



Analisis *Closed-Loop Supply Chain* pada Sistem Hidroponik Tanaman Kangkung Berbasis *Biocyclofarming* di Desa Balongsari

Syavita Nur Azzahra¹, Ainur Firdaus^{1✉}, Syahrul Rahmadtulloh Putra Solikin¹, Taswirul Afkar², Nuril Ahmad³, Rahmad Syaiful Ramadhani⁴

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Majapahit, Mojokerto, Indonesia⁽¹⁾

Program Studi Pendidikan Bahasa Indonesia, Fakultas Ilmu Keguruan Pendidikan, Universitas Islam Majapahit, Mojokerto, Indonesia⁽²⁾

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Majapahit, Mojokerto, Indonesia⁽³⁾

Program Studi Ilmu Komunikasi, Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Islam Majapahit, Mojokerto, Indonesia⁽⁴⁾

DOL: 10.31004/jutin.v9i1.53864

✉ Corresponding author:
[afirdaus.2024@unim.ac.id]

Article Info	Abstrak
Kata kunci: <i>Rantai pasok tertutup;</i> <i>Hidroponik;</i> <i>Kangkung;</i> <i>Biocyclofarming;</i> <i>Keberlanjutan</i> Keywords: <i>Closed-Loop Supply Chain;</i> <i>Hydroponics;</i> <i>Water Spinach;</i> <i>Biocyclofarming;</i> <i>Sustainability</i>	Keterbatasan lahan pertanian dan meningkatnya permintaan pangan mendorong penerapan sistem produksi yang efisien dan berkelanjutan. Sistem hidroponik berbasis biocyclofarming menjadi alternatif karena mampu mengoptimalkan pemanfaatan air, nutrisi, dan limbah biologis dalam siklus tertutup. Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan Closed-Loop Supply Chain (CLSC) pada sistem hidroponik tanaman kangkung di Desa Balongsari. Penelitian dilakukan melalui pemetaan aliran rantai pasok, analisis produktivitas tanaman, perhitungan struktur biaya total rantai pasok, serta evaluasi aliran balik limbah biologis sebagai input produksi. Objek penelitian meliputi unit produksi hidroponik kangkung skala lokal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan CLSC mampu mengintegrasikan aliran maju dan balik secara efektif, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta mengurangi limbah sistem. Secara ekonomi, struktur biaya yang teridentifikasi mendukung penetapan harga yang wajar dan keberlanjutan usaha hidroponik. Abstract <i>Limited agricultural land and increasing demand for food have encouraged the implementation of efficient and sustainable production systems. Biocyclofarming-based hydroponic systems are an alternative because they optimise the use of water, nutrients and biological waste in a closed cycle. This study aims to analyse</i>

the application of Closed-Loop Supply Chain (CLSC) in a water spinach hydroponic system in Balongsari Village. The study was conducted through supply chain flow mapping, crop productivity analysis, calculation of total supply chain cost structure, and evaluation of biological waste return flow as production input. The research object included local-scale water spinach hydroponic production units. The results showed that the application of CLSC was able to effectively integrate forward and reverse flows, increase resource use efficiency, and reduce system waste. Economically, the identified cost structure supported fair pricing and the sustainability of hydroponic businesses.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat di kawasan perkotaan telah menimbulkan tekanan serius terhadap ketersediaan lahan produktif di sektor pertanian. Perluasan kawasan permukiman, industri, dan infrastruktur perkotaan telah menyebabkan konversi lahan pertanian menjadi kawasan non-pertanian, yang mengakibatkan berkurangnya luas lahan yang tersedia untuk pertanian. Di sisi lain, pertumbuhan populasi yang terus menerus juga telah memicu peningkatan permintaan pangan, sehingga memerlukan sistem produksi pertanian yang mampu beradaptasi dengan keterbatasan ruang dan sumber daya (Daszkiewicz, 2022).

Situasi ini menuntut pengembangan sistem pertanian yang tidak hanya berorientasi pada peningkatan produksi, tetapi juga pada pemanfaatan sumber daya yang efisien dan keberlanjutan lingkungan. Situasi ini menuntut pengembangan sistem produksi pertanian yang tidak hanya berorientasi pada peningkatan hasil panen, tetapi juga menekankan pemanfaatan sumber daya yang efisien dan keberlanjutan lingkungan. Praktik pertanian konvensional berbasis tanah masih menghadapi berbagai keterbatasan, terutama penggunaan air dan pupuk yang tinggi, serta potensi degradasi lingkungan akibat aliran nutrisi yang tidak terkendali. Praktik pertanian konvensional berbasis tanah masih menghadapi berbagai keterbatasan, seperti konsumsi air dan pupuk yang tinggi serta potensi polusi lingkungan akibat aliran nutrisi yang tidak terkendali, sehingga memerlukan teknologi budidaya alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan penerapan teknologi budidaya alternatif yang dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya sambil mengurangi dampak lingkungan.

Sistem hidroponik telah berkembang sebagai solusi untuk keterbatasan lahan dan air melalui penggunaan larutan nutrisi dengan sirkulasi terkontrol, yang memperkuat sistem budidaya hidroponik yang mendukung bioekonomi dan pertumbuhan pertanian berkelanjutan. Sistem hidroponik secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air karena larutan nutrisi dapat didaur ulang, sekaligus menghasilkan produktivitas kangkung yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem berbasis tanah (Fadhillah et al., 2019). Efisiensi ini semakin ditingkatkan dengan penerapan sistem hidroponik tertutup yang menerapkan mekanisme daur ulang nutrisi dalam siklus terintegrasi, sehingga meminimalkan kehilangan nutrisi dan pelepasan residu kimia ke lingkungan (Çekin & El-, 2025). Penggunaan kembali larutan nutrisi dalam sistem tertutup juga berkontribusi pada peningkatan efisiensi air dan energi serta pengendalian polusi lingkungan. (Fathelrahman et al., 2025).

Kangkung (*Ipomoea aquatica*) merupakan salah satu komoditas sayuran berdaun yang sangat cocok untuk ditanam dalam sistem hidroponik tertutup karena memiliki masa panen yang relatif singkat dan merespons dengan cepat terhadap pengelolaan nutrisi (Rufí-salís et al., 2020). Selain itu, pendekatan budidaya berkelanjutan juga berkembang melalui integrasi sistem *aquaponik* dan *biocyclofarming*, di mana limbah ikan digunakan sebagai sumber nutrisi tanaman dalam ekosistem tertutup. Sayuran berdaun seperti kangkung menunjukkan respons pertumbuhan optimal dalam sistem ini berkat karakteristik fisiologis adaptifnya (Alfatihah et al., 2023), serta mampu menghasilkan pertumbuhan tanaman dan berat yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional (Pratopo & Thoriq, 2021).

Namun, keberhasilan sistem produksi pertanian berkelanjutan tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis budidaya, tetapi juga oleh efektivitas manajemen rantai pasok. Rantai pasok pertanian melibatkan aliran produk, informasi, dan keuangan yang kompleks, sehingga koordinasi yang lemah antara para pemangku kepentingan, terutama dalam pengelolaan aliran balik, berpotensi mengurangi efisiensi keseluruhan sistem (Azzahra et al., 2024). Selain itu, biaya operasional yang tinggi dan kapasitas produksi yang terbatas tetap menjadi tantangan utama dalam pengembangan agribisnis hidroponik (Rashesa et al., 2024). Pendekatan Closed-Loop Supply Chain

(CLSC) adalah strategi manajemen rantai pasok yang menekankan pengurangan limbah dan pemanfaatan kembali sumber daya dalam siklus tertutup, sesuai dengan prinsip-prinsip ekonomi sirkular (Ragany et al., 2021). Dalam konteks Desa Balongsari, integrasi CLSC ke dalam sistem hidroponik kangkung berbasis *biocyclofarming* merupakan strategi yang relevan untuk mendukung produksi pangan berkelanjutan di tingkat lokal. Namun, studi empiris yang secara komprehensif menganalisis aliran masukan produksi, proses budidaya, distribusi hasil panen, dan daur ulang limbah biologis serta informasi pasar dalam kerangka CLSC masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi rantai pasok tertutup dalam sistem hidroponik berbasis *biocyclofarming* untuk budidaya kangkung di Desa Balongsari. Implementasi CLSC dalam sistem pertanian hidroponik skala kecil dianggap mampu meningkatkan keberlanjutan lingkungan sambil memberikan peluang peningkatan nilai ekonomi bagi komunitas pedesaan (Silva et al., 2025). Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada kangkung yang dibudidayakan di Desa Balongsari.

2. METODE

Penelitian ini dimulai dengan pemetaan sistem budidaya kangkung berbasis *biocyclofarming* yang diterapkan di Desa Balongsari. Pemetaan dilakukan untuk mengidentifikasi aliran masukan produksi, proses budidaya, distribusi panen, dan pengelolaan limbah ikan lele dalam kerangka *Closed-Loop Supply Chain*. Data penelitian dikumpulkan melalui observasi langsung di lokasi budidaya, pencatatan masukan dan keluaran produksi, serta wawancara terstruktur dengan aktor rantai pasok yang terlibat. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh gambaran komprehensif tentang karakteristik sistem produksi dan rantai pasok hidroponik kangkung yang menjadi objek penelitian. Tahap pemetaan ini juga mengidentifikasi aliran air dan nutrisi yang berasal dari larutan pupuk stok A dan B, yang dicampurkan ke dalam tangki air tempat budidaya ikan lele, kemudian mengalir ke sistem hidroponik NFT, dan selanjutnya mengalir kembali ke tangki dalam siklus tertutup yang berputar.

Modeling produktivitas kangkung air hidroponik dilakukan dengan mengukur luas tanam efektif, jumlah tanaman, dan hasil panen yang diperoleh dalam setiap siklus budidaya pada sistem hidroponik tertutup. Produktivitas dihitung berdasarkan hasil panen per satuan luas, kemudian dikonversi menjadi produktivitas per siklus dan per tahun menggunakan rumus $Y = kg\ panen \div m^2$ serta $tahun = A \times Y \times n$. Selain itu, penggunaan air dan larutan nutrisi selama proses budidaya dicatat untuk memperoleh indikator efisiensi penggunaan sumber daya, sesuai dengan pendekatan yang digunakan oleh (Srivani et al., 2021). Hasil pemodelan ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem hidroponik tertutup dalam mendukung produktivitas kangkung yang efisien dan berkelanjutan.

Langkah berikutnya adalah memodelkan total *cost supply chain* sistem hidroponik kangkung. Pada tahap ini, semua komponen biaya diidentifikasi dan dikelompokkan dari hulu ke hilir, termasuk biaya produksi, pasca panen, pengemasan, distribusi, penyimpanan, pemasaran, dan biaya *overhead*. Total biaya rantai pasok dihitung menggunakan persamaan $TC = C_{prod} + C_{pack} + C_{trans} + C_{storage} + C_{marketing} + C_{cover}$, kemudian dikonversi menjadi biaya per kilogram kangkung yang dijual menggunakan rumus $TC_{per\ kg} = TC \div Q_{terjual}$, sebagaimana disebutkan oleh (Harahap et al., 2024). Analisis ini bertujuan untuk menggambarkan struktur biaya secara komprehensif dan mengidentifikasi komponen biaya yang paling mempengaruhi efisiensi sistem.

Pemodelan *closed-loop supply chain* dilakukan dengan memetakan simpul dan aliran dalam rantai pasok, yang meliputi aliran maju dan aliran balik. Aliran maju mencakup distribusi bahan baku produksi ke unit hidroponik, proses budidaya, dan distribusi produk ke pengecer dan konsumen akhir. Sementara itu, aliran balik meliputi produk yang tidak terjual, sisa panen, dan limbah organik, yang kemudian dikirim ke unit pengolahan untuk digunakan kembali sebagai masukan atau produk turunan dalam sistem *biocyclofarming*. Parameter utama yang dianalisis meliputi tingkat pengembalian produk, tingkat penggunaan kembali, dan biaya logistik balik. Hasil analisis ini digunakan untuk mengembangkan model jaringan CLSC yang berorientasi pada minimisasi biaya total dan pengurangan limbah.

Tahap akhir penelitian adalah pemodelan manajemen harga (*pricing management*). Pada tahap ini, hasil perhitungan biaya per kilogram digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan skema harga produk kangkung hidroponik di berbagai saluran pemasaran. Model penetapan harga dikembangkan menggunakan pendekatan *cost-plus*, dengan mempertimbangkan margin keuntungan, posisi produk hidroponik sebagai produk berkelanjutan, dan perbedaan karakteristik penetapan harga antar saluran distribusi, termasuk penjualan langsung kepada konsumen, penjualan ritel, dan penjualan melalui mitra bisnis. Tahap ini bertujuan untuk

menghasilkan strategi penetapan harga yang secara ekonomi layak dan mendukung keberlanjutan sistem hidroponik berbasis rantai pasok tertutup di Desa Balongsari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Rantai Pasok Sistem Hidroponik Kangkung

Implementasi Rantai Pasok Berputar Tertutup (CLSC) dalam sistem hidroponik berbasis biocyclofarming di Desa Balongsari dianalisis menggunakan data rantai pasok yang disajikan dalam Tabel 1. Data ini menggambarkan aliran pengadaan bahan baku, proses produksi, distribusi panen, dan aliran balik dalam sistem tertutup.

Tabel 1. Data Rantai Pasok untuk Sistem Hidroponik Kangkung

Tahapan Rantai Pasok	Komponen	Sumber/Keterangan
Pembelian bahan baku	Benih kangkung	Toko pertanian lokal
Pembelian bahan baku	Campuran nutrisi AB	Distributor nutrisi
Pembelian bahan baku	Nutrisi biologis tambahan	Sisa-sisa biocyclofarming
Pembibitan	Media semai	Rockwool dan nampah bibit
Produksi	Sistem penanaman	Hidroponik tertutup (daur ulang nutrisi)
Produksi	Air dan larutan nutrisi	Didaur ulang dalam sistem
Panen	Kangkung segar	Produk utama
Distribusi	Saluran pemasaran	Konsumen lokal dan pedagang sayur
Aliran balik	Residu dan informasi pasar	Digunakan untuk siklus berikutnya

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa sistem produksi tidak hanya bergantung pada aliran satu arah dari input ke output, tetapi juga melibatkan daur ulang limbah biologis dan informasi pasar. Pola ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular, di mana limbah dari satu proses digunakan kembali sebagai sumber daya untuk proses lain (Nattassha et al., 2020). Selain itu, pengadaan input dari pemasok lokal memperpendek rantai pasok dan meningkatkan efisiensi distribusi dalam sistem pertanian berbasis komunitas.

Penggunaan limbah biologis sebagai nutrisi tambahan menunjukkan upaya untuk memulihkan dan mendaur ulang nutrisi dalam sistem produksi. Pemulihan nutrisi merupakan unsur penting dalam rantai pasok tertutup karena mengurangi ketergantungan pada masukan eksternal dan memitigasi dampak lingkungan (Casey et al., 2022).

Analisis Life Time Produksi Kangkung Hidroponik

Life Time Produksi merupakan salah satu indikator penting dalam menilai efektivitas implementasi CLSC, karena berkaitan dengan kecepatan perputaran sumber daya dan produk dalam sistem. Berdasarkan data rantai pasok, identifikasi waktu produksi sayur bayam air hidroponik dari bibit hingga panen disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Identifikasi Siklus Hidup Produksi Kangkung Hidroponik

Tahapan Produksi	Aktivitas	Waktu
Pembibitan	Penyemaian benih hingga siap tanam	5-7 hari
Pindah tanam	Pembibitan bibit ke instalasi hidroponik	± 1 hari
Pertumbuhan	Pemeliharaan dan resirkulasi nutrisi	14 hari
Panen	Kangkung siap konsumsi	Hari ke 20-25
Total Life Time	Residu dan informasi pasar	± 21-25 hari

Siklus produksi yang relatif singkat menunjukkan bahwa kangkung air merupakan komoditas yang sangat cocok untuk sistem hidroponik tertutup. Sayuran berdaun seperti kangkung air memiliki siklus pertumbuhan yang singkat dan responsif terhadap manajemen nutrisi, menjadikannya ideal untuk sistem budidaya tertutup (Ragany et al., 2021). Siklus produksi yang cepat juga memungkinkan pergantian produksi yang lebih sering, sehingga meningkatkan efisiensi rantai pasokan.

Selain itu, sistem hidroponik tertutup memungkinkan larutan nutrisi yang tidak diserap oleh tanaman untuk didaur ulang selama fase pertumbuhan. Penggunaan kembali larutan nutrisi ini berkontribusi pada efisiensi air dan energi serta mengurangi kehilangan nutrisi ke lingkungan (Fathelrahman et al., 2025).

Analisis Struktur Biaya Rantai Pasok Sayur Kangkung Hidroponik

1. Harga Komponen Masukan (Desember 2025))

Berikut adalah data pembelian dan perkiraan biaya rantai pasok sistem hidroponik sayur bayam air di wilayah Mojokerto (2025), mulai dari pengadaan bahan baku hingga aliran balik, berdasarkan harga pasar terbaru yang ditemukan secara online (harga aktual di pasar/desa pertanian mungkin sedikit berbeda):

Tabel 3. Data Harga Komponen Rantai Pasok Kangkung Hidroponik

Komponen	Perkiraan Harga
Benih kangkung (250-1.000 biji)	Rp1.750-Rp10.000/kemasan
Campuran nutrisi AB (1 L)	Rp105.000-Rp148.000/5 L (~Rp30.000 per L)
Media tanam (Rockwool/Hydroton)	Rp10.000-Rp20.000/1-5 L
Air dan listrik	±Rp20.000 per siklus (estimasi operasional: pompa + air)
Kemasan per siklus (kemasan plastik)	± Rp5.000
Transportasi lokal	
Biaya pemasaran/biaya overhead	± Rp5.000

Tabel perkiraan harga komponen input menunjukkan perkiraan biaya yang dikeluarkan dalam satu siklus produksi kangkung air hidroponik berdasarkan harga pasar di wilayah Mojokerto pada tahun 2025. Komponen biaya meliputi benih kangkung, nutrisi AB mix, media tanam, penggunaan air dan listrik, pengemasan, transportasi lokal, serta biaya pemasaran dan overhead. Perkiraan harga disusun berdasarkan kisaran harga yang umum ditemukan di toko-toko pertanian dan pasar, sehingga mencerminkan biaya operasional nyata sistem hidroponik skala kecil hingga menengah. Data ini digunakan sebagai dasar untuk analisis struktur biaya dan perhitungan biaya per kilogram dalam pembahasan berikut.

2. Data Pembelian untuk 1 Siklus Produksi

A. Pengadaan Input

Tabel 4 menampilkan data mengenai pembelian bahan baku yang diperlukan untuk satu siklus produksi kangkung air hidroponik. Bahan baku yang tercatat meliputi bahan utama dan pendukung seperti benih, nutrisi, dan media tanam yang digunakan mulai dari tahap perkecambahan hingga tanaman dipindahkan ke sistem hidroponik.

Tabel 4. Data Pembelian Input

Barang	Jumlah	Harga Satuan	Total
Bibit kangkung	1 kemasan	Rp3.000	Rp3.000
Nutrisi AB Mix	2 L	Rp30.000/L	Rp60.000
Spons (media semai)	1 set	Rp5.000	Rp5.000
Net pot	1 set	Rp3.000	Rp3.000
Kain flannel	1 set	Rp2.000	Rp2.000
Total (C_{prod})			Rp73.000

Berdasarkan Tabel 4, total biaya pengadaan bahan baku (C_{Prod}) yang dikeluarkan dalam satu siklus produksi adalah Rp73.000. Biaya terbesar berasal dari pembelian nutrisi AB Mix, yang merupakan komponen penting dalam pertumbuhan tanaman hidroponik.

B. Produksi dan Operasional

Tabel 5 menunjukkan perkiraan biaya produksi dan operasional yang dikeluarkan selama satu siklus produksi. Biaya-biaya ini mencakup air bersih, listrik, dan kegiatan pemeliharaan tanaman selama periode pertumbuhan.

Tabel 5. Data Produksi dan Operasional

Komponen	Estimasi	Total
Air bersih dan listrik	Per siklus	Rp20.000
Pemeliharaan	Per siklus	Rp15.000
Total (C_{operasi})		Rp15.000

Berdasarkan tabel, total biaya pasca panen dan distribusi mencapai Rp20.000 per siklus produksi. Biaya transportasi merupakan komponen terbesar karena langsung terkait dengan distribusi produk ke pasar atau konsumen.

C. Pasca Panen dan Distribusi

Tabel 7 menunjukkan perkiraan Biaya Reverse Logistics yang terkait dengan pengelolaan limbah dan pemanfaatan kembali sisa nutrisi dalam sistem hidroponik berbasis rantai pasok tertutup.

Tabel 6. Data Pasca Panen dan Distribusi

Komponen	Estimasi	Total
Kemasan	Per siklus	Rp20.000
Transpotasi	Per siklus	Rp15.000
Total (C_{operasi})		Rp15.000

Berdasarkan tabel, total biaya pasca panen dan distribusi mencapai Rp20.000 per siklus produksi. Biaya transportasi merupakan komponen terbesar karena langsung terkait dengan distribusi produk ke pasar atau konsumen.

D. Biaya Reverse Logistics

Tabel 7 menunjukkan perkiraan Biaya Reverse Logistics yang terkait dengan pengelolaan limbah dan pemanfaatan kembali sisa nutrisi dalam sistem hidroponik berbasis rantai pasok tertutup.

Tabel 7. Data Biaya Reverse Logistics

Komponen	Estimasi
Pengolahan Residu	Rp2.000
Pemanfaatan Nutrisi Sisa	Rp3.000
Total	Rp5.000

Biaya logistik balik total yang dikeluarkan adalah Rp5.000 per siklus. Biaya ini relatif kecil namun memainkan peran penting dalam mendukung konsep keberlanjutan dan efisiensi sumber daya.

E. Perhitungan Biaya Total (TC) per Siklus

Biaya total (TC) dihitung untuk menentukan total biaya yang dikeluarkan dalam satu siklus produksi sayur bayam air hidroponik, mulai dari pengadaan bahan baku dan operasional hingga pasca panen dan logistik balik. $TC = C_{prod} + C_{pack} + C_{trans} + C_{storage} + C_{marketing} + C_{cover}$

Substitusi nilai:

$$TC = Rp73.000 + Rp35.000 + Rp5.000 + Rp10.000 + Rp5.000 + Rp5.000 = Rp133.000$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total biaya yang dikeluarkan dalam satu siklus produksi adalah Rp133.000. Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung biaya per kilogram produk yang dijual.

F. Biaya Per Kilogram Kangkung yang Dijual

Perhitungan biaya per kilogram bayam air dilakukan untuk menentukan biaya produksi yang harus ditanggung untuk setiap unit berat produk yang dihasilkan. Perhitungan ini penting sebagai dasar untuk menentukan harga jual dan menganalisis kelayakan budidaya hidroponik.

$$TC_{per\ kg} = TC \div Q_{terjual} = Rp133.000 \div 1,5\ kg = Rp88.667/kg$$

Berdasarkan hasil perhitungan, biaya produksi per kilogram kangkung yang dijual adalah £88.667/kg

dengan total produksi 1,5 kg per siklus. Nilai ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan harga jual agar bisnis tetap menguntungkan.



Gambar 1. Penanaman Bibit Kangkung ke Hidroponik NFT

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan Closed-Loop Supply Chain (CLSC) pada sistem hidroponik kangkung berbasis biocyclofarming di Desa Balongsari menunjukkan kinerja yang cukup baik dari sisi teknis maupun ekonomi. Siklus produksi kangkung yang relatif singkat, yaitu sekitar 21–25 hari, memungkinkan proses budidaya berlangsung secara berkelanjutan dengan perputaran produksi yang cepat. Dari aspek biaya, total biaya produksi yang dikeluarkan dalam satu siklus mencapai Rp133.000 dengan biaya produksi sebesar Rp88.667 per kilogram hasil panen, yang masih tergolong kompetitif untuk skala usaha hidroponik lokal. Selain itu, pemanfaatan kembali sisa nutrisi dan limbah biologis sebagai bagian dari aliran balik rantai pasok dapat dilakukan dengan biaya yang relatif rendah, yaitu sekitar Rp5.000 per siklus. Kondisi ini menunjukkan bahwa integrasi aliran maju dan aliran balik dalam sistem CLSC mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus mengurangi potensi limbah, sehingga mendukung keberlanjutan sistem hidroponik di tingkat desa.

4. KESIMPULAN

Penerapan rantai pasok tertutup dalam sistem hidroponik bayam air berbasis biocyclofarming di Desa Balongsari telah berhasil mengintegrasikan seluruh rantai pasok, mulai dari pengadaan bahan baku, proses produksi, distribusi hasil panen, hingga daur ulang limbah biologis dalam siklus tertutup. Sistem ini menunjukkan bahwa bayam air merupakan komoditas yang cocok untuk hidroponik tertutup karena memiliki siklus produksi yang singkat dan responsif terhadap manajemen nutrisi. Pemanfaatan umpan balik berupa sisa nutrisi dan sisa biologis berkontribusi pada efisiensi penggunaan sumber daya dan pengurangan limbah, sehingga mendukung prinsip keberlanjutan lingkungan. Dari perspektif ekonomi, struktur biaya rantai pasok yang diidentifikasi menjadi dasar untuk menetapkan harga yang wajar dan mendukung keberlanjutan usaha hidroponik skala lokal. Oleh karena itu, implementasi CLSC dalam sistem hidroponik berbasis biocyclofarming berpotensi menjadi model efektif untuk pengelolaan produksi pangan berkelanjutan di tingkat desa.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Ilmu Pengetahuan, dan Teknologi atas dukungan finansial melalui Program Pengabdian kepada Masyarakat oleh BEM (PM-BEM) Tahun Anggaran 2025, yang telah memungkinkan kegiatan ini dilaksanakan dengan sukses. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ms. Chindy Alvionita Bana Pah, seorang mahasiswa senior, atas bimbingan dan dukungannya dalam penulisan jurnal ini.

6. REFERENSI

- Alfatihah, A., Latuconsina, H., Prasetyo, H. D., Biologi, P. S., & Malang, U. I. (2023). Pertumbuhan Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans* Poir) dan Pakcoy (*Brassica rapa* Linnaeus) pada Sistem Budidaya Akuaponik. *Riset Perikanan dan Kelautan*, 5(2), 88–97.
- Azzahra, S. F., Kalista, M. M., & Kamila, F. T. (2024). Analisis Manajemen Rantai Pasok Sayuran Kangkung

- Hidroponik RH Farm Bogor. *Manajemen dan Bisnis Ekonomi*, 2(3).
- Casey, L., Freeman, B., Francis, K., Brychkova, G., Mckeown, P., Spillane, C., Bezrukov, A., Zaworotko, M., & Styles, D. (2022). Comparative environmental footprints of lettuce supplied by hydroponic controlled-environment agriculture and field-based supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 369(July), 133214. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133214>
- Çekin, D., & El-, H. (2025). Assessing Closed Hydroponic Subsystems for Batavia Lettuce Growth Under Different Planting Densities. *World Water Policy*, 427–438. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12259>
- Daszkiewicz, T. (2022). Food Production in the Context of Global Developmental Challenges. *MDPI*.
- Fadhillah, R. H., Dwiratna, S., & Amaru, K. (2019). Kinerja Sistem Fertigasi Rakit Apung Pada Budi Daya Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans* Poir.). *Pertanian Tropik*, 6(2), 165–179.
- Fathelrahman, E., Osman, R., Haris, S., & Maraqa, M. (2025). Life cycle assessment of open and closed hydroponic systems for vegetable (tomato and cucumber) production in arid lands. *Journal of Cleaner Production*, 534(January), 146920. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146920>
- Harahap, G., Hernosa, S. P., Lubis, M. M., & Permatasari, E. (2024). BUSINESS ANALYSIS AND VEGETABLE HYDROPONIC Analisis Usaha Dan Pemasaran Sayuran Hidroponik. *AGRISSEP: Kajian Masalah Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 23(1), 145–162. <https://doi.org/10.31186/jagrisep.23.01.145-162>
- Nattassha, R., Handayati, Y., Simatupang, T. M., & Siallagan, M. (2020). Understanding circular economy implementation in the agri - food supply chain: the case of an Indonesian organic fertiliser producer. *Agriculture & Food Security*, 1–17. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00264-8>
- Pratopo, L. H., & Thoriq, A. (2021). Produksi Tanaman Kangkung dan Ikan Lele dengan Sistem Akuaponik. *Ilmiah Pertanian*, 9(1).
- Ragany, M., Haggag, M., & El-dakhkhni, W. (2021). Closed-loop agriculture systems meta-research using text mining. *Frontiers in Sustainable Food System*.
- Rashesa, A. P., Sihombing, I. D., Fauziah, N., Maulida, S. N., & Padang, T. A. (2024). Analisis Jaringan Rantai Pasok Sayuran Pakcoy Hidroponik untuk Peningkatan Pendapatan. *Bisnis Kreatif dan Inovatif*, 1(2).
- Rufi-salís, M., Parada, F., Arcas-pilz, V., & Petit-boix, A. (2020). Closed-Loop Crop Cascade to Optimize Nutrient Flows and Grow Low-Impact Vegetables in Cities. *Jurnal of Frontiers in Plant Science*, 11(November), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.596550>
- Silva, L., Martinez-cordero, F. J., Baganz, G., Baganz, D., Hernández-pérez, A., Coronado, E., & Portella, M. C. (2025). Advancing Circularity in Small-Scale Rural Aquaponics: Potential Routes and Research Needs. *MDPI*, 1–30.
- Srivani, P., R, Y. D. C., & Manjula, S. H. (2021). INFLUENCE OF GROWTH PARAMETERS ON THE CROP YIELD PERFORMANCE OF HYDROPONIC SPINACH (*SPINACIA OLERACEA* L .) USING CORRELATION AND REGRESSION MODELS. *Journal of Engineering Science and Tecnology*, 16(6), 4766–4778.