land to Increase Family Income

S. Budi Prayitno^{*)}

Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang,
Jawa Tengah 50275, Indonesia

^{*)} Penulis untuk korespondensi: slametbudiprayitno@lecturer.undip.ac.id

Sitasi: Prayitno, S.B. (2024). Aquaponics as an approach in utilizing marginal land to increase family income. In: Herlinda S *et al.* (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-12 Tahun 2024*, Palembang 21 Oktober 2024. (pp. 20–26). Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

Marginal land is a type of land that has low soil fertility, less ideal for agricultural activities and other productive uses. Aquaponics is a combination of aquaculture and hydroponics, where aquaculture waste is used as nutrients for plants. Aquaponics does not require fertile land, is efficient in water use, uses land more effectively, provides educational and innovation opportunities and could increase family income. Aquaponics has several systems, including the Deep Water Culture (DWC), Ebb and Flow, and Nutrient Film Technique (NFT). Each of the above systems is highly dependent on the type of plants and fish to be cultured. The available land, the scale of production, and the initial and maintenance costs. The application of aquaponics with 16-20 netpots/M², and fish culture media, could produce at least 5 bunches of kangkong/mustard greens/pakchoy every two weeks, and a minimum of 500 juvenile fish/month/M² with income from plants of around 15,000, - (IDR) and fish seeds of around 100,000, - (IDR). The remaining mud waste every month around 300 grams wet can be used as fertilizer for surrounding plants. It can be concluded that aquaponics is one of the effective marginal land utilization systems, environmentally friendly and can increase family income.

Keywords: non productive land, fish-vegetable, production, additional income

ABSTRAK

Lahan marginal adalah jenis lahan yang memiliki kesuburan tanah rendah, tidak ideal untuk kegiatan pertanian atau pemanfaatan lain secara produktif. Akuaponik adalah kombinasi antara akuakultur dan hidroponik, di mana limbah akuakultur digunakan sebagai nutrisi untuk tanaman. Akuaponik tidak memerlukan lahan subur, efisien dalam penggunaan air, pemanfaatan lahan lebih efektif, peluang edukasi dan inovasi serta dapat meningkatkan pendapatan keluarga. Akuaponik memiliki beberapa sistem, antara lain Sistem *Deep Water Culture* (DWC), *Ebb and Flow*, and *Nutrient Film Technique* (NFT). Setiap sistem di atas sangat tergantung pada jenis tanaman dan ikan yang akan dibudidayakan. luas lahan yang tersedia, skala produksi, dan biaya awal dan pemeliharaan. Aplikasi akuaponik dengan 16-20 netpot/M², dan media pemeliharaan ikan, setidaknya dapat menghasilkan sayuran kangkung/sawi/pakcoy setiap dua minggu sebanyak 5 ikat/M², dan juvenil ikan minimal sekitar 500 ekor/bulan/M² dengan penghasilan dari tanaman sekitar Rp. 15.000,- dan benih ikan sekitar Rp. 100.000,-. Sisa buangan lumpur setiap

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISSN: 2963-6051 (print); 2986-2302 (online)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

bulan sekitar 300 gr basah dapat digunakan sebagai pupuk tanaman sekitar. Dapat disimpulkan bahwa akuaponik merupakan salah satu sistem pemanfaatan lahan maginal yang efektif, ramah lingkungan dan dapat menambah penghasilan keluarga

Kata kunci: non productive land, fish-hortikultura, produksi, tambahan pendapatan

PENDAHULUAN

Lahan suboptimal atau lahan marjinal adalah lahan yang secara alamiah mempunyai produktivitas rendah dan ringkih (fragile) dengan berbagai kendala akibat faktor inheren (tanah, bahan induk) maupun faktor eksternal akibat iklim yang ekstrim, termasuk lahan terdegradasi akibat eksploitasi yang kurang bijak. Lahan marjinal juga banyak diartikan sebagai lahan yang tidak dimanfaatkan karena kondisi lahan yang sempit, porous, terjal, berbatu, kering, selalu tergenang, tanah masam, salinitas tinggi dan lain sebagainya.

Balai Penelitian Tanah, Balitbang Kementerian Pertanian (2015) melaporkan bahwa luas lahan marginal di Indonesia mencapai 157.246.565 hektar (Sahabat petani.com). Lebih lanjut BPS (2020) melaporkan bahwa luas lahan kritis di Indonesia tahun 2018 mencapai 9.453.729 Ha. Berdasarkan data tersebut diatas, sangat jelas bahwa pemanfaatan lahan marginal dan lahan kritis dapat meningkatkan produksi, ketahanan pangan dan pendapatan masyarakat. Banyaknya lahan marginal dan berkurangnya ketersediaan lahan dan air untuk akuakultur di perkotaan mendorong diterapkannya teknologi akuaponik dan bioflok dalam rangka memanfaatkan lahan tersebut (Diatin *et al.*, 2021).

Akuaponik, adalah sistem agri-akuakultur terpadu dengan pendekatan interdisipliner dalam rangka pengembangan pangan berkelanjutan (Verma *et al.*, 2023), Akuaponik dipilih menjadi salah satu sistem dalam pemanfaatan lahan marginal, karena teknologinya yang sederhana, hemat energy dan input sumberdaya. Oleh karena itu aquaponik menjadi salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan Perserikatan Bangsa-Bangsa karena sistim ini berbasis ekonomi sirkular, efisiensi pemanfaatan sumber daya, mitigasi pembuangan, daur ulang nutrisi, energi, air limbah, dan produksi ikan dan sayuran yang bergizi, dan telah menarik minat publik dalam beberapa tahun terakhir. Delaide *et al.* (2017) lebih lanjut menyatakan bahwa sistem akuaponik skala kecil bernama PAFF Box (Plant And Fish Farming Box) yang terdiri dari kontainer dan di atasnya terdapat rumah kaca telah memberikan hasil berupa selada, kemangi dan ikan nila. Analisis tersebut juga menunjukkan bahwa teknologi akuaponik cepat diadopsi karena efisiensi material, atau pakan ikan. Hal ini menunjukkan bahwa menggabungkan akuaponik dengan jaringan produksi-daur ulang material lainnya dapat menghasilkan simbiosis yang selanjutnya dapat meningkatkan potensi jangka panjang akuaponik sebagai sistem produksi pangan yang penting dan tangguh (Cohen *et al.*, 2018). Verma *et al.* (2023) lebih lanjut mengatakan bahwa aquaponik telah menggeser tren penelitian dari optimalisasi kinerja sistem untuk diadopsi dalam bidang kelautan, saline, dan pengelolaan nutrisi menuju upaya mengatasi tantangan seperti kelangkaan air tawar, menipisnya sumber daya laut, salinisasi, dan kekurangan nutrisi untuk tanaman melalui pendekatan ponik dan mengatasi tantangan global dalam hal pangan.

Faktor penting dalam penerapan budidaya ikan dengan system akuaponik adalah kualitas air dan pakan. Mengingat ikan hanya dapat hidup dan tumbuh apabila kualitas air baik dan cukup makanan. Sisa makanan dan kotoran, setelah di dekomposisi oleh bakteri nitrifikasi menjadi nitrat, dapat dimanfaatkan oleh tanaman; sisa nutrient akan kembali ke air budidaya, dimanfaatkan oleh fitoplankton. Kualitas air yang penting untuk diperhatikan

adalah; kandungan oksigen terlarut, suhu, pH, hardnes, ammonia, nitrit, nitrat sebagai hasil proses nitrifikasi, dan fitoplankton (Tabel 1).

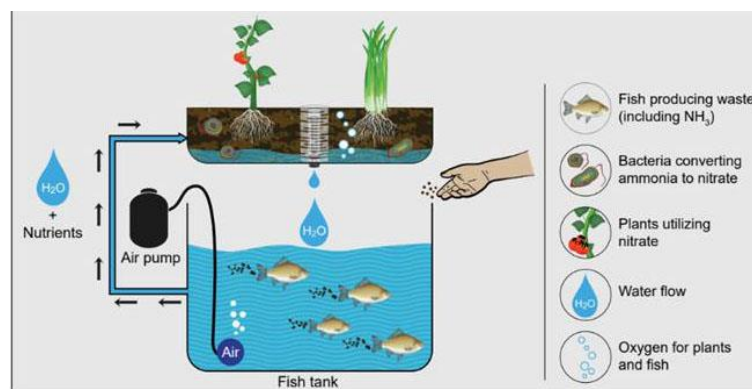
Tabel 1. Beberapa Parameter Kualitas Air Penting dalam Sistem Akuaponik

Parameter Kualitas Air	Kisaran Nilai
pH	6,5 -7,3
Suhu air	20 – 30°C
Oksigen terlarut	4-8 mg/liter
Amonia	0 mg/liter
Nitrit	0 mg/liter
Nitrat	5-150 mg/liter
Hardnes	60-140 mg/liter

Di Indonesia akuaponik telah banyak di kembangkan di berbagai daerah, dalam rangka pemanfaatan lahan marginal di perkotaan, pemberdayaan masyarakat desa, santri dan ketahanan serta kemandirian pangan (Hertika *et al.*, 2021 dan Surur *et al.*, 2021). Rizal *et al.* (2017) menambahkan bahwa di lingkungan perkotaan, akuaponik dapat memenuhi fungsi lain selain produksi pangan. Misalnya, akuaponik dapat berfungsi sebagai alat pendidikan di sekolah, penghijauan dalam ruangan, dan dekorasi pada gedung perkantoran, ruang publik, rumah, dan hotel.

SISTEM AKUAPONIK KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN

Prinsip akuaponik adalah menggabungkan dua teknik utama, akuakultur dan hidroponik dalam satu sirkulasi yang terus menerus. Air budidaya keluar dari bak budidaya ikan yang berisi sisa metabolisme ikan. Pertama-tama air melewati filter mekanis yang menangkap limbah padat, kemudian melewati biofilter yang mengoksidasi amonia menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi. Air kemudian mengalir melalui tempat media tanaman, nutrisi diserap, dan akhirnya air kembali ke dalam bak pemeliharaan ikan. Secara Skematis digambarkan oleh Sommerville *et al.* (2014) (Gambar 1).

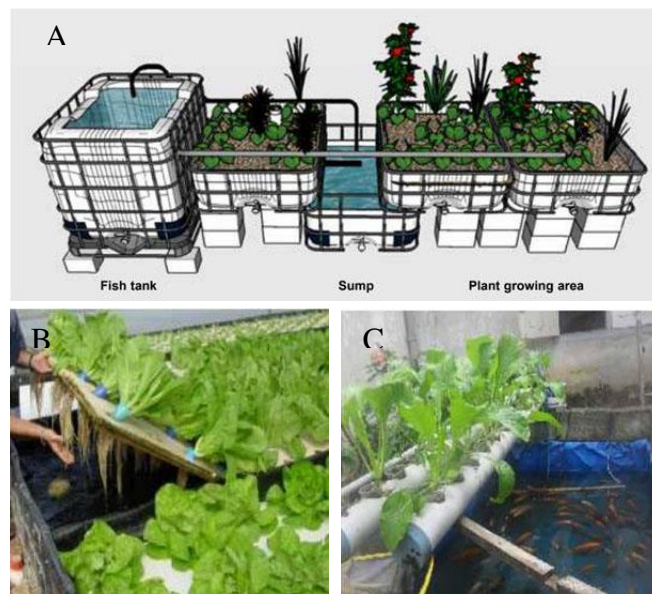


Gambar 1. Prinsip proses dalam akuaponik (Sumber: Sommerville *et al.*, 2014)

Akuaponik memiliki berbagai sistem, tergantung pada ketersediaan lahan dan tujuan pembuatan budidaya ikan dengan sistem akuaponik dengan berbagai variasinya. Beberapa publikasi tentang system akuaponik, menunjukkan beragam istilah antara lain *Media bed technique* (MBT), *Nutrient Film Technique* (NFT) dan *Deep Water Culture Technique* (DWC) atau *Floating Raft Technique* (FRT) (Sommerville *et al.*, 2014). Contoh dari system diatas terdapat pada Gambar 2. Love *et al.* 2015 membuat modifikasi dari akuaponik system sedemikian rupa sehingga bak pemeliharaan ikan dan hidroponik lebih

dari satu unit sehingga berbagai ukuran ikan dan tanaman dapat dilakukan, dan panen lebih teratur dan berkelanjutan. Aslanidou *et al.* (2023) mendemonstrasikan performa nutrient efisiensi dari tiga system akuaponik yaitu hidroponik (HP), *coupled* (CAP) dan *decoupled* (DCAP) akuaponik system. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar fosfor, kalium, dan kalsium 42% lebih tinggi pada perlakuan CAP dibandingkan perlakuan HP dan DCAP. Perlakuan DCAP menunjukkan efisiensi penggunaan nutrient tertinggi dibandingkan HP.

Berbagai ikan seperti Ikan Nila, Mas, Koi, Lele dan udang, serta tanaman sayur seperti kangkung, selada, bayam hijau, bayam merah, cabai, terong, melon, timun dan tomat. Hasil penelitian Ani *et al.* (2022) menggunakan columnar akuaponik biofilter mendapatkan bahwa kepadatan ikan Nila 150 ekor/M³ (17,9g ± 1,7g) dengan kepadatan selada 16/M² memberikan performa pertumbuhan terbaik dibandingkan kepadatan 300 ekor/M³ dan 450/M³. Handayani (2018) juga menyatakan bahwa kepadatan ikan untuk budidaya akuaponik adalah 100-150 ekor/M² untuk ikan Lele, 5-10 ekor/M² untuk ikan Gurameh, 10-20 ekor/M² untuk ikan Mas, dan ikan Nila 100-200 ekor/M². Bosma *et al.* (2018) lebih lanjut mengatakan, bahwa ikan lele disarankan untuk digunakan bagi yang baru mencoba system akuaponik.



Sumber : (A) Sommerville *et al.* (2014), (B) dan (C) Handayani (2018)

Gambar 2: Berbagai system akuaponik. (A) Media Bed Technique, (B) Floating Raft Teknik, (C) Deep Water Technique atau Nutrient Film Technique

Love *et al.* (2015) dalam uji coba akuaponik system raft skala kecil menyatakan bahwa kehilangan air sekitar 1% atau sebesar 35.950 L per tahun. Penggunaan listrik sebesar 19.526 kWh. Kebutuhan listrik terbesar digunakan untuk pemanasan air. Air sebanyak 104 L, 0,5 kg pakan, dan listrik sebesar 56 kWh dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg tanaman sayuran. Air sebanyak 292 , 1,3 kg pakan, dan listrik 159 kWh dibutuhkan untuk menghasilkan peningkatan ikan nila sebesar 1 kg.

Gadek *et al.* (2015) memperbandingkan keuntungan dan kerugian sistem MBT, NFT, DWT, dan sistem tanah dari aspek investasi sistem, biofiltrasi, penyerapan nutrien, pemeliharaan, kebutuhan air, hingga pembiayaan. Setiap sistem memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing dan sangat tergantung pada lokasi dan kondisi tanah yang akan dimanfaatkan.

PRODUKSI DAN NILAI EKONOMIS BUDIDAYA SISTEM AKUAPONIK

Produksi dan produktifitas berbagai sistem budidaya akuaponik tergantung pada beberapa aspek. Salah satu aspeknya adalah rasio ikan dan tumbuhan agar terdapat keseimbangan hara yg diproduksi ikan dan serapan tanaman pada setiap sistem. Endut *et al.* (2010) menemukan bahwa rasio optimal satu ekor ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) untuk delapan tanaman kangkung (*Ipomoea Aquatica*)/M² adalah setara dengan 15–42 gram pakan ikan/hari. Keseimbangan tersebut juga dipengaruhi jenis ikan, komposisi pakan (protein), frekwensi pemberian pakan, sistem akuaponik, jenis sayuran dan kepadatan tanaman.

Diatin *et al.* (2021) memperbandingkan budidaya lele sistem resirkulasi, akuaponik dan bioflok. Hasil studi mendapatkan bahwa budidaya lele sistem akuponik dengan lama pemeliharaan 70 hari di Bogor menunjukkan performa yang sedikit lebih tinggi dari resirkulasi dan bioflock dengan SR sekitar $80.0 \pm 3,1\%$, total produksi lele $4002,0 \pm 4,0$ Kg, produktivitas $167,0 \pm 1,0$ kg/M², total produksi kangkung 2500 ikat, nilai investasi US\$ 436,34. Total pendapatan US\$ 5331,31. Nilai *net present value* (NPV), Benefit cost rasio (BCR) dan Internal rate rasio (IRR) berturut-turut US\$ 5048,36, 12,57, dan 303,48%. Berdasarkan perhitungan diatas, budidaya Lele sistem akuaponik memiliki prospek yang cukup baik, sepanjang keseimbangan produksi dan penyerapan hara dimonitor dengan baik.

Bundi *et al.* (2024) meneliti pengaruh kepadatan dan kecepatan air pada budidaya akuaponik lele (*C. Gariepenus*) dan Azola fern. Kepadatan benih lele usia 11 hari, 1500, 3000, 4500, dan 6000 ekor/M³, sedangkan kecepatan aliran air 0,25, 0,50, 075 dan 1,0 L/menit, dipelihara selama 30 hari. Perlakuan terbaik dicapai pada kepadatan 3245 larva/m³, pertumbuhan harian 3,5% dan kecepatan aliran air 0.87 L/menit. Rekomendasi kepadatan yang menguntungkan adalah 3000 larva/M³ dengan kecepatan aliran air 0,75- 1 L/menit. Lebih lanjut Diema *et al.* (2017) menyimpulkan bahwa dalam sisten akuaponik, resirkulasi air yang tinggi yaitu 200–400% per hari lebih menjamin pertumbuhan yang baik, dan FCR Ikan Nila yang rendah. Sistem akuaponik memiliki debit limbah yang sangat rendah dibandingkan sistem tradisional. Oleh karena itu, akuaponik merupakan sistem yang menjanjikan solusi berkelanjutan yang dapat diterapkan pada skala komersial.

Baßmann *et al.* (2017) dalam studi tentang stress dan kesejahteraan ikan lele dalam berbagai system budidaya mendapatkan bahwa design sistem tidak berpengaruh terhadap kematian ikan dan laju pertumbuhan. Kortisol dan kadar glukosa darah juga tidak berbeda secara signifikan antara kedua sistem. Namun, jumlah ikan yg luka luar signifikan lebih rendah pada aquaponik, membuktikan bahwa budidaya ikan dan tumbuhan memberikan manfaat bagi kesejahteraan ikan. Su´arez-C´aceres *et al.* (2021) melakukan studi aquaponik ikan Nila dan buah-buahan untuk konsumsi sendiri. Hasil studi menunjukkan bahwa tanki ikan 1M³ dan area tanam seluas 4,56M² dapat memproduksi 62 kg ikan dan 352 kg 22 sayuran dan buah-buahan berbeda dan dapat memenuhi kebutuhan empat orang (satu keluarga lengkap) selama satu tahun. Berdasarkan beberapa kajian diatas, dapat disimpulkan bahwa dalam satu bulan setidaknya mendapatkan 2500 benih lele 1-3 cm/M³, dan kangkung 2500 ikat/tahun(Diama *et al.*, 2017). Nilai diatas sangat tinggi jika dibandingkan dengan penelitian skala laboratorium yang dilakukan oleh Andriyani (2024) terhadap ikan nilasa. Kepadatan ikan 20 ekor/liter (rata-2 $2,6 \pm 0,07$ g memberikan pertumbuhan harian $7,32 \pm 0,78\%$, selama 28 hari mendapatkan berat rata-rata $77, 80 \pm 0,08$ g. Sedangkan tanaman kangkung sebesar 109.34 ± 4.86 atau sekitar 3-4 ikat. Nilai tambahan pendapatan rumah tangga dapat mencapai Rp. 100.000 dan Rp. 15,000 per bulan.

KESIMPULAN

Akuaponik adalah merupakan kombuniasi budidaya ikan dan tanaman (sayuran dan buah-buahan) yang ramah lingkungan, dapat memanfaatkan lahan sempit, marginal dan kritis. Skala usaha sistem akuaponik dapat dilakukab secara komersial atau skala kecil, dan terbukti dapat memenuhi kebutuhan harian satu keluarga dalam setahun dengan rasio kolam ikan 1 M³ dan tanaman 4-5 kali lipat. Perluasan rasio kolam ikan dan tanaman akan meningkatkan nilai hara yang dikeluarkan ikan untuk nutrisi tanaman. Pemanfaatan lahan marginal untuk budidaya ikan dan tanaman sistem akuaponik, setidaknya dapat meningkatkan pendapatan rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani, D.A. (2024). Pengaruh padat tebar terhadap pertumbuhan dan kelulushidupan Ikan Nilasa (*Oreochromis niloticus*). Skripsi S1. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.
- Ani, J.B., Manyala, J.O., Masese, F.O., & Fitzsimmons, K. (2022). Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *Aquaculture and Fisheries* 7: 328–335.
- Aslanidou, M., Elvanidi, A., Mourantian, A., Levizou, E., Mente, E.; Katsoulas, N. (2023). Nutrients use efficiency in coupled and decoupled aquaponic systems. *Horticulturae*, 9, 1077. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101077>
- Balai Penelitian Tanah. (2015). Luas lahan marginal di Indonesia. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. <http://sahabatpetani.com/2018/04/13/lahan-marginal-menyimpan-potensi-ketahanan-pangan/>
- Baßmann, B., Matthias Brenner, M., & Palm, H.W. (2017), Stress and welfare of African Catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9 (504), 1-19. <https://doi.org/10.3390/w9070504>
- Bosmaa, R.H., Lacambrab, L., Landstrac, Y., Perinib, Ch., Poulid, J., Marie J. Schwanerd, M.J., & Yin, Y. (2017). The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacultural Engineering*, 78 (2017), 146–154. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.07.002>
- BPS. (2020). Lahan Kritis di Indonesia berdasarkan Provinsi. Badan Pusat Statistik Indonesia. <https://www.bps.go.id>
- Cohena, A., Malonea, S., Morrissa, Z., Weissburgb, M., & Brasa, B. (2018). Combined fish and lettuce cultivation: An aquaponics life cycle assessment. 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 30 April – 2 May 2018, Copenhagen, Denmark. *Procedia CIRP*, 69, 551 – 556. www.elsevier.com/locate/procedia
- Delaidea, B., Delhaya, G., Dermienceb, M., Gottc, J., Soyeurtd, H., & Jijaklia, M. H. (2017). Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquaculture Engineering*, 78, 130-139. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.06.002>
- Diatin, I., Shafruddin, D., Hude, N., Sholihah, M., & Mutsmir, I. (2021). Production performance and financial feasibility analysis of farming catfish (*Clarias gariepinus*) utilizing water exchange system, aquaponic, and biofloc technology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20 (2021), 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.04.001>

- Diema, T.N.T., Dennis Konnerupb, D., & Brix, H. (2017). Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Engineering* 78,95–104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.05.002>
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B., & Hassan, A.(2010) A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 10: 1511–1517.www.elsevier.com/locate/biortech
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K.V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *sustainability*, 7, 4199-4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Handayani, L. (2018). Pemanfaatan lahan sempit dengan sistem budidaya aquaponik. Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian, 118-126. Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah. e-prosiding.umnaw.ac.id
- Hertika, A. M. S., M. Fadjar., S. W. A. Permanasari., & B. A. Nugroho. (2021). Program pemberdayaan PKK melalui program pengembangan sistem akuaponik di Desa Ampeldento, Karangploso, Malang. Riau. *Journal of Empowerment*, 4(2), 83-94. <https://doi.org/10.31258/raje.4.2.83-94>
- Love, D.C., Uhl, M.S., & Genello, L. (2015). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. *Aquacultural Engineering*, 68 : 19-27. www.elsevier.com/locate/aqua-online
- Mugo-Bundi, J., Manyala, J.O., Muchiri, M., & Matoll, G. (2024). Effects of stocking density and water flow rate on performance, water quality and economic benefits of African catfish larvae (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in the aquaponic system integrated with Azolla fern. *Aquaculture*, 579 (740170), 1-13. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740170>
- Rizal, A., Dhahiyat, Y., Zahidah, Andriani, Y., Handaka, A.A. & Sahidin, A. (2017) The economic and social benefits of an aquaponic system for the integrated production of fish and water plants. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 137 (012098): 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/137/1/012098>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., and Lovatelli, L. (2014). *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 289. FAO United Nation, Rome.
- Suárez-Cáceres, G.P., Lobillo-Eguíbar, J., Fernández-Cabanás V.M., Quevedo-Ruiz, F.J., & Pérez-Urrestarazu, L. (2021). Polyculture production of vegetables and red hybrid tilapia for self-consumption by means of micro-scale aquaponic systems. *Aquacultural Engineering* 95 (102181). <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng2021.102121>
- Surur, M.A., Ulwiyah, Saadah, U., Rahmatika, S.D., & Rusmadi. (2021). Akuaponik untuk kemandirian dan ketahanan pangan di Pesantren Al Ishlah Mangkangkulon Semarang. *Indonesian Journal Of Community Services*, 1(3), 606-613.
- Verma, A.K., M.H. Chandrakant, M.H., C.J., Venisza, M.P., Roshan, & J.I., Elizabeth. (2023). Aquaponics as an integrated agri-aquaculture system (IAAS): Emerging trends and future prospects. *Technological Forecasting & Social Change*, 194: 122709. www.elsevier.com/locate/techfore