



PRODUCTION RISK MITIGATION IN HYDROPONIC VEGETABLE FARMING FOR NOVICE FARMERS USING THE HOUSE OF RISK MODEL AND FUZZY LOGIC APPROACH

MITIGASI RISIKO PRODUKSI DALAM BUDIDAYA SAYURAN HIDROPONIK BAGI PETANI PEMULA MENGGUNAKAN MODEL HOUSE OF RISK DAN PENDEKATAN LOGIKA FUZZY

Neng Rika Lisdayanti Nurrohamah¹, Ivonne Ayesha², Widhi Netraning Pertiwi³

Program Studi Argibisnis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Bandung

E-mail: rikalisdayanti04@gmail.com¹, drivonneayasha@gmail.com², widhi@umbandung.ac.id³

ARTICLE INFO

Correspondent

Neng Rika Lisdayanti
Nurrohamah

rikalisdayanti04@gmail.com

key words:

production risk mitigation,
hydroponic vegetables,
novice farmers, House of
Risk, Logic Fuzzy-ARN

Website:

<https://idm.or.id/JSER/index.php/JSER>

Page: 804 – 824

ABSTRACT

This study aims to identify and analyze production risks and formulate effective mitigation strategies in hydroponic vegetable farming carried out by a novice farmer (FL). A mixed-method approach was employed, involving qualitative methods to identify and categorize risks, and quantitative methods to measure risk levels and determine mitigation priorities using HOR Phase 1 and 2 methods and the Fuzzy-Logic ARN approach. Data collection was also supported by descriptive methods and field observations to gain a comprehensive understanding of production conditions. The study identified 16 risk events and 27 risk causes in the production process. The highest risk was indicated by an ARP value of 648, signifying a high urgency for mitigation. Based on FARN analysis, two major risks were identified: suboptimal plant growth (E5) and plant wilting (E7), each with a value of 0.75. Other risks, such as dropped seeds during planting, leaf damage, and disrupted nutrient flow, had moderate values (± 0.5) and still require anticipation. Early-stage risks like failed germination (0.25) and seedling etiolation (0.08), although classified as low, also demand mitigation measures. Pareto diagram analysis revealed that 55% of total production risks stemmed from three main causes: inadequate greenhouse conditions (A8) contributing 21%, particularly regarding temperature, humidity, and air circulation; pest and disease attacks (A9) accounting for 19%, highlighting the need for improved preventive actions; and hasty handling when lifting seedling trays (A4) with a contribution of 15%, reflecting the need for worker training and standardized operating procedures. Based on these analyses, eleven mitigation strategies were formulated focusing on priority risk causes, considering the effectiveness of actions in reducing risk impact. These findings are expected to serve as a reference for systematic, adaptive, and data-driven risk management in small- to medium-scale hydroponic farming.

Copyright © 2025 JSER. All rights reserved.

INFO ARTIKEL

Koresponden

**Neng Rika Lisdayanti
Nurrohamah**

rikalisdayanti04@gmail.com

Kata kunci:

**mitigasi risiko produksi,
sayuran hidroponik,
petani pemula, House of
Risk, Logic Fuzzy-ARN**

Website:

<https://idm.or.id/JSER/index.php/JSER>

Hal: 804 – 824

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis risiko produksi serta merumuskan strategi mitigasi yang efektif pada usaha sayuran hidroponik oleh petani pemula (FL). Pendekatan yang digunakan adalah metode campuran, yakni pendekatan kualitatif untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan risiko, serta pendekatan kuantitatif untuk mengukur tingkat risiko dan menentukan prioritas mitigasi menggunakan metode HOR fase 1 dan 2 serta Logic Fuzzy-ARN. Pengumpulan data juga dilengkapi dengan metode deskriptif dan observasi lapangan guna memahami kondisi produksi secara menyeluruh. Hasil penelitian mengidentifikasi 16 kejadian risiko dan 27 penyebab risiko dalam proses produksi. Risiko tertinggi ditunjukkan oleh nilai ARP sebesar 648, yang menandakan tingkat urgensi tinggi untuk penanganan. Hasil FARN, terdapat dua risiko utama: pertumbuhan tanaman yang tidak optimal (E5) dan tanaman layu (E7), masing-masing dengan nilai 0,75. Risiko lain seperti benih jatuh saat tanam, daun rusak, dan gangguan aliran nutrisi memiliki nilai sedang ($\pm 0,5$) dan tetap perlu diantisipasi. Risiko awal seperti gagal kecambah (0,25) dan etiolasi benih (0,08) meskipun tergolong rendah, tetap memerlukan mitigasi. Analisis diagram Pareto menunjukkan bahwa 55% dari total risiko bersumber dari tiga penyebab utama, yaitu: kondisi greenhouse yang kurang memadai (A8) dengan kontribusi 21%, khususnya terkait suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara; serangan hama dan penyakit (A9) sebesar 19%, yang menuntut peningkatan tindakan preventif; serta tindakan terburu-buru saat mengangkat seedling tray (A4) sebesar 15%, yang mencerminkan perlunya pelatihan dan standarisasi prosedur kerja. Berdasarkan analisis tersebut, dirumuskan sebelas strategi mitigasi yang fokus pada penyebab risiko prioritas, dengan mempertimbangkan efektivitas tindakan dalam menurunkan dampak risiko. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengelolaan risiko pada budidaya hidroponik skala kecil-menengah secara sistematis, adaptif, dan berbasis data.

Copyright © 2025 JSER. All rights reserved.

PENDAHULUAN

Risiko merupakan elemen yang tidak terpisahkan dalam setiap aktivitas usaha, termasuk dalam sektor agribisnis. Sebagai suatu sistem yang melibatkan proses kompleks mulai dari produksi hingga pemasaran, agribisnis sangat rentan terhadap berbagai jenis risiko, baik yang bersifat teknis, lingkungan, maupun manajerial. Salah satu inovasi dalam sistem budidaya yang semakin berkembang saat ini adalah teknik hidroponik. Hidroponik merupakan metode budidaya tanaman tanpa menggunakan media tanah, melainkan memanfaatkan air yang telah diperkaya dengan nutrisi sebagai media tumbuh. Berbagai media tanam seperti *rockwool*, *expanded clay*, sabut kelapa, perlite, vermikulit, dan serat kayu kerap digunakan dalam sistem ini (Nguyen *et al.*, 2016).

Meskipun hidroponik menawarkan sejumlah keunggulan seperti efisiensi penggunaan lahan, kontrol hama yang lebih baik, serta kualitas hasil panen yang tinggi dan seragam, teknik ini tetap memiliki berbagai potensi risiko. Ketergantungan yang tinggi terhadap sistem buatan manusia, seperti pengaturan pH, suhu, serta komposisi larutan nutrisi, menjadikan hidroponik sangat sensitif terhadap gangguan. Ketidakpastian cuaca juga berpengaruh, misalnya curah hujan tinggi dapat menyebabkan perubahan nilai pH larutan, yang berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman (Hanafi, 2020). Meskipun risiko penyakit yang ditularkan melalui tanah dapat diminimalisasi, hama dan patogen tetap bisa menyebar melalui air, dan jika tidak ditangani dengan cepat, dapat menimbulkan kerugian yang signifikan (Siregar, 2021). Selain itu, kualitas input seperti benih dan nutrisi memiliki pengaruh besar terhadap hasil panen. Input berkualitas rendah dapat menurunkan produktivitas dan berujung pada kerugian finansial (Putra, 2019).

Dari sisi operasional, sistem hidroponik memiliki ketergantungan tinggi terhadap pasokan listrik, yang apabila terganggu, dapat menyebabkan terhentinya sirkulasi nutrisi dan mengakibatkan tanaman mengalami stres atau kekurangan unsur hara (Hanafi, 2020). Selain itu, biaya investasi awal yang cukup tinggi menjadi tantangan tersendiri bagi petani pemula. Sistem ini juga membutuhkan pemantauan dan pemeliharaan intensif, karena kesalahan kecil dalam pengaturan nutrisi, pH, atau debit aliran air dapat berdampak besar terhadap kelangsungan hidup tanaman (Putra, 2019).

Salah satu pelaku usaha hidroponik yang sedang berkembang adalah FL (inisial dari Faras Lingga), yang berlokasi di Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung. Usaha hidroponik FL memproduksi berbagai jenis sayuran hijau segar seperti caisim, romaine, selada, dan pakcoy menggunakan sistem NFT (*Nutrient Film Technique*). Sistem ini mengalirkan larutan nutrisi dalam lapisan tipis, setinggi ± 3 mm, di bagian bawah akar tanaman yang ditanam dalam talang atau pipa PVC. Aliran ini didukung oleh pompa listrik untuk menjaga sirkulasi larutan secara konstan (Wati & Sholihah, 2021).

Usaha ini baru mulai dijalankan sejak Juni 2024, dengan bermodalkan sebidang lahan dan investasi awal. Dengan usia usaha yang baru menginjak empat bulan, FL termasuk dalam kategori petani pemula, yang masih dalam tahap pembelajaran dan adaptasi terhadap sistem produksi hidroponik. Pengetahuan dan keterampilan FL diperoleh secara otodidak melalui literatur dan artikel ilmiah, tanpa bimbingan teknis langsung. Keterbatasan pengalaman ini berpotensi menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan, seperti dalam pemilihan varietas tanaman, perhitungan dosis nutrisi, atau penanganan gangguan hama dan penyakit secara efektif.

Berbagai risiko produksi yang dihadapi FL mencakup aspek kuantitas, kualitas, dan kontinuitas hasil panen. Risiko teknis yang cukup signifikan terjadi akibat buruknya sirkulasi udara dalam greenhouse, di mana perbedaan suhu dalam dan luar ruangan dapat mencapai 10°C . Ketidakseimbangan suhu ini rentan memicu pertumbuhan jamur dan penyakit tanaman. Risiko lainnya muncul dari proses panen yang tidak tepat waktu, di mana ketidaktepatan pekerja dalam menentukan masa panen menyebabkan hasil panen tidak sesuai standar ukuran dan kualitas perusahaan. Ketidaksamaan waktu panen juga mengakibatkan ketidakaturan ukuran tanaman dan penurunan mutu hasil panen.

Risiko-risiko tersebut berdampak langsung terhadap keberlanjutan usaha, karena kegagalan dalam mempertahankan kuantitas dan kualitas produksi dapat mengganggu kontinuitas pasokan kepada pelanggan. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi mitigasi

risiko yang sistematis, terstruktur, dan berbasis data untuk menjaga stabilitas dan keberlangsungan usaha hidroponik.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah metode *House of Risk* (HOR), yang dapat membantu mengidentifikasi peristiwa risiko dan menganalisis akar penyebabnya secara terstruktur. Metode ini telah banyak digunakan oleh peneliti sebelumnya terkait dengan penilaian risiko pada berbagai komoditas pertanian maupun non pertanian, di antaranya: Fradinata, *et al* (2022) pada produksi ikan tuna; Ayesha, *et al.* (2023) untuk tanaman tomat beef; Prasetyo *et al.* (2022) untuk *supply chain* sayuran beku; dan Prasetyo, *et al.* (2024) pada tanaman pakcoy.

Namun, dalam praktiknya, banyak variabel risiko yang bersifat tidak pasti dan sulit untuk dikuantifikasi secara tepat. Untuk itu, pendekatan *Fuzzy Logic* dapat digunakan sebagai pelengkap untuk mengakomodasi ketidakpastian dan memberikan penilaian yang lebih fleksibel dalam proses pengambilan keputusan mitigasi. Kombinasi kedua metode ini diharapkan dapat menghasilkan strategi mitigasi risiko yang efektif, aplikatif, dan sesuai dengan konteks petani pemula seperti FL. Sebagaimana pernyataan Safitri, *et al.* (2021), bahwa metode *House of Risk* (HOR) yang dipadukan dengan logika fuzzy menawarkan pendekatan yang efektif untuk manajemen risiko

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **metode campuran (mixed-methods)**, yaitu perpaduan antara pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memperoleh gambaran yang menyeluruh terhadap fenomena yang diteliti. Mustaqim (2016) menyatakan bahwa mixed-methods merupakan metode yang menggabungkan kekuatan dari pendekatan kualitatif dan kuantitatif secara simultan. Dalam konteks penelitian ini, pendekatan kualitatif digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkategorikan risiko produksi, sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur tingkat risiko dan menyusun prioritas strategi mitigasi menggunakan metode *House of Risk* (HOR) dan Logika Fuzzy (Farizqie *et al.*, 2020). Di samping itu, digunakan pula metode deskriptif untuk menggambarkan kondisi aktual di lapangan secara rinci dan sistematis.

Penelitian dilaksanakan di usahatani hidroponik milik Faras Lingga (FL) yang berlokasi di Desa Cincin, Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung. Lokasi ini dipilih secara sengaja (purposive) karena sesuai dengan karakteristik subjek penelitian, yakni petani pemula yang baru memulai usahatani hidroponik. Pemilihan lokasi juga mempertimbangkan kemudahan akses bagi peneliti dalam pengumpulan data. Pengambilan data lapangan dilakukan pada bulan Januari 2025.

Tahapan Analisis: *House of Risk* (HOR)

Metode *House of Risk* yang digunakan dikutip dari Pujawan & Geraldin (2009). Metode ini terbagi menjadi dua fase utama:

1. Fase 1 - Identifikasi dan Prioritas Risiko

Pada fase ini, dilakukan identifikasi kejadian risiko (risk event) dan sumber risiko (risk agent) melalui hasil observasi dan wawancara mendalam. Setiap risk event dinilai tingkat keparahannya (*severity*, Si) dalam skala 1-10, sementara setiap risk agent dinilai berdasarkan kemungkinan terjadinya (*occurrence*, Oj) dengan skala serupa. Hubungan antara risk event dan risk agent diberi bobot menggunakan skala korelasi 0, 1, 3, atau 9.

Selanjutnya dihitung nilai **Aggregate Risk Potential (ARP)** untuk masing-masing risk agent dengan rumus:

$$ARP_j = O \times \sum(S_i \times R_{ij})$$

Keterangan:

- ARP = Potensi Risiko Teragregasi
- O_j = Peluang terjadinya agen risiko
- S_i = Tingkat keparahan kejadian risiko
- R_{ij} = Hubungan antara *risk event* ke- i dan *risk agent* ke- j

Risk agent dengan nilai ARP tertinggi dianggap sebagai prioritas utama untuk ditindaklanjuti pada fase berikutnya.

2. Fase 2 – Penentuan Strategi Mitigasi Prioritas

Langkah-langkah pada fase ini adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan *Risk Agent* dengan Diagram Pareto

Risk agent diurutkan berdasarkan nilai ARP tertinggi menggunakan prinsip 80/20. Artinya, sekitar 20% dari *risk agent* umumnya menyumbang 80% potensi risiko, sehingga perlu mendapat prioritas utama.

2. Identifikasi Tindakan Mitigasi

Tindakan yang relevan diidentifikasi untuk meminimalisir masing-masing *risk agent*. Satu *risk agent* dapat memiliki lebih dari satu tindakan mitigasi.

3. Penilaian Korelasi antara Tindakan dan *Risk Agent*

Setiap tindakan dievaluasi tingkat korelasinya terhadap masing-masing *risk agent* menggunakan skala 0 (tidak berkorelasi), 1 (lemah), 3 (sedang), dan 9 (kuat).

4. Perhitungan Total Efektivitas Tindakan (TEK)

Dihitung menggunakan rumus:

$$TEK = \sum ARP_j \cdot E_{jk}$$

Di mana E_{jk} adalah nilai efektivitas tindakan terhadap *risk agent* ke- j .

5. Penilaian Derajat/Tingkat Kesulitan (Dk)

Tingkat kesulitan dalam menerapkan setiap strategi dinilai dengan skala 3 (mudah), 4 (sedang), dan 5 (sulit).

6. Perhitungan Total Rasio Efektifitas (ETDk)

Digunakan untuk menentukan prioritas strategi mitigasi menggunakan rumus:

$$ETDk = \frac{TEk}{Dk}$$

7. Penyusunan Urutan Prioritas Strategi Mitigasi

Tindakan mitigasi diurutkan berdasarkan nilai ETD tertinggi ke terendah, untuk menentukan strategi yang paling efektif dan realistis diterapkan.

Tahapan Analisis: Logika Fuzzy

Untuk memperkuat pengambilan keputusan dalam kondisi ketidakpastian, diterapkan metode **Logika Fuzzy**, berdasarkan hasil analisis HOR 1, terdiri atas tiga tahapan utama:

1. Fuzzifikasi

Mengubah data numerik dari *severity*, *occurrence*, dan *detection* menjadi data linguistik seperti “rendah”, “sedang”, atau “tinggi” disertai nilai fungsi keanggotaan masing-masing.

2. Evaluasi Aturan (Rule Evaluation)

Menyusun aturan fuzzy berbentuk pernyataan *if-then* yang menghubungkan variabel input dan output untuk mendefinisikan hubungan logis antar faktor risiko.

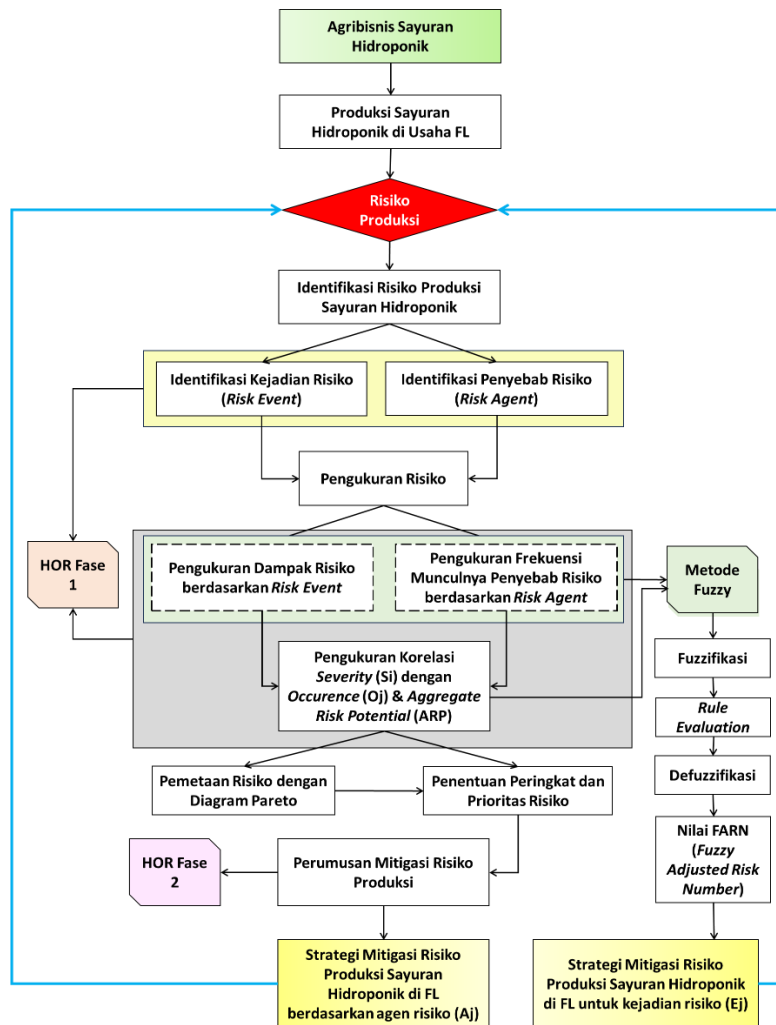
3. Defuzzifikasi

Mengubah hasil evaluasi fuzzy menjadi nilai *crisp* (tunggal) untuk menghasilkan prioritas risiko atau tindakan mitigasi yang bisa diurutkan dan diinterpretasi secara kuantitatif.

Validasi dan Triangulasi

Validasi dilakukan melalui triangulasi data, yaitu membandingkan hasil wawancara, observasi, dan kuesioner untuk memastikan konsistensi informasi. Selain itu, hasil identifikasi risiko dan strategi mitigasi juga dikonsultasikan dengan ahli atau praktisi hidroponik untuk meningkatkan validitas eksternal.

Sebagai gambaran sistematis arah penelitian, kerangka berpikir yang menghubungkan permasalahan, tujuan, metode analisis, dan output strategi mitigasi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Berpikir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

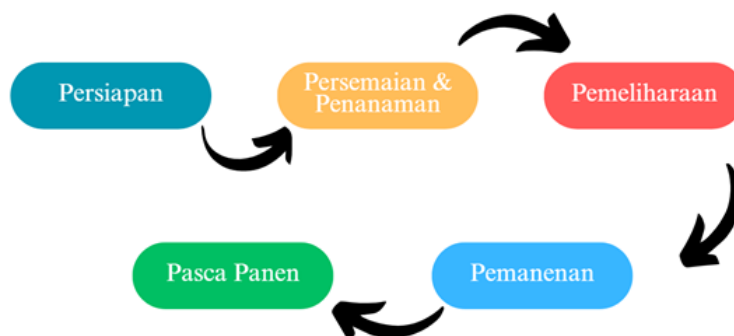
Gambaran Umum Objek Penelitian

Usahatani hidroponik Faras Lingga (FL) merupakan representasi dari tantangan nyata yang dihadapi oleh petani pemula dalam mengelola sistem budidaya sayuran berbasis hidroponik. Didirikan pada Juni 2024 di Desa Cincin, Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung, usaha ini mengadopsi teknik hidroponik jenis NFT (*Nutrient Film Technique*) dalam proses produksinya. Selama masa operasional, FL telah menghadapi berbagai

risiko produksi yang berdampak pada kualitas, kuantitas, dan kontinuitas hasil panen. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada identifikasi, analisis, dan mitigasi risiko tersebut menggunakan metode *House of Risk (HOR)* dan *Fuzzy Logic*.

Aktivitas Usahatani Sayuran Hidroponik di FL

Kegiatan produksi di usahatani FL melibatkan lima tahap utama yang saling berkaitan: persiapan, persemaian dan penanaman, pemeliharaan, pemanenan, dan pasca panen. Urutan kegiatan ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Aktivitas Usahatani Sayuran Hidroponik FL

- 1. Persiapan.** Tahapan awal ini mencakup seluruh aktivitas sebelum proses tanam dimulai, seperti pengecekan instalasi hidroponik, pembersihan tandon dan pipa, serta penyediaan media tanam dan nutrisi. Tujuan dari tahap ini adalah menciptakan kondisi awal yang optimal guna mendukung keberhasilan budidaya tanaman. Namun, tahap ini juga mengandung potensi risiko teknis seperti kebocoran instalasi, residu pestisida atau kontaminan dalam tandon, serta kesalahan dalam komposisi media tanam. Ketidaksigapan dalam mendeteksi masalah sejak awal dapat berdampak pada terganggunya pertumbuhan tanaman di tahap selanjutnya.
- 2. Persemaian dan Penanaman.** Pada tahap ini, benih sayuran disemai menggunakan media *rockwool* berukuran $2,5 \times 2,5$ cm untuk menghasilkan bibit yang sehat dan seragam sebelum dipindahkan ke sistem hidroponik utama. Peremajaan dilakukan pada bibit yang tidak tumbuh optimal atau terserang penyakit, umumnya sebelum transplantasi ke sistem NFT. Risiko utama pada tahap ini mencakup kegagalan benih tumbuh, serangan jamur pada media semai, dan keterlambatan dalam proses peremajaan. Jika tidak ditangani secara cepat, risiko ini dapat menyebabkan keseragaman tanaman terganggu, yang berdampak pada produktivitas keseluruhan.
- 3. Pemeliharaan.** Tahap pemeliharaan mencakup serangkaian aktivitas untuk memastikan tanaman tumbuh optimal hingga masa panen. Aktivitas inti meliputi pengecekan rutin instalasi, pembersihan tandon (kuras), pemantauan pH dan TDS larutan nutrisi, serta pemberian nutrisi yang terukur dan terjadwal. Tahap ini bersifat krusial karena risiko dapat timbul dari perubahan lingkungan seperti fluktuasi suhu dan kelembapan, ketidakseimbangan nutrisi, serta kerusakan komponen sistem yang mengganggu suplai air atau nutrisi. Risiko-risiko ini, jika tidak dimitigasi, dapat menyebabkan stres pada tanaman dan menurunkan kualitas hasil panen.
- 4. Pemanenan.** Tahap ini menandai akhir dari siklus produksi, terdiri dari pengambilan sayuran dari instalasi hidroponik dan proses perompesan (pembersihan daun tua atau rusak). Pemilihan waktu panen yang tepat dan teknik pemanenan yang hati-hati sangat menentukan kualitas hasil akhir. Risiko yang mungkin terjadi meliputi keterlambatan panen yang mengakibatkan penurunan mutu, serta kerusakan fisik

tanaman akibat teknik pemanenan yang tidak tepat. Hal ini berimplikasi langsung terhadap nilai jual dan kepuasan konsumen.

5. **Pascapanen.** Tahap pascapanen bertujuan untuk mempertahankan kualitas dan kesegaran produk sebelum sampai ke tangan konsumen. Aktivitas yang dilakukan mencakup sortasi berdasarkan kualitas, pengemasan menggunakan plastik mikroberlubang untuk sirkulasi udara, dan distribusi ke konsumen akhir atau mitra penjual. Pada tahap ini, risiko utama meliputi kerusakan mekanis selama penanganan, penggunaan kemasan yang tidak sesuai, serta keterlambatan distribusi. Jika tidak diantisipasi, risiko tersebut dapat menurunkan kualitas produk dan menimbulkan kerugian secara ekonomi maupun reputasi usaha.

Karakteristik Responden

Responden dalam penelitian ini terdiri atas responden kunci dan responden pakar yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Teknik ini digunakan untuk menentukan sampel secara sengaja berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian.

Responden kunci adalah seorang laki-laki berusia 20 tahun yang merupakan pemilik dari usaha budidaya hidroponik FL. Berdasarkan riwayat pendidikan, responden telah menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMK Telkom Bandung dan saat ini sedang menempuh pendidikan Strata 1 (S1) di Universitas Pasundan dengan program studi Manajemen Bisnis.

Sementara itu, responden pakar adalah seorang laki-laki berusia 57 tahun yang memiliki pengalaman dan pengetahuan mendalam dalam bidang pertanian, khususnya hidroponik. Pendidikan terakhir yang ditempuh oleh responden pakar adalah jenjang SMA. Meskipun demikian, keikutsertaan responden pakar dalam penelitian ini didasarkan pada pengalaman praktis dan keterlibatannya yang luas dalam pengembangan sistem pertanian hidroponik di tingkat lokal.

Identifikasi Kejadian dan Penyebab Risiko Produksi Sayuran Hidroponik

Budidaya hidroponik oleh FL (Faras Lingga) menghadapi berbagai risiko, seperti kerusakan alat, fluktuasi nutrisi, dan serangan hama, yang umumnya disebabkan oleh kurangnya perawatan, kesalahan teknis, atau cuaca ekstrem. Risiko ini tidak hanya mengganggu produktivitas, tetapi juga berdampak pada reputasi dan kepuasan pelanggan. Misalnya, keterlambatan panen akibat gangguan nutrisi dapat menyebabkan kualitas produk menurun, sehingga tidak memenuhi standar pasar. Dalam konteks ini, pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan menganalisis kejadian dan penyebab risiko menjadi sangat penting. Oleh sebab itu pengelolaan risiko penting untuk menjamin keberlangsungan usahatani (Ayesha, et al., 2023).

Identifikasi dan analisis risiko secara sistematis penting untuk menyusun strategi mitigasi yang tepat (Simaremare *et al.*, 2020), terutama bagi FL yang masih pemula. Dengan memahami titik rawan sejak awal, FL dapat membangun sistem produksi yang lebih stabil dan berkelanjutan.

Penelitian ini mengidentifikasi 16 kejadian risiko (Ei) dan 27 penyebab risiko (Ai) yang tersebar di lima tahapan produksi, mulai dari persemaian hingga pengiriman. Semua risiko telah dikonfirmasi oleh pakar, dan dirangkum dalam Tabel 1 sebagai dasar perumusan strategi mitigasi selanjutnya.

Tabel 1. Kejadian Risiko (*Risk Event*) & Penyebab Risiko (*Risk Agent*)

No	Aktivitas	Kejadian Risiko (<i>Risk Event</i>)	Kode Ei	Penyebab Risiko (<i>Risk Agent</i>)	Kode Ai
1	Penyemaian & Penanaman	• Gagal Kecambah	E1	• Kesalahan dalam proses penyemaian • Penyemaian benih tidak diletakan ditempat yang teduh	Ai A2
		• Benih jatuh saat pindah tanam	E2	• Wadah benih terlalu berat • Terburu-buru ketika mengangkat wadah benih (<i>seedling tray</i>)	A2 A4
		• Banyak benih mengambang saat seleksi	E3	• Benih kadaluarsa	A5
		• Benih mengalami etiolasi	E4	• Benih sayuran rusak • Benih terlambat terkena sinar matahari	A6 A7
2	Pemeliharaan	• Pertumbuhan tanaman terhambat/ tidak optimal	E5	• Kondisi <i>greenhouse</i> yang kurang memadai (suhu, kelembaban, sirkulasi udara)	A8
		• Daun rusak dan berlobang	E6	• Serangan Hama dan Penyakit	A9
		• Tanaman layu	E7	• Instalasi tidak dibersihkan secara rutin setelah panen • Keterbatasan jumlah sdm/pekerja	A10 A11
		• Aliran nutrisi pada instalasi tidak lancar	E8	• Adanya Lumut pada Instalasi • Terdapat daun tanaman yang jatuh kedalam instalasi	A12 A13
3	Pemanenan	• Daun sayuran sobek saat pengambilan	E9	• Kesalahan pekerja saat memanen sayuran dari instalasi	A14
		• Sayuran layu setelah dipanen	E10	• Panen dilakukan pada siang hari/cuaca terlalu panas • Sayuran tidak diletakan di ruang sejuk setelah panen	A15 A16
		• Sayuran dipanen sebelum mencapai umur panen	E11	• Tidak terjadwalnya waktu panen • Ukuran sayuran yang dipanen tidak sama	A17 A18
4	Pengemasan	• Daun sayuran patah ketika dikemas	E12	• Kelalaian pekerja saat memasukan sayuran kedalam keranjang	A19
		• Keranjang retak/pecah	E13	• Menggunakan keranjang dengan harga yang murah	A20
5	Pengiriman	• Sayuran jatuh saat pengiriman	E14	• Kesalahan pekerja saat pengiriman	A21
		• Keterlambatan pengiriman	E15	• Cuaca buruk • Kondisi kendaraan yang kurang baik • Terjadi masalah saat diperjalanan	A22 A23 A24
		• Kerusakan produk selama pengiriman	E16	• Kesalahan dalam proses pengemasan • Kerusakan kemasan (keranjang) • Penanganan produk yang kurang hati-hati	A25 A26 A27

Sumber: Hasil identifikasi kejadian risiko pada usaha hidroponik FL (2025)

- 1. Penyemaian & Penanaman.** Tahap awal ini menghadapi risiko seperti gagalnya benih berkecambah (E1), benih jatuh saat pindah tanam (E2), dan kualitas benih yang tidak terseleksi dengan baik (E3). Penyebab utamanya adalah kesalahan teknis saat penyemaian, penggunaan wadah yang tidak sesuai, serta benih yang kadaluarsa (A1–A5). Selain itu, risiko etiolasi (E4) juga muncul akibat pencahayaan yang kurang optimal dan kualitas benih yang rendah (A6–A7).
- 2. Pemeliharaan.** Risiko pada tahap ini mencakup pertumbuhan tanaman yang tidak optimal (E5), daun busuk (E6), dan tanaman layu (E7), yang umumnya dipicu oleh kondisi *greenhouse* yang tidak memadai, serangan hama, serta keterbatasan tenaga

- kerja (A8–A11). Gangguan pada instalasi dan keberadaan lumut atau tanaman yang jatuh ke sistem irigasi (E8) turut memperburuk efisiensi pemeliharaan (A12–A13).
3. **Pemanenan.** Risiko pemanenan meliputi daun sobek saat dipetik (E9), tanaman layu setelah panen (E10), dan pemanenan yang dilakukan sebelum waktu optimal (E11). Faktor penyebabnya mencakup kesalahan pekerja, kondisi cuaca panas, serta ketidaktepatan dalam menentukan umur panen (A14–A18).
 4. **Pengemasan.** Kerusakan fisik sayuran saat dikemas (E12–E13) umumnya terjadi karena kelalaian pekerja dan penggunaan alat kemas yang tidak memadai. Ini termasuk kesalahan dalam menata sayuran ke keranjang dan penggunaan keranjang yang mudah pecah (A19–A21).
 5. **Pengiriman.** Tahap akhir ini mencakup risiko jatuhnya produk (E14), keterlambatan (E15), dan kerusakan produk selama pengiriman (E16). Penyebab utamanya meliputi kelalaian pekerja, kondisi kendaraan yang buruk, serta proses pengemasan dan penanganan yang kurang hati-hati (A22–A27).

Analisis Kejadian dan Penyebab Risiko Produksi Sayuran Hidroponik

Analisis ini dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu menerapkan metode *House of Risk* 1 (HOR fase 1), dan Integrasi logika Fuzzy terhadap Hasil HOR 1.

1. Analisis Risiko Produksi dengan Metode House of Risk Tahap 1 (HOR 1)

Analisis *House of Risk* (HOR) Tahap 1 digunakan untuk mengevaluasi keterkaitan antara penyebab risiko (*risk agent*) dengan kejadian risiko (*risk event*). Proses penilaian risiko dalam HOR Tahap 1 melibatkan beberapa tahapan, sebagai berikut:

- a. **Penilaian tingkat keparahan atau Severity (Si).** Ini dilakukan untuk masing-masing kejadian risiko. Penilaian ini mencerminkan seberapa besar dampak yang ditimbulkan apabila risiko tersebut benar-benar terjadi. Kedua, dilakukan penilaian frekuensi atau kemungkinan terjadinya suatu penyebab risiko, yang dikenal dengan istilah *Occurrence* (Oj). Ketiga, dilakukan penilaian terhadap tingkat keterkaitan antara masing-masing *risk agent* dengan *risk event*, yang disebut sebagai nilai korelasi (Rij). Seluruh nilai tersebut, yaitu: Si, Oj, dan Rij, digunakan untuk menghitung *Aggregate Risk Potential* (ARP). Pada Tabel 2, dirangkum hasil penilaian *Severity* (Si) dan *Occurrence* (Oj).

Tabel 2. Penilaian Tingkat Keparahannya (*Severity* - Si)

Kode Ei	Kejadian Risiko (<i>Risk Event</i>)	<i>Severity</i> (Si)	Skala
E1	Gagal kecambah	5	Moderate
E2	Benih jatuh saat pindah tanam	5	Moderate
E3	Banyak benih yang mengambang saat seleksi benih	3	Slight
E4	Benih mengalami etiolasi	4	Minor
E5	Pertumbuhan tanaman terhambat/tidak optimal	7	High
E6	Daun rusak dan berlubang	6	Significant
E7	Tanaman layu	7	High
E8	Aliran nutrisi pada instalasi tidak lancar	7	High
E9	Daun sayuran sobek saat pengambilan	2	Very slight
E10	Sayuran layu setelah dipanen	1	No
E11	Sayuran dipanen sebelum mencapai umur panen	1	No
E12	Daun sayuran patah ketika dikemas	2	Very slight
E13	Keranjang retak/pecah	2	Very slight
E14	Sayuran jatuh saat pengiriman	2	Very slight
E15	Keterlambatan pengiriman	3	Slight
E16	Kerusakan produk selama pengiriman	4	Minor

Sumber: Hasil olah data primer, 2025

Tabel 2 menunjukkan tingkat keparahan (*Severity*) dari 16 kejadian risiko (E_i) yang terjadi pada setiap tahapan proses produksi. Risiko dengan tingkat keparahan tertinggi ($S_i = 7$) tergolong **kategori High**, yaitu E5 (pertumbuhan tanaman tidak optimal), E7 (tanaman layu), dan E8 (aliran nutrisi tidak lancar). Ketiganya terjadi pada tahap pemeliharaan, yang menjadi fase paling krusial dalam menentukan keberhasilan budidaya hidroponik. Risiko-risiko ini berpotensi besar menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen secara langsung.

Risiko dengan tingkat keparahan **Significant** ($S_i = 6$) adalah E6 (daun rusak dan berlubang), yang juga terjadi pada tahap pemeliharaan dan mengindikasikan gangguan dari hama atau faktor lingkungan yang memengaruhi estetika dan nilai jual sayuran.

Beberapa risiko berada pada tingkat **Moderate** ($S_i = 5$), seperti E1 (gagal kecambah) dan E2 (benih jatuh saat pindah tanam), yang dapat mengurangi efisiensi dan meningkatkan biaya tanam ulang. Sementara E4 (etiolasi) dan E16 (kerusakan produk saat pengiriman) termasuk **Minor** ($S_i = 4$), masih dapat dikendalikan dengan perbaikan prosedur teknis.

Risiko-risiko seperti E3 (benih mengambang), E15 (keterlambatan pengiriman), dan E12-E14 (kerusakan minor saat pengemasan dan distribusi) termasuk dalam kategori **Slight hingga Very Slight** ($S_i = 2-3$), dan dampaknya relatif kecil terhadap keberhasilan produksi. Sedangkan E10 dan E11 memiliki nilai **Severity terendah** ($S_i = 1$), mengindikasikan bahwa dampaknya sangat kecil atau bahkan tidak signifikan terhadap keseluruhan proses produksi.

Sebagian besar risiko dengan tingkat keparahan tinggi terjadi pada tahap pemeliharaan, menegaskan bahwa fase ini perlu mendapat perhatian dan kontrol lebih intensif. Dengan memprioritaskan mitigasi pada risiko-risiko ber-*severity* tinggi, FL dapat meningkatkan stabilitas produksi dan mencegah kerugian yang lebih besar di masa depan.

- b. Penilaian Frekuensi Terjadinya Penyebab Risiko (*Occurrence - O_j*)**, yaitu seberapa sering (frekuensi) masing-masing penyebab risiko tersebut terjadi. Hasil penilaian, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan 27 penyebab risiko (A_i) dalam proses produksi hidroponik FL dengan tingkat probabilitas kegagalan (*failure probability*) bervariasi. Dari seluruh penyebab risiko yang diidentifikasi, terdapat tiga faktor utama dengan tingkat kejadian tertinggi, yakni A15, A8, dan A22.

A15 (panen dilakukan pada siang hari/cuaca terlalu panas) memiliki nilai *Occurrence* tertinggi ($O = 9$), menunjukkan bahwa praktik ini sangat sering terjadi di lapangan. Dampaknya cukup serius karena memicu pelayuan sayuran secara cepat dan menurunkan mutu produk. Oleh karena itu, penjadwalan panen pada waktu yang lebih sejuk, seperti pagi atau sore hari, menjadi strategi mitigasi yang sangat penting.

Selanjutnya, A8 (kondisi greenhouse yang kurang memadai) mencatat nilai $O = 8$, yang juga tergolong sangat tinggi. Ketidaksiharian suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara dalam greenhouse secara konsisten memengaruhi pertumbuhan tanaman, meningkatkan stres fisiologis, dan membuka peluang munculnya penyakit. Kondisi ini mengindikasikan perlunya perbaikan infrastruktur dan manajemen lingkungan budidaya yang lebih ketat.

Tabel 3. Penilaian Frekuensi Terjadinya Penyebab Risiko (*Occurrence - Oj*)

Kode Ai	Penyebab Risiko (<i>Risk Agent</i>)	<i>Occurrence (Oj)</i>	<i>Failure Probability</i>
A1	Kesalahan dalam proses penyemaian	1	Low
A2	Penyemaian benih tidak diletakan ditempat yang teduh	3	Low
A3	Wadah benih terlalu berat	4	Moderate
A4	Kelalaian pekerja saat membawa wadah benih	5	Moderate
A5	Benih kadaluarsa	2	Low
A6	Benih sayuran rusak	2	Low
A7	Benih terlambat terkena sinar matahari	2	Low
A8	Kondisi <i>greenhouse</i> yang kurang memadai (suhu, kelembaban, sirkulasi udara)	8	High
A9	Serangan hama dan penyakit	5	Moderate
A10	Instalasi tidak dibersihkan secara rutin setelah panen	5	Moderate
A11	Keterbatasan jumlah SDM/Pekerja	3	Low
A12	Adanya lumut pada instalasi	4	Moderate
A13	Terdapat daun tanaman yang jatuh kedalam instalasi	2	Low
A14	Kesalahan pekerja saat memanen styuran dari instalasi	5	Moderate
A15	Panen dilakukan pada siang hari/cuaca terlalu panas	9	High
A16	Sayuran tidak diletakan di ruang sejuk setelah panen	2	Low
A17	Tidak terjadwalnya waktu panen	1	Low
A18	Ukuran sayuran yang dipanen tidak sama	2	Low
A19	Kelalaian pekerja saat memasukan sayuran ke dalam keranjang	4	Moderate
A20	Menggunakan keranjang dengan harga yang murah	1	Low
A21	Kesalahan pekerja saat pengiriman	2	Low
A22	Cuaca buruk	7	High
A23	Kondisi kendaraan yang kurang baik	1	Low
A24	Terjadi masalah saat diperjalanan	3	Low
A25	Kesalahan dalam proses pengemasan	3	Low
A26	Kerusakan kemasan (keranjang)	1	Low
A27	Penanganan barang yang kurang hati-hati	3	Low

Sumber: Hasil olah data primer, 2025

Sementara itu, A22 (cuaca buruk) dengan nilai $O = 7$ juga termasuk dalam kategori kejadian tinggi. Faktor ini sering kali menghambat proses pengiriman dan meningkatkan risiko kerusakan produk selama distribusi. Karena cuaca tidak dapat dikendalikan, mitigasi perlu difokuskan pada sistem pelindung saat pengiriman dan fleksibilitas dalam pengaturan waktu distribusi untuk mengurangi kerugian akibat faktor eksternal ini.

Sebagian besar penyebab lainnya berada pada tingkat *Moderate* ($O = 4-5$), seperti kelalaian pekerja (A4, A9, A10, A14, A19), serta kebersihan instalasi (A12). Faktor-faktor ini dapat diminimalkan melalui pelatihan tenaga kerja, prosedur kerja yang baku, dan rutinitas pemeliharaan.

Sementara itu, lebih dari separuh penyebab risiko berada pada tingkat *Low* ($O \leq 3$), seperti benih kadaluarsa (A5), keterbatasan SDM (A11), dan kerusakan keranjang (A26). Meski dampaknya mungkin signifikan dalam kondisi tertentu, frekuensi kejadiannya relatif jarang.

Penyebab risiko yang paling sering terjadi umumnya berkaitan dengan faktor lingkungan dan kelalaian operasional. Oleh karena itu, upaya mitigasi perlu difokuskan pada peningkatan kondisi lingkungan produksi serta manajemen tenaga kerja dan jadwal panen yang lebih terstruktur.

c. Perhitungan Nilai Agregate Risk Potensial (ARP)

Berdasarkan nilai *Severity* (Si), *Occurrence* (Oj), serta nilai korelasi di antara keduanya, dapat dihitung nilai *Aggregate Risk Potential* (ARP). Hasil perhitungan ARP, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Korelasi Severity (Si) dengan Occurrence (Oj) dan ARP

Risk event (Ej)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	Severity risk event Si	
E1	3	1	9	9	3	9	2																					5	
E2			3	9	2	3																							5
E3	1			3	1																								3
E4		2		1	2		3																						4
E5								9	3	3		2	1																7
E6								3	9	1	1	1																	6
E7									3	2	2	3	3																7
E8									3		2	3	2																7
E9														1															2
E10														1	9	9													1
E11																	1	1											1
E12																			3										2
E13																			1	2									2
E14																					3			3	3		9		2
E15																					1	1		2			1		3
E16																					1			3	1		1		4
(Oj)	1	3	4	5	2	2	2	8	5	5	3	4	2	5	9	2	1	2	4	1	2	7	1	3	3	1	3		
ARP	18	39	160	470	84	86	44	648	585	205	102	248	84	15	45	10	1	2	32	4	26	21	1	72	30	1	51		
Ranking	20	15	6	3	9	8	14	1	2	5	7	4	9	21	13	22	25	24	16	23	18	19	25	11	17	25	12		

Sumber: Hasil olah data dari Tabel 2 & Tabel 3 (2025)

Hasil perhitungan ARP berdasarkan metode Wang et al. (2009) (Tabel 4) menunjukkan tiga penyebab risiko dengan potensi agregat tertinggi yang perlu menjadi prioritas utama dalam strategi mitigasi. Nilai ARP tertinggi pertama adalah 648, yang berasal dari A8 (kondisi greenhouse yang kurang memadai, seperti suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara). Nilai ini menunjukkan bahwa ketidaksesuaian kondisi lingkungan dalam greenhouse memiliki dampak besar dan frekuensi kejadian tinggi, sehingga menjadi risiko paling kritis. Perbaikan sistem ventilasi, pemantauan iklim mikro, dan pengaturan suhu menjadi langkah mitigasi yang mendesak.

ARP kedua tertinggi sebesar 585 ditemukan pada A9 (serangan hama dan penyakit). Risiko ini memiliki dampak langsung terhadap kualitas dan kuantitas hasil panen, dan sering terjadi pada fase pemeliharaan. Pengendalian hama terpadu (PHT), rotasi tanam, serta monitoring berkala dapat mengurangi kemungkinan dan dampaknya secara signifikan.

ARP ketiga dengan nilai 470 berasal dari A4 (kelalaian saat mengangkat wadah benih/seedling tray). Meskipun tampak sebagai aktivitas teknis sederhana, kesalahan pada tahap awal ini dapat memicu kegagalan tumbuh dan pemborosan benih. Ini mengindikasikan pentingnya pelatihan teknis dan penerapan standar operasional (SOP) yang ketat bagi pekerja di tahap persemaian.

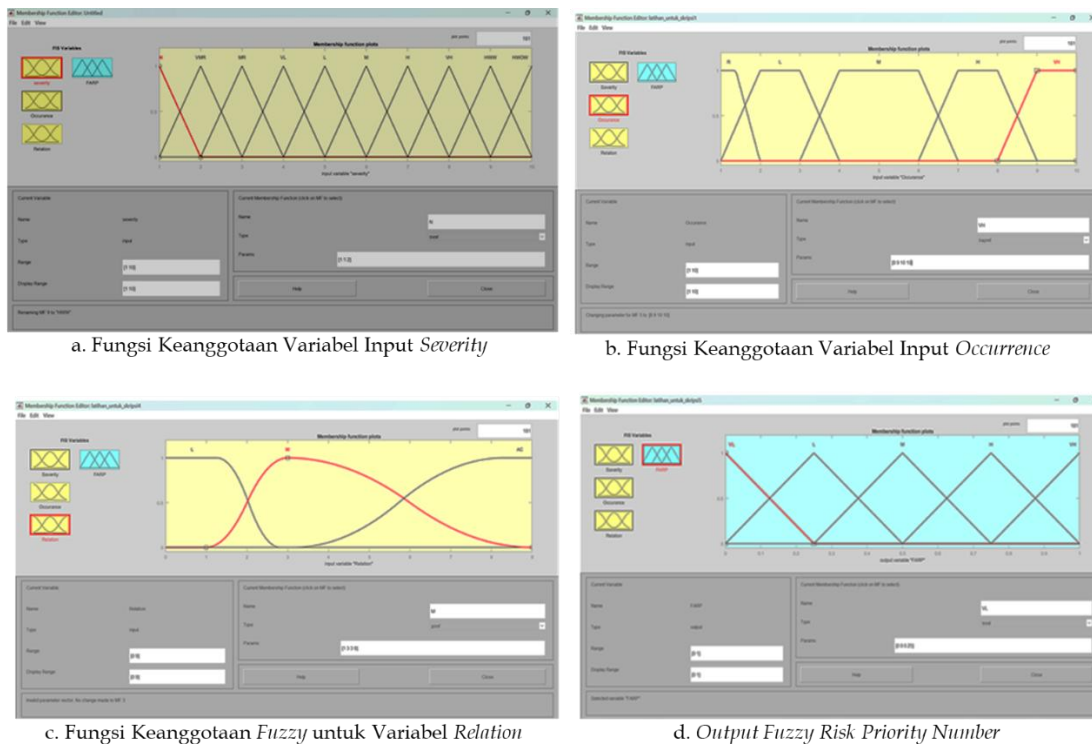
Secara keseluruhan, ketiga penyebab tersebut memiliki nilai ARP yang tinggi karena merupakan kombinasi dari keparahan dampak dan frekuensi kejadian yang signifikan, serta korelasi kuat antara keduanya. Oleh sebab itu, intervensi strategis pada A8, A9, dan A4 sangat penting untuk menurunkan risiko sistemik dalam usaha hidroponik FL.

2. Integrasi Logika Fuzzy terhadap Hasil HOR 1

Integrasi metode logika Fuzzy dilakukan untuk mengatasi ketidakpastian dan subjektivitas yang muncul dalam proses penilaian risiko, khususnya dalam menafsirkan hubungan antar variabel yang dinilai secara kualitatif oleh responden.

Fuzzy Logic memungkinkan konversi data linguistik seperti “rendah”, “sedang”, dan “tinggi” ke dalam nilai numerik yang lebih presisi melalui proses fuzzifikasi dan defuzzifikasi. Data linguistik tersebut diubah menjadi nilai numerik dalam rentang 0 - 1, sehingga dapat diolah lebih lanjut dalam perhitungan risiko yang berbasis logika matematis. Dengan demikian, metode ini memberikan dasar kuantitatif yang lebih kuat dalam mengevaluasi dan memverifikasi hasil HOR 1. Tahapan integrasi ini, terdiri dari:

- a. Identifikasi Input Fuzzy, yang akan menghasilkan; Fungsi Keanggotaan Tingkat Keparahan (*Severity*), Fungsi Keanggotaan Peluang Kemunculan Risiko (*Occurance*); Fungsi Keanggotaan hubungan antara *risk event* dan *risk agent* (*Relation*); dan Identifikasi *Output Fuzzy*. Proses ini dilakukan dengan bantuan program Matlab versi R2022a. Visualisasi dari masing-masing fungsi keanggotaan dan output *Fuzzy Risk Priority Number* (FARN) tersebut, disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Visualisasi Fungsi Keanggotaan dan Output Fuzzy Risk Priority Number

b. Fuzzy Rules (Aturan Fuzzy)

Dalam sistem *fuzzy* ini, aturan-aturan dibuat dengan menggabungkan dua variabel input, yaitu *severity* (tingkat keparahan) dan *occurrence* (frekuensi kejadian). Kedua variabel ini kemudian diproses untuk menghasilkan output berupa nilai *Fuzzy RPN* (*Risk Priority Number*) yang menjadi indikator risiko. Aturan yang digunakan mengikuti pola *if-then*, di mana kondisi tertentu pada variabel input akan menentukan nilai output yang sesuai. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk menangani data yang tidak pasti atau samar dengan cara yang lebih fleksibel dibandingkan logika biasa. Contoh bentuk umum aturan fuzzy adalah sebagai berikut:

IF Severity is High AND Occurrence is High AND Relation is Very High THEN FRPN is Very High

Aturan-aturan ini disusun berdasarkan pengetahuan pakar (*expert judgment*) dan/atau logika logis hubungan antar variabel risiko, sehingga dapat menangkap

berbagai kombinasi kondisi risiko yang mungkin terjadi dalam proses produksi sayuran hidroponik oleh petani pemula seperti FL. Dengan adanya fuzzy rules ini, sistem dapat melakukan evaluasi risiko secara lebih adaptif dan manusiawi, karena mempertimbangkan berbagai kemungkinan kondisi input, bukan hanya satu nilai tetap seperti dalam sistem konvensional.

c. Defuzzification (Defuzzifikasi)

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam sistem logika fuzzy yang berfungsi untuk mengubah hasil output yang masih berbentuk nilai fuzzy menjadi angka pasti atau nilai tegas (*crisp*) antar 0-1. Nilai mendekati 1 menunjukkan tingkat risiko yang tinggi, sedangkan Nilai mendekati 0 menunjukkan tingkat risiko yang rendah. Dalam tahap ini, sistem mengevaluasi setiap aturan fuzzy yang relevan (aktif) dengan kondisi input yang diberikan. Hasil dari semua aturan yang aktif kemudian digabungkan (*aggregation*), membentuk *output fuzzy* dalam bentuk kurva fungsi keanggotaan gabungan. *Output fuzzy* inilah yang selanjutnya menjadi dasar untuk proses defuzzifikasi, yaitu konversi ke dalam nilai crisp untuk menghasilkan nilai *Fuzzy Risk Priority Number (FRPN)*, seperti disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai FARN (Fuzzy Aggregated Risk Number)

<i>Risk Event</i>	<i>Severity</i>	<i>Risk Agent (A) terkait</i>	<i>Occurrence (O) terkait</i>	<i>Nilai FARN</i>
E1	5	A1, A2	$(1 + 3)/2 = 2.0$	0.25
E2	5	A3, A4	$(4 + 5)/2 = 4.5$	0.50
E3	3	A5	3.0	0.50
E4	4	A6, A7	$(2 + 4)/2 = 3.0$	0.08
E5	7	A8	8.0	0.75
E6	6	A9	5.0	0.50
E7	7	A10, A11	$(5 + 3)/2 = 4.0$	0.75
E8	7	A12	2.0	0.50
E9	2	A13, A14	$(2 + 5)/2 = 3.5$	0.50
E10	1	A15	9.0	0.50
E11	1	A16, A17	$(2 + 3)/2 = 2.5$	0.50
E12	2	A18, A19	$(2 + 4)/2 = 3.0$	0.50
E13	2	A20	2.0	0.50
E14	2	A21, A22	$(3 + 2)/2 = 2.5$	0.50
E15	3	A23, A24	$(3 + 3)/2 = 3.0$	0.50
E16	4	A25, A26, A27	$(2 + 2 + 3)/3 = 2.33$	0.08

Sumber: Hasil olah data dengan Matlab R2022a (2025)

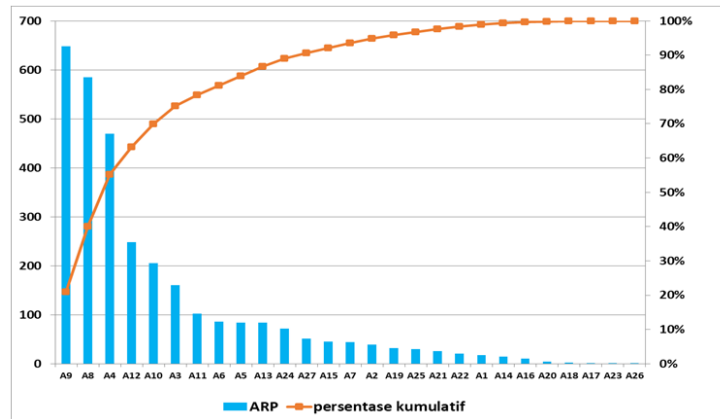
Hasil perhitungan nilai FARN menunjukkan dua risiko tertinggi, yaitu pertumbuhan tanaman yang tidak optimal (E5) dan tanaman layu (E7), masing-masing dengan nilai 0,75. Kedua risiko ini memiliki tingkat keparahan dan frekuensi kejadian yang tinggi, sehingga perlu segera dimitigasi karena berdampak besar pada hasil dan kualitas produksi. Risiko sedang dengan nilai sekitar 0,5, seperti benih jatuh saat tanam (E2), daun rusak (E6), dan gangguan aliran nutrisi (E8), meskipun tidak kritis, tetap penting diawasi karena dapat mengganggu efisiensi operasional.

Risiko dengan nilai FARN rendah, seperti gagal kecambah (E1) sebesar 0,25, tetap patut diwaspadai karena terjadi pada tahap awal yang menentukan kelancaran produksi. Nilai terendah, 0,08, terdapat pada etiologi benih (E4) dan kerusakan saat pengiriman (E16), yang meski berdampak kecil, tetap membutuhkan tindakan preventif. Secara keseluruhan, analisis FARN

membantu menentukan prioritas mitigasi risiko dari yang paling mendesak hingga yang bersifat pencegahan jangka panjang, yang dilihat dari sisi kejadian risiko (*risk event- Ei*).

Pemetaan Risiko Produksi Sayur Hidroponik FL

Pemetaan dilakukan dengan menggunakan Diagram Pareto, dan disusun berdasarkan nilai ARP yang telah diperoleh dari perhitungan HOR 1. Hasil pemetaan risiko (Gambar 4), menunjukkan terdapat tiga penyebab risiko dengan nilai ARP tertinggi.



Gambar 4. Diagram Pareto-Pemetaan Risiko Produksi Sayuran Hidroponik FL

Berdasarkan diagram Pareto, terdapat tiga penyebab risiko utama yang mendominasi 55% dari total risiko produksi. Penyebab terbesar berasal dari kondisi greenhouse yang kurang memadai (A8) dengan kontribusi 21%, terutama terkait suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara yang belum optimal. Serangan hama dan penyakit (A9) menyusul dengan kontribusi 19%, menunjukkan perlunya tindakan preventif yang lebih baik. Sementara itu, faktor terburu-buru saat mengangkat *seedling tray* (A4) menyumbang 15%, mencerminkan perlunya peningkatan pelatihan dan SOP tenaga kerja.

Strategi Mitigasi Risiko Produksi Sayuran Hidroponik FL dengan Metode HOR 2.

Strategi mitigasi risiko disusun untuk merumuskan penanganan yang tepat terhadap tiga penyebab risiko prioritas yang telah diidentifikasi melalui proses pemetaan risiko melalui diagram pareto. Setiap tindakan mitigasi diberi kode PAi (*Preventive Action-i*), seperti yang dirangkum pada Tabel 6.

Berdasarkan analisis risiko menggunakan metode HOR fase 1 dan Pareto, risiko dengan nilai ARP tertinggi adalah A8 - kondisi greenhouse yang kurang memadai, terutama suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara. Untuk mengatasinya, disusun tiga strategi mitigasi utama: PA1 (Pemantauan Berkala), PA2 (Sistem Kontrol Otomatis), dan PA3 (Perbaikan Infrastruktur), yang saling melengkapi dalam menjaga kestabilan iklim mikro.

Risiko berikutnya, A9 - serangan hama dan penyakit, ditanggulangi dengan empat strategi: PA4 hingga PA7, mencakup pemantauan, pengendalian hayati, rotasi tanaman, dan penggunaan pestisida, yang menggabungkan pendekatan preventif dan intervensi langsung.

Selanjutnya, risiko A4 - kelalaian pekerja saat membawa wadah benih ditangani melalui PA8 hingga PA11, yang berfokus pada pelatihan, penyusunan SOP, penyediaan alat kerja, dan inspeksi berkala guna meningkatkan kompetensi dan efisiensi kerja.

Tabel 6. Aksi Mitigasi

Ai	Risk Agent	PAi	Aksi mitigasi
A8	Kondisi <i>greenhouse</i> yang kurang memadai (suhu, kelembaban, sirkulasi udara)	PA1	Pemantauan Berkala: Lakukan pemantauan secara rutin terhadap suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara di dalam <i>greenhouse</i> . Gunakan alat ukur yang akurat untuk mendapatkan data yang valid.
		PA2	Sistem Kontrol Otomatis: Pertimbangkan untuk menggunakan sistem kontrol otomatis untuk mengatur suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara. Sistem ini dapat membantu menjaga kondisi <i>greenhouse</i> agar tetap optimal.
		PA3	Perbaikan Infrastruktur: Lakukan perbaikan terhadap infrastruktur <i>greenhouse</i> yang rusak atau tidak berfungsi dengan baik, seperti sistem ventilasi, sistem pemanas/pendingin, dan sistem penyiraman.
A9	Serangan hama dan penyakit	PA4	Pemantauan Tumbuhan: Lakukan pemantauan secara rutin terhadap tanaman untuk mendeteksi tanda-tanda serangan hama dan penyakit sejak dini.
		PA5	Pengendalian Hayati: Gunakan predator alami atau agen pengendali hayati lainnya untuk mengendalikan populasi hama.
		PA6	Rotasi Tanaman: Lakukan rotasi tanaman secara teratur untuk memutus siklus hidup hama dan penyakit.
		PA7	Penggunaan Pestisida: Jika diperlukan, gunakan pestisida secara bijak dan sesuai dengan dosis yang dianjurkan. Prioritaskan penggunaan pestisida nabati atau organik.
A4	Terburu-buru saat mengangkat <i>seedling tray</i>	PA8	Pelatihan: Seluruh pekerja yang terlibat dalam proses penanganan benih harus diberikan pelatihan khusus mengenai teknik membawa wadah benih yang benar, pentingnya kehati-hatian, dan dampak dari kelalaian.
		PA9	Peralatan Pendukung: Sediakan peralatan yang memadai seperti troli atau keranjang untuk membawa wadah benih yang berat atau jumlahnya banyak.
		PA10	Prosedur Standar Operasional (SOP): Buat SOP yang detail tentang prosedur membawa wadah benih, termasuk cara mengangkat, memindahkan, dan menyimpan wadah benih.
		PA11	Inspeksi Berkala: Lakukan inspeksi secara berkala terhadap kondisi wadah benih dan peralatan pendukung untuk memastikan semuanya dalam kondisi baik.

Sumber: Hasil olah data dari Tabel 1 dan Gambar 4 (2025)

Secara keseluruhan, strategi mitigasi ini mencakup aspek teknis, operasional, dan sumber daya manusia, serta dirancang tidak hanya untuk merespon risiko tetapi juga memperkuat sistem produksi secara preventif dan terukur sesuai prinsip *House of Risk*.

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 6, selanjutnya diterapkan metode *House of Risk* Fase 2 (HOR Fase 2) untuk merancang strategi mitigasi yang paling efektif dan efisien dalam mengurangi dampak penyebab risiko prioritas. Output dari HOR Fase 2 ini berupa urutan strategi mitigasi risiko. Dalam tahap ini, dilakukan perhitungan untuk tiga komponen kunci yaitu: *Total effectiveness of action* (TEk), *Degree of Difficulty* (Dk), dan *Effectiveness to difficulty ratio* (ETD) (Pujawan & Geraldin, 2009). Matriks HOR fase 2 yang memuat data tersebut disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Matrik HOR Fase 2

Agent Risiko	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6	PA7	PA8	PA9	PA10	PA11	ARP
A8	5	5	5									648
A9				5	1	1	5					585
A4								1	3	5	5	470
TEk	3.240	3.240	3.240	2.925	585	585	2.925	470	1.410	2.350	2.350	
Dk	3	5	4	3	5	4	4	3	3	3	4	
ETD	1.080	648	810	975	117	146,3	731,3	156,7	470	783,3	587,5	
Ranking	1	6	3	2	11	10	5	9	8	4	7	

Sumber: Hasil olah data dari Tabel 6 (2025)

Hasil perhitungan pada Matriks HOR Fase 2, diperoleh urutan prioritas strategi mitigasi berdasarkan nilai *Effectiveness to Difficulty Ratio* (ETD) tertinggi sebesar 1.080 (PA1) dan

terendan 117 (PA5). Nilai ETD menunjukkan efisiensi dari masing-masing aksi mitigasi, yaitu seberapa besar potensi risiko yang dapat dikurangi dibandingkan dengan tingkat kesulitan pelaksanaannya. Semakin tinggi nilai ETD, maka semakin prioritas strategi tersebut untuk dilaksanakan. Berdasarkan nilai ETD tersebut disusun urutan strategi mitigasi, seperti ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Urutan Strategi Mitigasi

Rank.	Kode	Strategi Mitigasi
1	PA1	Pemantauan Berkala: Lakukan pemantauan secara rutin terhadap suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara di dalam <i>greenhouse</i> . Gunakan alat ukur yang akurat untuk mendapatkan data yang valid.
2	PA4	Pemantauan Tumbuhan: Lakukan pemantauan secara rutin terhadap tanaman untuk mendeteksi tanda-tanda serangan hama dan penyakit sejak dini.
3	PA3	Perbaiki Infrastruktur: Lakukan perbaikan terhadap infrastruktur <i>greenhouse</i> yang rusak atau tidak berfungsi dengan baik, seperti sistem ventilasi, sistem pemanas/pendingin, dan sistem penyiraman.
4	PA10	Prosedur Standar Operasional (SOP): Buat SOP yang detail tentang prosedur membawa wadah benih, termasuk cara mengangkat, memindahkan, dan menyimpan wadah benih.
5	PA7	Penggunaan Pesticida: Jika diperlukan, gunakan pestisida secara bijak dan sesuai dengan dosis yang dianjurkan. Prioritaskan penggunaan pestisida nabati atau organik.
6	PA2	Sistem Kontrol Otomatis: Pertimbangkan untuk menggunakan sistem kontrol otomatis untuk mengatur suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara. Sistem ini dapat membantu menjaga kondisi <i>greenhouse</i> agar tetap optimal.
7	PA11	Inspeksi Berkala: Lakukan inspeksi secara berkala terhadap kondisi wadah benih dan peralatan pendukung untuk memastikan semuanya dalam kondisi baik.
8	PA9	Peralatan Pendukung: Sediakan peralatan yang memadai seperti troli atau keranjang untuk membawa wadah benih yang berat atau jumlahnya banyak.
9	PA8	Pelatihan: Seluruh pekerja yang terlibat dalam proses penanganan benih harus diberikan pelatihan khusus mengenai teknik membawa wadah benih yang benar, pentingnya kehati-hatian, dan dampak dari kelalaian.
10	PA6	Rotasi Tanaman: Lakukan rotasi tanaman secara teratur untuk memutus siklus hidup hama dan penyakit.
11	PA5	Pengendalian Hayati: Gunakan predator alami atau agen pengendali hayati lainnya untuk mengendalikan populasi hama.

Sumber: Hasil olah data dari Tabel 7. (2025)

Hasil analisis strategi mitigasi risiko produksi hidroponik menunjukkan bahwa tindakan dengan prioritas tertinggi adalah pemantauan berkala (PA1), yang berfokus pada pemantauan suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara di dalam *greenhouse* secara rutin. Hal ini mencerminkan pentingnya menjaga stabilitas iklim mikro sebagai fondasi utama keberhasilan budidaya. Selanjutnya, pemantauan tumbuhan (PA4) juga menjadi langkah strategis penting, guna mendeteksi serangan hama dan penyakit sejak dini sebelum menyebabkan kerusakan serius. Strategi ketiga, yaitu perbaikan infrastruktur (PA3), menekankan perlunya perbaikan terhadap sistem ventilasi, pemanas/pendingin, serta penyiraman, yang secara teknis mendukung stabilitas lingkungan tumbuh. Untuk mengurangi risiko kerusakan benih akibat kelalaian tenaga kerja, strategi penyusunan SOP (PA10) ditempatkan sebagai prioritas keempat, agar setiap proses penanganan wadah benih memiliki panduan kerja yang jelas dan seragam.

Penggunaan pestisida (PA7) berada di peringkat kelima, dengan catatan agar dilakukan secara bijak dan lebih mengutamakan opsi nabati atau organik. Sementara itu, sistem kontrol otomatis (PA2) menjadi pilihan pendukung jangka panjang untuk menjaga kestabilan lingkungan secara efisien. Strategi lain seperti inspeksi berkala (PA11), penyediaan peralatan pendukung (PA9), dan pelatihan tenaga kerja (PA8) menunjukkan bahwa aspek operasional dan sumber daya manusia juga menjadi perhatian penting. Terakhir, tindakan rotasi tanaman (PA6) dan pengendalian hayati

(PA5) melengkapi upaya mitigasi yang bersifat ekologis dalam menekan siklus hidup hama dan penyakit. Secara keseluruhan, strategi mitigasi ini mencerminkan pendekatan komprehensif yang menggabungkan aspek teknis, manusia, dan lingkungan guna membentuk sistem produksi hidroponik yang lebih tangguh dan berkelanjutan.

Beberapa hasil kajian lain mendukung temuan penelitian ini. Maisarah *et al.* (2023) menegaskan bahwa penggunaan SOP mendukung *capacity building* (peningkatan kemampuan) dan monitoring yang direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas dan keberlanjutan di level operasional. Suryani *et al.* (2023); Kementerian Pertanian RI (2021), telah memperkan format SOP untuk usahatani hidroponik.

Berkaitan dengan pengendalian hama hayati, Puspitasari (2023) dapat menggunakan metode pengendalian hayati menggunakan biopestisida, yang berasal dari mikroorganisme, sebagai alternatif yang lebih aman, ramah lingkungan, dan hemat biaya dibandingkan pestisida sintesis. Meski demikian, menurut Arif (2015) jika terjadi serangan hebat, maka pengendalian secara kimia/mekanik terpaksa dilakukan, namun harus digunakan secara bijak, karena dapat merusak lingkungan. Melakukan rotasi tanaman, juga langkah bijak dalam memutus rantai perkembangbiakan hama tanaman. Sebagaimana ungkapan Marpaung *et al* (2022), bahwa rotasi tanaman dalam sistem rumah kaca direkomendasikan, terutama untuk budidaya organik, karena dapat mengurangi insiden hama dan penyakit, meningkatkan kesuburan tanah, dan menciptakan mikroekosistem yang stabil.

Untuk strategi mitigasi pemantauan berkala (PA1) dan pemantauan tumbuhan (PA4), FL dapat menerapkan teknologi *Internet of Thong* (IoT) yang sudah banyak ditemukan oleh peneliti dan juga sudah diproduksi massal. Misal sistem penyiraman otomatis oleh Saragih & Kurniawan (2025). Menurut Pamungkas (2019), rumah kaca/*greenhouse* berbasis IoT menunjukkan stabilitas yang lebih baik dalam kondisi lingkungan, yang menghasilkan peningkatan hasil panen dan pengurangan konsumsi sumber daya dibandingkan dengan metode konvensional.

Di samping itu, peningkatan keterampilan pekerja penting dilakukan oleh FL, karena berkaitan dengan keselamatan kerja dan peningkatan kinerja usaha. Menurut Hadi *et al* (2022), bahwa pelatihan komprehensif dan integrasi teknologi dalam operasi rumah kaca dapat meminimalkan kesalahan manual, meningkatkan produktivitas, dan memberikan solusi berkelanjutan untuk berbagai tantangan sosial-ekonomi.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan menganalisis risiko pada lima aktivitas produksi hidroponik di FL (Persiapan, Persemaian & Penanaman, Pemeliharaan, Pemanenan, dan Pasca Panen). Ditemukan 16 kejadian risiko (Ei) dan 27 penyebab risiko (Ai). Berdasarkan metode *House of Risk* (HOR) fase 1, tiga agent risiko dengan nilai *Aggregate Risk Potential* (ARP) tertinggi adalah A8 (*greenhouse* kurang memadai, ARP = 648), A9 (hama dan penyakit, ARP = 585), dan A4 (kelalaian saat mengangkat tray benih, ARP = 470).

Hasil analisis Fuzzy-FARN menunjukkan dua kejadian risiko prioritas tinggi, yaitu E5 (pertumbuhan tanaman tidak optimal) dan E7 (tanaman layu), masing-masing dengan nilai FARN sebesar 0,75.

Pemetaan risiko dengan diagram Pareto mengungkap bahwa tiga agent risiko utama (A8, A9, A4) menyumbang 55% dari total risiko. Berdasarkan hal tersebut, dirancang 11

strategi mitigasi (*Preventive Actions*) yang dikaitkan langsung dengan risk agent tersebut, yaitu:

- A8: PA1 (Pemantauan Berkala), PA2 (Sistem Kontrol Otomatis), PA3 (Perbaikan Infrastruktur);
- A9: PA4 (Pemantauan Tanaman), PA5 (Pengendalian Hayati), PA6 (Rotasi Tanaman), PA7 (Penggunaan Pesticida);
- A4: PA8 (Pelatihan), PA9 (Peralatan Pendukung), PA10 (SOP), PA11 (Inspeksi Berkala).

Strategi mitigasi ini dirancang untuk menurunkan potensi risiko secara efektif dan membangun sistem produksi hidroponik yang lebih tangguh dan berkelanjutan.

Saran

Berdasarkan hasil analisis risiko produksi pada usaha hidroponik FL, disarankan agar prioritas utama diarahkan pada perbaikan kondisi fisik *greenhouse* (A8), yang terbukti menjadi pemicu dominan dari berbagai risiko lainnya. Penguatan sistem ventilasi, pencahayaan, serta irigasi otomatis akan berkontribusi terhadap kestabilan lingkungan tumbuh tanaman. Di sisi lain, untuk menekan risiko seperti tanaman layu (A6) dan pertumbuhan lambat (A2), penerapan teknologi monitoring berbasis sensor serta pelatihan rutin kepada tenaga kerja perlu dioptimalkan, terutama dalam hal prosedur teknis seperti pengelolaan tray benih (A4). Selain itu, pengendalian hama dan penyakit (A9) sebaiknya mengacu pada prinsip pertanian ramah lingkungan, termasuk penggunaan agen hayati dan rotasi tanaman. Ke depan, penelitian lanjutan dapat diarahkan pada pengembangan model prediksi risiko berbasis data *real-time* menggunakan pendekatan IoT, agar sistem mitigasi yang diterapkan semakin responsif dan presisi. Penelitian juga dapat diperluas pada aspek finansial dan rantai pasok hidroponik, sehingga hasilnya mampu memberikan gambaran lebih menyeluruh bagi petani pemula dalam menghadapi dinamika produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, A. (2015). Pengaruh Bahan Kimia terhadap Penggunaan Pesticida Lingkungan. *Jurnal Farmasi UIN Alauddin Makassar*, 3(4), 134-143.
- Ayesha, I., Sidiq, D. F., & Rosdiantin, R. (2023). Mitigasi Risiko Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan House of Risk (HOR) pada Produksi Tomat Beef dengan Hidroponik Sistem Irigasi Tetes. *Journal of Scientech Research and Development*, 5(2), 530-542.
- Ayesha, I., Pakarbudi, A., Elizabeth, R., & Septiadi, D. (2023). Risiko Agribisnis. *Global Eksekutif Teknologi*.
- Fradinata, E., Asmadi, D., & Ammariza, A. (2022). Strategi Mitigasi Risiko pada Produksi Ikan Tuna Menggunakan Metode House of Risk dan Fuzzy. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(4).
- Farizqie, A., B. S. F., Roessali, W., & Nurfadillah, S. (2020). Analisis risiko produksi usaha ternak sapi perah pada kelompok tani ternak di Kecamatan Getasan Semarang. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, 18(2), 191-203.
- Hadi, W. P., Fauriski, M. I., Nurfaizah, N., Umamah, A., & Sari, A. I. (2022). Optimalisasi Greenhouse sebagai Media Edukasi dan Kewirausahaan di SMP Negeri 1 Kwanyar Bangkalan. *Abdimasku: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(2), 209-214.
- Hanafi, A. (2020). *Budidaya Hidroponik untuk Pemula*. Jakarta: Gramedia.

- Maisarah, N. P., Fariyanti, A., & Rosiana, N. (2023). *Sustainability of Vegetable Hydroponic System in Pekanbaru City*. *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, 20(2), 214.
- Marpaung, P. H., Siburian, F., & Nainggolan, L. P. (2022). Analisis yang Mempengaruhi Rotasi Tanaman Ercis (*Pisum sativum* L) ke Tanaman Wortel (*Daucus carota* L) Kecamatan Dolat Raya, Kabupaten Karo. *Jurnal Agroteknosains*, 6(1), 81-87.
- Nguyen, N. T., McInturf, S. A., & Mendoza-Cózatl, D. G. (2016). Hydroponics: A versatile system to study nutrient allocation and plant responses to nutrient availability and exposure to toxic elements. *Journal of visualized experiments: JoVE*, (113), 54317.
- Pamungkas, S. (2019). Sistem *Smart Greenhouse* pada Tanaman Paprika Berbasis Internet of Things. *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, 7(2), 197-207.
- Prasetyo, D. H., Salsabila, T., Putri, A., & Hasriana, H. (2024). Manajemen Risiko Produksi Sayuran Pakcoy Hidroponik di CV. Pagi Berkah Mandiri (Pagi Farm). *JURNAL AGRIBISNIS TERPADU*, 17(1), 74-91.
- Prasetyo, B., Retnani, W. E. Y., & Ifadah, N. L. M. (2022). Analisis Strategi Mitigasi Risiko Supply Chain Management Menggunakan House of Risk (HOR). *Jurnal Tekno Kompak*, 16(2), 72-84.
- Pujawan, I.N. dan Geraldin, L.H., House of Risk: A Model for Proactive Supply Chain Risk Management. *Business Process Management Journal*. 2009. 15, 953-967.
- Putra, M. A. (2019). *Teknik dan Teknologi Hidroponik*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Safitri, S., Pratama, R., & Wijaya, A. (2021). Evaluasi Penerapan House of Risk dalam Mengelola Risiko pada Industri Manufaktur. *Jurnal Manajemen Risiko*, 15(2), 89-98.
- Saragih, K. A., & Kurniawan, R. (2025). Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis IoT dengan Logika Fuzzy Sugeno untuk Pengendalian Kelembaban Tanah di Greenhouse. *Jurnal Algoritma*, 22(1), 808-819.
- Simaremare, H., Haryono, B., & Ardianto, F. (2020). Analisis Mitigasi Risiko menggunakan *Effectiveness to Difficulty Ratio* (ETD) pada Sektor Jasa. *Jurnal Sistem dan Teknologi*, 13(3), 154-167.
- Suryani, E., Putra, L. V., & Putri, E. M. E. (2020). Program Hidroponik Bagi Siswa SD. CV. Pilar Nusantara.
- Siregar, R. (2021). *Manajemen Risiko dalam Hidroponik*. Bandung: Pustaka Hidro.
- Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). *Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Weighted Geometric Mean*. *Expert systems with applications*, 36(2), 1195-1207.
- Wati, D. R., & Sholihah, W. (2021). Pengontrol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sistem NFT Berbasis Arduino. *Teknik Komputer, Sekolah Vokasi, IPB University*, 7(1), 12-21.