

Inovasi Relationship Marketing dalam Pemasaran Sarana Produksi Pertanian: Studi Kasus pada Inisiasi Program Petrosida Responsible Farmers (PRF)

Rama Dani¹, Farikha²

^{1,2} Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Gresik e-mail: trisnaramadani@umg.ac.id

Abstrak:

Petani padi di Indonesia umumnya sulit menerima produk pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) yang baru, terutama karena belum adanya bukti nyata di lapangan dan minimnya pendampingan teknis yang berkelanjutan. Kondisi ini juga berdampak pada sistem minapadi integrasi padi dan ikan di petak sawah yang menuntut pengendalian OPT yang tepat dan aman bagi ikan. Penelitian ini mengkaji inovasi relationship marketing melalui inisiasi Program PRF (Petrosida Responsible Farmers) menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan studi kasus di Kecamatan Benjeng dan Balongpanggang, Kabupaten Gresik (6 November 2025–6 Maret 2026). Kegiatan lapangan mencakup observasi, wawancara, demsray pada sejumlah lahan petani, sosialisasi kepada 130 petani, dan dokumentasi digital. Hasil menunjukkan bahwa demsray menjalankan fungsi ganda: verifikasi teknis efektivitas produk dan pembangunan kepercayaan kolektif petani. Respons organik petani menjadi dasar perancangan program PRF sebagai strategi relationship marketing berbasis pendampingan langsung.

Kata kunci: *Demsray, Minapadi, Organisme Pengganggu Tanaman, Program PRF, Relationship Marketing*

Abstract:

Rice farmers in Indonesia are generally reluctant to adopt new crop protection products due to a lack of field evidence and insufficient technical support. This issue also affects the mina padi system rice-fish integrated farming which requires OPT control that is both effective and safe for fish. This study examines relationship marketing innovation through the initiation of the PRF (Petrosida Responsible Farmers) Program using a qualitative descriptive case study approach in Benjeng and Balongpanggang Districts, Gresik Regency (November 2025–March 2026). Field activities included observation, farmer interviews, spray demonstrations (demsray) on multiple farmer plots, socialization sessions attended by 130 farmers, and digital documentation. Results indicate that demsray serves a dual function: technical product verification and collective trust-building among farmers. Organic farmer responses formed the empirical basis for designing the PRF Program as a relationship marketing strategy grounded in direct and sustained farmer assistance.

Keywords: *Demsray, Mina Padi, PRF Program, Relationship Marketing, Technology Adoption*

PENDAHULUAN

Pertanian padi sawah merupakan salah satu sektor strategis dalam menjaga ketahanan pangan nasional [1] sekaligus menjadi basis berkembangnya sistem pertanian terpadu antara tanaman pangan dan perikanan. Salah satu inovasi yang berkembang adalah sistem minapadi, yaitu budidaya padi dan ikan secara bersamaan pada satu petak sawah, yang mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan lahan serta nilai ekonomi bagi petani. Namun demikian, baik budidaya padi konvensional maupun sistem minapadi masih menghadapi tekanan organisme pengganggu tanaman (OPT) berupa gulma, penyakit tanaman, dan hama yang dapat menurunkan produktivitas serta kualitas hasil panen. Savary et al. [2] melaporkan bahwa kehilangan hasil akibat OPT pada tanaman pangan utama secara global dapat mencapai sekitar 37,4% per musim tanam. Pada sistem minapadi, pengendalian OPT bahkan menjadi lebih kompleks karena produk yang digunakan tidak hanya dituntut efektif terhadap sasaran, tetapi juga harus mempertimbangkan keamanan bagi ikan yang dipelihara.

Permasalahan tersebut menyebabkan petani tidak hanya membutuhkan produk pengendalian OPT yang efektif, tetapi juga solusi budidaya yang dapat dipercaya berdasarkan bukti nyata di lapangan. Dalam praktiknya, keputusan petani untuk menggunakan suatu produk sangat dipengaruhi oleh pengalaman langsung, hasil yang dapat diamati, serta rekomendasi dari sesama petani dibandingkan sekadar promosi perusahaan [3]. Hasil kegiatan lapangan di Kecamatan Benjeng dan Balongpanggang menunjukkan bahwa meskipun berbagai OPT ditemukan pada lahan budidaya, tantangan yang lebih mendasar adalah rendahnya kepercayaan awal petani terhadap produk baru sehingga mereka cenderung menunggu bukti keberhasilan sebelum mengadopsinya [4]. Kondisi ini menunjukkan bahwa penyelesaian masalah OPT tidak hanya memerlukan pendekatan teknis budidaya, tetapi juga strategi pembangunan kepercayaan (trust-building) melalui pembuktian langsung di lapangan sebagai dasar adopsi inovasi.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi kasus. Pilihan ini didasarkan pada pertimbangan bahwa data yang tersedia bersifat observasional dan naratif, tujuan penelitian adalah memahami mekanisme lapangan dan merancang model, dan konteks yang spesifik lebih tepat dijelaskan secara mendalam daripada digeneralisasi melalui survei statistik. Pendekatan ini sesuai dengan panduan Strauss & Corbin [5] untuk penelitian yang berorientasi pada pembangunan model berbasis fenomena lapangan. Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini tidak melakukan survei kuesioner kepada petani; Program PRF merupakan model konseptual yang lahir dari analisis temuan lapangan, dan validasi empirisnya melalui kuesioner serta R&D merupakan rekomendasi tindak lanjut.

Lokasi dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Kecamatan Benjeng dan Kecamatan Balongpanggang, Kabupaten Gresik, Jawa Timur, selama 6 November 2025 hingga 6 Maret 2026. Kegiatan demonstrasi dan sosialisasi dilaksanakan di tiga lokasi: Desa Karangsemanding, Desa Kedungsumber Timur, dan Desa Bulang Kulon. Wilayah ini dipilih karena memiliki aktivitas budidaya padi yang intensif, permasalahan OPT yang nyata, dan potensi pengembangan sistem minapadi pada lahan tadah hujannya.

Sumber Data

Sumber data meliputi: (1) sejumlah lahan petani lokasi demspray sebagai unit analisis utama; (2) 130 petani peserta sosialisasi di tiga lokasi; (3) petani yang melanjutkan komunikasi melalui pesan singkat sebagai data respons individual; (4) pembimbing teknis lapangan dari mitra industri dan (5) pelaku rantai pasok gabah

lokal sebagai sumber informasi kualitas panen. Semua subjek ditentukan secara purposif.

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui lima teknik: (1) observasi langsung kondisi OPT dan praktik budidaya (2) wawancara semi-terstruktur di lahan, kios pertanian, dan forum informal (3) demspray demonstrasi aplikasi produk pengendalian OPT pada sejumlah lahan petani, dengan tiga kasus representatif yang dipantau 7–14 hari setelah aplikasi (HSA) (4) sosialisasi di tiga lokasi dihadiri total 130 petani; dan (5) dokumentasi digital berupa foto, video, konten media sosial, dan pesan petani sebagai triangulasi.

Teknik Analisis Data

Data dianalisis menggunakan analisis tematik (Braun & Clarke [6]) melalui enam tahap: familiarisasi data, pemberian kode awal, pengelompokan ke dalam tema, tinjauan tema, pendefinisian tema akhir, dan penulisan narasi. Triangulasi dilakukan dengan mencocokkan temuan dari tiga sumber: catatan observasi, pernyataan wawancara, dan dokumentasi kegiatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seluruh rangkaian kegiatan lapangan dengan alur pada **Gambar 1.** selama enam bulan dari observasi hingga respons organik petani secara bersama membentuk landasan empiris bagi perancangan Program PRF.



Gambar 1. Alur Kegiatan Lapangan sebagai Dasar Perancangan Program PRF

Sumber: data diolah (2026)

Pemetaan Permasalahan OPT

Observasi lapangan mengidentifikasi tiga kategori OPT dominan yang ditemukan berulang di berbagai lahan. Pertama, infestasi gulma yang beragam: *dengkulan* (*Leptochloa chinensis*), *tuton* (*Echinochloa colona*), *teki* (*Cyperus rotundus*), *gembosan* (*Cyperus iria*), *lulangan* (*Eleusine indica*), dan *patikan* (*Euphorbia hirta*). Keberagaman ini mencerminkan tekanan dari berbagai kelompok fungsional gulma. Kedua, penyakit bercak daun akibat jamur *Bipolaris oryzae* yang ditandai bercak coklat pada daun sehingga mengurangi area fotosintesis dan jumlah anakan. Ketiga, hawar daun bakteri (HDB) yang disebabkan *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* dengan gejala daun menguning dan mengering dari ujung ke pangkal, cepat menyebar pada kelembaban tinggi.

Dampaknya dikonfirmasi oleh pelaku rantai pasok lokal yang melaporkan rendemen gabah di bawah standar, bukti bahwa OPT tidak hanya memengaruhi kuantitas tetapi juga kualitas dan nilai ekonomi panen, sejalan dengan temuan Oerke [7]. Dari perspektif minapadi, keberadaan OPT ini menambah kompleksitas: pengendalian harus mempertimbangkan keamanan bagi ikan, sehingga ketepatan diagnosa dan pemilihan

Inovasi Relationship Marketing dalam Pemasaran Sarana Produksi Pertanian:
Studi Kasus pada Inisiasi Program Petrosida Responsible Farmers (PRF)

produk menjadi semakin kritis.

Demspray: Fungsi Teknis dan Fungsi Strategis

Demspray dilaksanakan pada sejumlah lahan petani selama November 2025 hingga Februari 2026. Dari lahan-lahan tersebut, tiga kasus dipilih sebagai representasi karena masing-masing mewakili satu pola OPT dominan yang berulang. Tabel 1 merangkum ketiga kasus tersebut. Pada Kasus 2, pendekatan pengendalian yang diterapkan konsisten dengan rekomendasi pengelolaan hara dan hama dari IRRRI [8].

Tabel 1. Tiga Kasus Representatif Demonstrasi Penyemprotan pada Sejumlah Lahan Petani

No	Lokasi Lahan	Jenis OPT	Produk Digunakan	Waktu Peman ntau an	Hasil Observasi (7–14 HSA)
1	Desa Karangseman ding	Gulma daun lebar beragam (<i>Uci- ucian/Ageratum conyzoides</i> , <i>Templekan/Euphorbia hirta</i>)	Herbisida selektif padi Prassida 125 SC	7 HSA	Gulma menunjukkan gejala <i>klorosis</i> hingga <i>nekrosis</i> pada 7 HSA tanpa gejala <i>fitotoksisitas</i> pada tanaman padi (Heap, 2024; HRAC, 2024 [19],[20]).
2	Desa Kedungsumb er Timur	Bercak daun (<i>Bipolaris oryzae</i>)	Fungisida tembaga + pupuk zinc Oksida(mengatasi gejala defisiensi zinc yang menyertai) Sidabin dan Petrozinc	7 & 14 HSA	Gejala bercak daun relatif stabil, sedangkan daun baru tampak lebih hijau dan tanaman lebih vigor (Archana et al., 2024; Huang & Salt, 2022 [16]).
3	Desa Bulang Kulon	Hawar daun bakteri/HDB (<i>Xanthomonas oryzae pv. oryzae</i>)	Fungisida berbasis tembaga + Pupuk kalium silika (mempertebal sel dinding vigor pada jaringan luar tumbuhan) Cozene 70/10 WP dan Kalsida	10 & 14 HSA	Daun yang telah bergejala tetap nekrosis, sedangkan daun baru tampak lebih hijau (Verma et al., 2024; Sathe et al., 2021 [17],[18]).

Sumber: data diolah (2026)

Analisis terhadap keseluruhan proses demsray pada **Tabel 1.** mengungkap dua fungsi yang berbeda namun saling memperkuat. Pertama, fungsi teknis agronomis adalah membuktikan secara observasional bahwa produk pengendalian OPT bekerja dalam kondisi lahan nyata. Kedua, fungsi strategis pemasaran yaitu hasil demsray yang terverifikasi menjadi materi komunikasi autentik dalam forum sosialisasi publik.

Mekanismenya, demsray dilakukan terlebih dahulu di lahan petani, hasilnya dipantau 7–14 HSA dan didokumentasikan, kemudian fakta ini dipresentasikan dalam sosialisasi pada **Gambar 3.** Pemilik lahan hadir sebagai narasumber langsung yang dapat mengonfirmasi kepada sesama petani. Ini adalah bentuk pemasaran berbasis bukti (*evidence-based marketing*) yang jauh lebih persuasif dari iklan konvensional.



(a)

Sosialisasi Desa Karangsemanding



(b)

Sosialisasi Desa Kedung Sumber Timur



(c)

Sosialisasi Desa Bulang Kulon

Gambar 2. Dokumentasi kegiatan sosialisasi dan diseminasi hasil demonstrasi lapang di Desa Karangsemanding, Desa Kedungsumber Timur, dan Desa Bulang Kulon.

Sumber: Dokumentasi lapangan, Laporan PKL Trisna Rama Dani

Sosialisasi: Dari Bukti Lapangan ke Kepercayaan Kolektif

Tiga sesi sosialisasi pada **Gambar 2.** diselenggarakan: Desa Karangsemanding (70 petani, 30 Desember 2025), Desa Kedungsumber Timur (30 petani, 6 Januari 2026), dan Desa Bulang Kulon (30 petani, 6 Februari 2026) . Total 130 petani terpapar informasi berbasis bukti lapangan. Tingginya keaktifan diskusi pertanyaan teknis spesifik, pertukaran pengalaman antar petani, dan permintaan informasi lanjutan menunjukkan bahwa pendekatan berbasis bukti memancing keterlibatan kognitif yang jauh lebih dalam dibandingkan sosialisasi produk konvensional. Temuan ini sejalan dengan Pretty [9] bahwa pembelajaran petani paling efektif terjadi melalui kombinasi pengalaman langsung dan refleksi kolektif.

Respons Petani: Indikator Kualitatif Potensi Adopsi

Analisis tematik terhadap data wawancara, komunikasi pesan singkat, dan dokumentasi mengidentifikasi empat tema respons yang konsisten:

Tabel 2. Respon petani pasca kegiatan

Tema Respons	Deskripsi & Implikasi
Kepercayaan berbasis pengamatan langsung	Petani yang menyaksikan hasil demsray menunjukkan perubahan sikap nyata dari skeptis menjadi percaya, didorong oleh bukti visual yang dapat mereka verifikasi sendiri.
Permintaan pendampingan aktif	Sejumlah petani menghubungi peneliti untuk meminta bimbingan teknis pada musim tanam berikutnya dan menyatakan minat menggunakan produk secara menyeluruh.
Penyebaran testimoni organik	Beberapa petani secara spontan membagikan pengalaman positif ke WhatsApp Story, sebuah indikator kepuasan dan kepercayaan tertinggi dalam literatur pemasaran (<i>word-of-mouth</i>).

Tema Respons	Deskripsi & Implikasi
Laporan peningkatan hasil panen	Petani yang telah panen melaporkan peningkatan kualitas dan kuantitas dibanding musim sebelumnya, meski atribusi kausal yang ketat memerlukan rancangan penelitian lebih lanjut.

Sumber: data diolah (2026)

Keempat tema respons petani pada **Tabel 2.** mengindikasikan terbentuknya trust awal yang solid prasyarat tumbuhnya commitment jangka panjang menurut Morgan & Hunt [10]. Penyebaran testimoni organik menunjukkan petani telah bertransisi menjadi *brand advocate* sukarela, sebuah aset pemasaran yang nilainya melampaui iklan berbayar.

Perancangan Konsep Program PRF sebagai Inovasi Relationship Marketing

Dari sintesis seluruh temuan, Program Petrosida Responsible Farmers (PRF) dirancang sebagai model inovasi relationship marketing dalam pemasaran sarana produksi pertanian. Model ini berakar pada kebutuhan nyata yang teridentifikasi selama enam bulan, bukan asumsi teoritis. **Tabel 2.** menguraikan komponen-komponen program beserta basis empiris perancangannya.

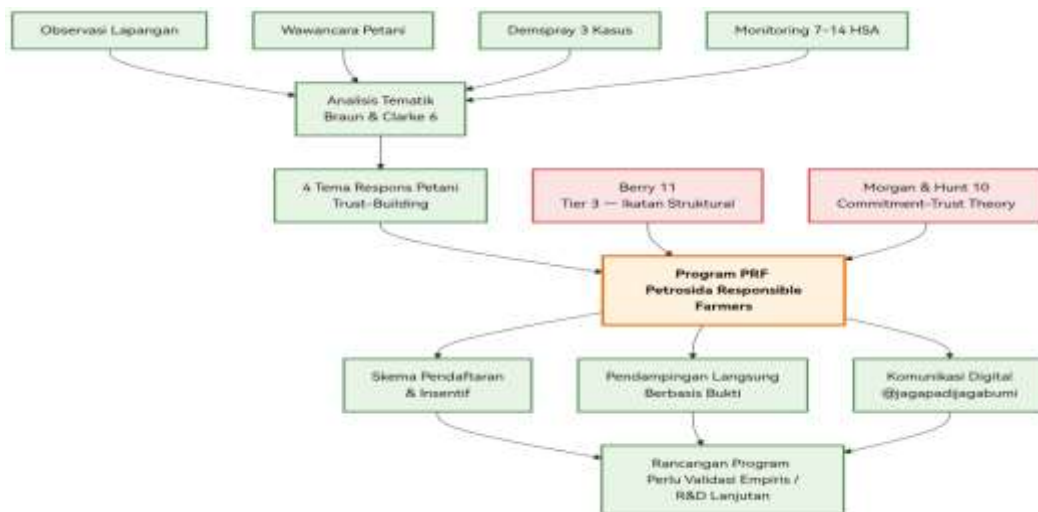
Tabel 3. Komponen Program PRF dan Basis Empiris Perancangan

Komponen Program	Deskripsi Kegiatan	Basis Empiris Lapangan
Demospray Masif	Demonstrasi aplikasi produk OPT di lahan petani sebelum sosialisasi publik	Petani membutuhkan bukti visual sebelum mengadopsi produk baru; diujicobakan pada sejumlah lahan petani
Sosialisasi Berbasis Bukti	Pemilik lahan demospray hadir sebagai narasumber langsung di forum petani	Kepercayaan kolektif terbentuk saat petani mengonfirmasi hasil dari sesama petani (<i>peer validation</i>)
Pendampingan Teknis Berkelanjutan	Tim PRF hadir mendampingi mulai dari diagnosa OPT hingga evaluasi pasca panen	Permintaan aktif petani via WhatsApp untuk bimbingan musim berikutnya
Komunikasi Digital Terintegrasi	Konten berbasis bukti lapangan di @jagapadijagabumi	Testimoni organik WhatsApp Story memperluas jangkauan melampaui sosialisasi fisik
Program Petani Mitra	Petani aktif mendapatkan prioritas akses produk, pelatihan, dan jaringan pasar gabah	Respons "ingin menggunakan produk secara menyeluruh" dan laporan kualitas panen meningkat

Sumber: data diolah (2026)

Secara teoritis, Program PRF yang terbagi menjadi 5 komponen pada **Tabel 3.** beroperasi pada tingkat ketiga relationship marketing menurut Berry [11], yaitu tingkat ikatan struktural di mana petani memasuki ekosistem kemitraan yang memberikan nilai tambah di setiap fase budidaya, bukan sekadar membeli produk. Perspektif ini sejalan dengan prinsip pemasaran yang berorientasi pada pemahaman kebutuhan dan pengalaman pelanggan sebagaimana dikemukakan Kotler & Keller [12]. Menurut Morgan & Hunt [10], ikatan semacam ini menciptakan hambatan perpindahan yang positif: petani bertahan karena nilai kemitraan yang dirasakan, bukan keterpaksaan.

Inovasi Relationship Marketing dalam Pemasaran Sarana Produksi Pertanian:
Studi Kasus pada Inisiasi Program Petrosida Responsible Farmers (PRF)



Gambar 3. Model Konseptual Program PRF sebagai Inovasi Relationship Marketing

Sumber: data diolah (2026)

Integrasi komunikasi digital melalui platform media sosial TikTok @jagapadijagabumi memperkuat ekosistem pemasaran relasional ini. Konten berbasis bukti lapangan yang disebar secara daring berfungsi memperluas jangkauan demonstrasi fisik melampaui batasan ruang dan waktu, mempercepat difusi inovasi kepada petani yang tidak hadir langsung dalam sosialisasi.

Meski demikian, program PRF pada **Gambar 3.** masih merupakan model konseptual yang perlu divalidasi. Tiga agenda penelitian lanjutan diusulkan: (1) riset kuesioner market validation untuk mengukur minat petani, willingness to pay, dan estimasi skala pasar; (2) pendekatan R&D model Borg & Gall [13] minimal satu musim tanam penuh dengan kelompok pilot dan (3) kajian adopsi inovasi berbasis teori Rogers [14] untuk mengoptimalkan strategi komunikasi program.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa permasalahan OPT di Kecamatan Benjeng dan Balongpanggang bersifat nyata dan beragam mencakup gulma, bercak daun, dan hawar daun bakteri dengan implikasi tambahan bagi pengembangan sistem minapadi yang menuntut pengendalian selektif. Demspray pada sejumlah lahan petani terbukti menjalankan fungsi ganda: verifikasi teknis efektivitas produk dan pembangunan kepercayaan kolektif petani melalui mekanisme "demspray lebih dulu, paparan publik kemudian". Respons organik petani berupa permintaan pendampingan, minat produk menyeluruh, dan penyebaran testimoni mandiri memberikan sinyal kuat terbentuknya trust awal. Program PRF yang dirancang merupakan model inovasi relationship marketing tingkat ketiga yang secara empiris merespons kebutuhan nyata petani, namun masih memerlukan validasi melalui riset kuesioner dan R&D sebelum implementasi skala luas.

Saran

Penelitian lanjutan berupa survei kuesioner kepada petani di wilayah yang sama perlu dilakukan untuk memperoleh data kuantitatif yang dapat memperkuat dasar implementasi Program PRF, khususnya dalam mengukur tingkat kepercayaan, minat adopsi, dan willingness to pay petani terhadap program. Selain itu, uji

coba lapangan (*pilot project*) selama minimal satu musim tanam penuh dengan kelompok petani terpilih diperlukan untuk menghasilkan bukti empiris mengenai efektivitas program serta peluang replikasinya di wilayah lain.

Penelitian ini memberikan kontribusi dengan menawarkan model konseptual relationship marketing pada sektor sarana produksi pertanian yang mengintegrasikan demonstrasi lapangan (*demospray*), pendampingan teknis, dan komunikasi digital sebagai mekanisme pembentukan kepercayaan (*trust-building*) petani. Model ini memperluas penerapan teori Relationship Marketing dan *Diffusion of Innovations* ke dalam konteks agribisnis padi di Indonesia. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menguji model konseptual ini secara kuantitatif maupun melalui pendekatan R&D sehingga diperoleh model yang tervalidasi dan dapat diterapkan secara lebih luas.

REFERENSI

- [1] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Kementerian Pertanian Republik Indonesia [Laman resmi], Jakarta, 2026. [Online]. Tersedia: <https://www.pertanian.go.id>
- [2] S. Savary, L. Willcoquet, S. J. Pethybridge, P. Esker, N. McRoberts, dan A. Nelson, "The global burden of pathogens and pests on major food crops," *Nature Ecology & Evolution*, vol. 3, no. 3, hal. 430–439, 2019.
- [3] M. Mardiharini, E. Jamal, E. S. Rohaeni, C. Indrawanto, K. S. Indraningsih, E. Gunawan, R. P. Ramadhan, I. M. Fahmid, I. P. Wardana, dan E. Ariningsih, "Indonesian rice farmers' perceptions of different sources of information and their effect on farmer capability," *Open Agriculture*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [4] G. Feder, R. E. Just, dan D. Zilberman, "Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey," *Economic Development and Cultural Change*, vol. 33, no. 2, hal. 255–298, 1985.
- [5] A. Strauss dan J. Corbin, *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*, SAGE Publications, Newbury Park, 1990.
- [6] V. Braun dan V. Clarke, "Using thematic analysis in psychology," *Qualitative Research in Psychology*, vol. 3, no. 2, hal. 77–101, 2006.
- [7] E.-C. Oerke, "Crop losses to pests," *The Journal of Agricultural Science*, vol. 144, no. 1, hal. 31–43, 2006.
- [8] International Rice Research Institute, "Pest management," Rice Knowledge Bank, IRRI, Los Baños. [Online]. Tersedia: <http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/pest-management>
- [9] J. N. Pretty, "Participatory learning for sustainable agriculture," *World Development*, vol. 23, no. 8, hal. 1247–1263, 1995.
- [10] R. M. Morgan dan S. D. Hunt, "The commitment-trust theory of relationship marketing," *Journal of Marketing*, vol. 58, no. 3, hal. 20–38, 1994.
- [11] L. L. Berry, "Relationship marketing," dalam L. L. Berry, G. L. Shostack, dan G. D. Upah (Eds.), *Emerging Perspectives on Services Marketing*, American Marketing Association, Chicago, 1983, hal. 25–28.
- [12] P. Kotler dan K. L. Keller, *Marketing Management*, Ed. 15, Pearson Education, Edinburgh, 2016.
- [13] W. R. Borg dan M. D. Gall, *Educational Research: An Introduction*, Ed. 5, Longman, New York, 1989.
- [14] E. M. Rogers, *Diffusion of Innovations*, Ed. 5, Free Press, New York, 2003.
- [15] B. Archana et al., "Zinc Nutrition in Rice Based Cropping Systems: A Comprehensive Review," *Journal of Experimental Agriculture International*, vol. 46, no. 5, pp. 574–583, 2024, doi: 10.9734/JEAI/2024/v46i52413.
- [16] X.-Y. Huang and D. E. Salt, "Zinc transport in rice: How to balance optimal plant requirements and human nutrition," *Journal of Experimental Botany*, vol. 73, no. 6, pp. 1800–1808, 2022, doi: 10.1093/jxb/erab478.
- [17] A. Sathe et al., "Role of silicon in elevating resistance against sheath blight and blast diseases in rice (*Oryza sativa* L.)," *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 166, pp. 128–139, 2021, doi: 10.1016/j.plaphy.2021.05.045.
- [18] K. K. Verma et al., "Unlocking the role of silicon against biotic stress in plants," *Frontiers in Plant Science*, vol. 15, Art. no. 1362982, 2024, doi: 10.3389/fpls.2024.1362982.