

GENETIKA TERAPAN SEBAGAI SOLUSI INOVATIF DALAM MENGHADAPI PERUBAHAN IKLIM DI SEKTOR PERTANIAN

Dwi Haryani¹, Shintia Ratu Ismail², Indriyana Puspawati³, Putri Silvia Ariyanti⁴
dwihryni25@gmail.com¹, shintiaratui@gmail.com², indriyanapuspawati01@gmail.com³,
putrisilvia940@gmail.com⁴

Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung

ABSTRAK

Perubahan iklim global membawa dampak signifikan terhadap sektor pertanian, terutama di Indonesia yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Fenomena seperti peningkatan suhu, perubahan pola curah hujan, kekeringan, dan serangan hama menyebabkan penurunan produktivitas lahan serta ancaman terhadap ketahanan pangan nasional. Untuk menghadapi tantangan tersebut, genetika terapan menjadi solusi inovatif dalam menciptakan sistem pertanian yang adaptif dan berkelanjutan. Genetika terapan berfokus pada penerapan prinsip-prinsip genetika untuk menghasilkan tanaman dengan sifat unggul, seperti ketahanan terhadap kekeringan, salinitas, suhu ekstrem, serta penyakit tanaman. Melalui teknologi rekayasa genetika, CRISPR-Cas9, dan Marker-Assisted Selection (MAS), ilmuwan mampu mengembangkan varietas unggul yang tidak hanya produktif tetapi juga ramah lingkungan dengan mengurangi penggunaan pestisida dan bahan kimia berbahaya. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif berbasis studi pustaka untuk menganalisis peran, manfaat, serta tantangan penerapan genetika terapan dalam menghadapi perubahan iklim. Hasil penelitian menunjukkan bahwa genetika terapan berkontribusi besar dalam meningkatkan ketahanan pangan, efisiensi produksi, dan keberlanjutan pertanian. Namun, tantangan seperti keterbatasan sumber daya manusia, regulasi yang ketat, serta persepsi negatif terhadap GMO masih menjadi hambatan utama. Dengan dukungan kebijakan pemerintah, kolaborasi riset, dan edukasi publik, penerapan genetika terapan dapat menjadi strategi kunci dalam mewujudkan sistem pertanian yang tangguh, adaptif, dan berdaya saing tinggi di era perubahan iklim global.

Kata Kunci: Genetika Terapan, Solusi Inovatif, Perubahan Iklim, Pertanian.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global menjadi isu yang semakin mendesak dan berdampak luas terhadap berbagai sektor kehidupan, terutama sektor pertanian yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Peningkatan suhu bumi, perubahan pola curah hujan, kekeringan ekstrem, serta meningkatnya frekuensi bencana alam seperti banjir dan angin kencang telah mengancam stabilitas produksi pangan dunia. Di Indonesia, dampak perubahan iklim terlihat jelas pada menurunnya produktivitas lahan, gagal panen, serta meningkatnya serangan hama dan penyakit tanaman. Kondisi ini menuntut adanya upaya adaptasi dan inovasi teknologi yang dapat menjamin keberlanjutan sistem pertanian di tengah tantangan perubahan iklim.¹

Dalam konteks ini, genetika terapan hadir sebagai salah satu solusi ilmiah yang potensial dan berkelanjutan. Genetika terapan merupakan cabang ilmu genetika yang fokus pada penerapan prinsip-prinsip genetika untuk menghasilkan organisme dengan sifat unggul, termasuk tanaman yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Melalui teknik rekayasa genetika, pemuliaan tanaman modern, serta manipulasi DNA, ilmuwan mampu menciptakan varietas tanaman yang tahan terhadap kekeringan, salinitas, suhu tinggi, dan serangan organisme pengganggu. Inovasi ini diharapkan mampu mengurangi

¹ [Robert J. Henry](#), Inovasi dalam genetika tanaman yang mengadaptasi pertanian terhadap perubahan iklim. *Current Opinion in Plant Biology*, 56. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.11.004>

risiko gagal panen sekaligus meningkatkan efisiensi produksi pertanian.² Selain meningkatkan ketahanan tanaman terhadap faktor lingkungan, genetika terapan juga berkontribusi dalam menciptakan sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan. Dengan adanya varietas unggul yang memiliki ketahanan alami terhadap hama dan penyakit, penggunaan pestisida dan bahan kimia berbahaya dapat ditekan secara signifikan. Hal ini tidak hanya mengurangi pencemaran tanah dan air, tetapi juga membantu menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Penerapan genetika terapan dapat menjadi salah satu strategi menuju pertanian berkelanjutan yang selaras dengan prinsip konservasi sumber daya alam.

Pengembangan genetika terapan juga membuka peluang besar dalam peningkatan efisiensi dan ketahanan pangan nasional. Teknologi ini memungkinkan produksi tanaman dengan nilai gizi yang lebih tinggi, umur panen yang lebih singkat, dan hasil yang lebih melimpah meskipun di lahan marginal atau kondisi iklim yang tidak stabil.³ Integrasi genetika terapan dengan teknologi digital seperti pemantauan genetik berbasis data dan kecerdasan buatan (AI) juga semakin memperkuat kemampuan adaptasi pertanian modern terhadap dinamika perubahan iklim global.

Dengan berbagai potensi tersebut, genetika terapan dapat dipandang sebagai solusi inovatif yang menjawab tantangan era perubahan iklim. Melalui kolaborasi antara ilmuwan, petani, dan pemerintah, penerapan teknologi genetika dapat mempercepat transformasi pertanian menuju sistem yang lebih adaptif, produktif, dan berdaya saing tinggi. Oleh karena itu, investasi dalam penelitian, pengembangan, dan penerapan genetika terapan menjadi langkah strategis dalam mewujudkan ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian di masa depan.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah metode deskriptif kualitatif, yang bertujuan untuk menggambarkan dan menganalisis penerapan genetika terapan sebagai solusi inovatif dalam menghadapi perubahan iklim di sektor pertanian. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh melalui studi pustaka (*library research*) dengan menelaah berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, artikel, laporan penelitian, dan dokumen resmi yang relevan dengan topik genetika terapan dan adaptasi pertanian terhadap perubahan iklim. Teknik analisis yang digunakan adalah analisis isi (*content analysis*), yaitu dengan mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan mensintesis informasi berdasarkan tema seperti jenis teknologi genetika, manfaat, dan tantangan penerapannya dalam sektor pertanian. Penelitian dilakukan secara non-lapangan (*desk research*) dengan mengandalkan literatur terkini baik dari sumber nasional maupun internasional, sehingga hasilnya diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai peran genetika terapan dalam meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan pertanian di tengah perubahan iklim global.

² KR Saravanan, S. Vennila, S. Suganthi, R. Bhuvaneshwari. Inovasi Genomik dalam Pertanian Berkelanjutan: Menjelajahi Pemuliaan Tanaman dan Kemajuan Genetik, *Jurnal: Arsip Ilmu Tanaman*, 6(3), 2021. DOI: <https://doi.org/10.51470/PSA.2021.6.3.01>

³ Alisha Amare Putridisheva, Siti Naila Nafasya Glen, dan Shafa Safira Azzahra, Pengaruh Teknologi Rekayasa Genetika Terhadap Keberlangsungan Hidup Manusia Ditinjau Dari Pandangan Agama Islam, *Moderasi: Jurnal Kajian Islam Kontemporer*, 1(1) 2023, 1-25.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penerapan Genetika Terapan dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman terhadap Dampak Perubahan Iklim

Perubahan iklim telah menyebabkan ketidakstabilan lingkungan yang berdampak langsung pada sistem pertanian, seperti meningkatnya suhu udara, perubahan pola hujan, serta meningkatnya kejadian kekeringan dan banjir. Kondisi ini menurunkan produktivitas lahan dan memperbesar risiko gagal panen.⁴ Untuk mengatasi hal tersebut, penerapan genetika terapan menjadi langkah strategis dalam membentuk varietas tanaman yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim. Melalui penelitian genetika, ilmuwan dapat mengidentifikasi gen spesifik yang berperan dalam ketahanan terhadap stres lingkungan, seperti gen pengatur toleransi terhadap kekeringan, suhu tinggi, atau salinitas tanah. Dengan menggabungkan gen-gen unggul tersebut ke dalam varietas tanaman lokal, diharapkan dapat dihasilkan tanaman yang tidak hanya tahan terhadap kondisi ekstrem tetapi juga tetap memiliki kualitas dan produktivitas tinggi.

Teknik rekayasa genetika memungkinkan para peneliti untuk melakukan modifikasi langsung pada DNA tanaman guna menambahkan sifat-sifat unggul tertentu.⁵ Contohnya, penyisipan gen dari tanaman yang tahan kekeringan ke dalam varietas padi atau jagung yang sensitif terhadap kekeringan dapat meningkatkan kemampuan tanaman tersebut dalam mempertahankan kandungan air di jaringan sel. Selain itu, pendekatan seperti transgenik dan penyuntingan gen (gene editing) dengan metode CRISPR-Cas9 mampu mempercepat proses adaptasi tanaman terhadap perubahan lingkungan tanpa perlu melalui proses pemuliaan konvensional yang memakan waktu lama. Teknologi ini memungkinkan terciptanya tanaman dengan karakteristik lebih tangguh terhadap kondisi iklim ekstrem dalam waktu yang relatif singkat dan efisien.

Penerapan genetika terapan juga berperan dalam mengurangi ketergantungan petani terhadap bahan kimia pertanian. Dengan menghasilkan tanaman yang secara genetik tahan terhadap hama dan penyakit, penggunaan pestisida dapat diminimalkan sehingga tercipta sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan.⁶ Contohnya, pengembangan tanaman kapas transgenik (Bt cotton) yang memiliki gen *Bacillus thuringiensis* terbukti efektif mengendalikan serangan hama tanpa perlu penyemprotan insektisida berulang. Dampak positif ini tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga menurunkan biaya produksi dan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian.

Penerapan genetika terapan dalam meningkatkan ketahanan tanaman juga membutuhkan dukungan dari aspek kebijakan, pendidikan, dan sosial. Pemerintah dan lembaga penelitian perlu bekerja sama dalam menyediakan regulasi yang mendukung pengembangan bioteknologi pertanian secara aman dan beretika. Petani juga perlu diberikan pelatihan dan sosialisasi mengenai manfaat serta keamanan tanaman hasil rekayasa genetika agar tidak muncul kesalahpahaman di masyarakat.

Dengan sinergi antara inovasi ilmiah, kebijakan pemerintah, dan penerimaan sosial, genetika terapan dapat menjadi solusi nyata dalam menciptakan sistem pertanian yang tangguh, berkelanjutan, dan mampu menghadapi tantangan perubahan iklim global di masa

⁴ Raihan Saputra, Pengaruh Inovasi Teknologi terhadap Produktivitas Pertanian (Study Literature Review), *Jurnal Greenation Pertanian dan Perkebunan*. 2(4), 2024.

⁵ , Turasih dan Lala M Kolopaking, "Climate Change Adaptation Strategy of Upland Farmers (Study of Farmers in Dieng Plateau, Banjarnegara Regency)," *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan* 4, no. 1 (Desember 2021), <https://doi.org/10.22500/sodality.v4i1.14408>.

⁶ Desi Arisanti dan Arif Murtaqi Akhmad Mutsyahidan, "KARAKTERISITIK SIFAT FISIKOKIMIA TEH HERBAL 'SEKAM' (SERAI KOMBINASI KAYU MANIS) SEBAGAI MINUMAN FUNGSIONAL," *Jurnal Technopreneur (JTech)* 6, no. 2 (November 2018): 62, <https://doi.org/10.30869/jtech.v6i2.199>.

depan.

2. Inovasi dan Teknologi Genetika Terapan dalam Mengatasi Penurunan Produktivitas Pertanian

Perubahan iklim telah berdampak besar terhadap penurunan produktivitas pertanian di berbagai wilayah, terutama akibat gangguan cuaca ekstrem, kekeringan berkepanjangan, banjir, dan serangan organisme pengganggu tanaman yang semakin sulit dikendalikan.⁷ Dalam menghadapi tantangan ini, berbagai inovasi dan teknologi genetika terapan dikembangkan untuk menciptakan varietas tanaman yang lebih produktif dan tahan terhadap tekanan lingkungan. Salah satu pendekatan utama adalah rekayasa genetika (genetic engineering), yang memungkinkan penyisipan atau pengubahan gen tertentu guna menghasilkan tanaman dengan sifat unggul seperti toleransi terhadap kekeringan, salinitas tinggi, dan suhu ekstrem. Misalnya, padi hasil modifikasi genetik telah dikembangkan untuk mampu bertahan di lahan yang tergenang air atau justru sangat kering, sehingga dapat menjaga hasil panen tetap stabil di tengah ketidakpastian iklim.

Teknologi CRISPR-Cas9 menjadi salah satu inovasi paling revolusioner dalam genetika terapan modern. Teknologi ini memungkinkan ilmuwan untuk melakukan penyuntingan gen (gene editing) dengan sangat presisi, cepat, dan biaya yang lebih rendah dibandingkan metode sebelumnya.⁸ Melalui CRISPR, gen yang berhubungan dengan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan atau penyakit dapat dimodifikasi tanpa menambahkan DNA asing, sehingga hasilnya lebih diterima oleh masyarakat dan dinilai lebih alami. Contohnya, tanaman tomat dan gandum hasil penyuntingan gen dengan CRISPR terbukti memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap kekeringan dan jamur patogen. Teknologi ini membuka peluang besar untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil pertanian secara berkelanjutan.

Teknologi Marker-Assisted Selection (MAS) atau seleksi berbantuan penanda DNA juga memiliki peranan penting dalam mempercepat pemuliaan tanaman unggul. Dengan metode ini, peneliti dapat dengan cepat mengidentifikasi gen-gen yang diinginkan, seperti gen ketahanan terhadap hama atau efisiensi penyerapan nutrisi, sehingga proses pengembangan varietas baru menjadi lebih efisien.⁹ MAS telah banyak digunakan pada tanaman pangan utama seperti padi, jagung, dan kedelai untuk menghasilkan varietas yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Di sisi lain, teknologi bioteknologi molekuler seperti kultur jaringan dan transformasi genetik juga mendukung proses regenerasi tanaman baru dari sel tunggal, yang memungkinkan replikasi cepat dari varietas unggul yang telah berhasil dikembangkan.

Dengan kemajuan inovasi genetika terapan tersebut, sektor pertanian memiliki peluang besar untuk mempertahankan bahkan meningkatkan produktivitas di tengah ancaman perubahan iklim. Namun, keberhasilan penerapan teknologi ini memerlukan dukungan dari kebijakan pemerintah, penelitian lanjutan, serta peningkatan literasi bioteknologi di kalangan petani. Diperlukan pula pengawasan ketat untuk memastikan bahwa teknologi genetika diterapkan secara aman, etis, dan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem.

⁷ Herlina, L. Pangan Rekayasa Genetika: Perspektif Kesehatan, Hukum Negara dan Agama. *Pendidikan Dan Sosial Budaya*, 2(2), 2022. 206–220.

⁸ Larasati, A. (2023). Standarisasi keamanan pangan produk rekayasa genetika. *Plaza Hukum Indonesia*, 1(1), 2023. 108-129.

⁹ Qaim, M. Role of New Plant Breeding Technologies for Food Security and Sustainable Agricultural Development. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 42(2), 2020. 129–150. <https://doi.org/10.1002/aep.13044>

3. Tantangan dan Peluang dalam Pengembangan serta Penerapan Genetika Terapan di Sektor Pertanian

a. Tantangan dalam Pengembangan serta Penerapan Genetika Terapan di Sektor Pertanian

Perkembangan genetika terapan memberikan harapan besar bagi masa depan pertanian yang lebih tangguh dan adaptif terhadap perubahan iklim. Dalam penerapannya, masih terdapat berbagai hambatan yang perlu diatasi serta peluang besar yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung keberlanjutan pertanian.¹⁰ Tantangan muncul dari aspek teknis, sosial, ekonomi, maupun regulasi, sementara peluang berkembang seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan, dukungan kebijakan, dan kesadaran global akan pentingnya inovasi di bidang pangan. Berikut ini merupakan uraian mengenai tantangan dan peluang dalam pengembangan serta penerapan genetika terapan di sektor pertanian:

Adapun tantangan dalam pengembangan serta penerapan genetika terapan di sektor pertanian:

1) Keterbatasan sumber daya manusia dan fasilitas penelitian

Salah satu kendala utama adalah masih terbatasnya jumlah peneliti dan tenaga ahli di bidang bioteknologi pertanian. Banyak lembaga penelitian dan universitas yang belum memiliki laboratorium modern atau peralatan genetika yang memadai, sehingga proses riset dan pengembangan berjalan lambat. Selain itu, kurangnya pendanaan dari pemerintah maupun sektor swasta juga menghambat keberlanjutan penelitian genetika terapan di Indonesia.¹¹

2) Regulasi yang ketat dan persepsi publik terhadap GMO

Produk hasil rekayasa genetika (Genetically Modified Organisms/GMO) masih sering mendapat penolakan di masyarakat karena kekhawatiran terhadap dampak kesehatan dan lingkungan. Beberapa negara menerapkan kebijakan yang sangat ketat terhadap penggunaan tanaman transgenik. Selain itu, kurangnya edukasi publik membuat pemahaman masyarakat tentang keamanan dan manfaat teknologi ini masih rendah, sehingga diperlukan sosialisasi dan transparansi hasil penelitian agar masyarakat lebih menerima inovasi genetika terapan.

3) Isu etika dan hak paten benih hasil rekayasa genetika

Dalam penerapan genetika terapan, sering muncul perdebatan mengenai kepemilikan benih dan ketergantungan petani terhadap perusahaan bioteknologi besar. Hal ini menimbulkan kekhawatiran bahwa petani kecil akan kehilangan kemandirian karena harus membeli benih hasil paten dengan harga tinggi setiap musim tanam. Oleh sebab itu, perlu adanya kebijakan yang mengatur hak paten secara adil agar hasil inovasi genetika dapat diakses oleh seluruh lapisan masyarakat, khususnya petani kecil.

b. Peluang dalam Pengembangan serta Penerapan Genetika Terapan di Sektor Pertanian

Di balik berbagai tantangan tersebut, genetika terapan justru menyimpan peluang besar dalam memperkuat ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian di masa depan.¹² Adapun peluang didalam pengembangan serta penerapan genetika terapan di sektor pertanian diantaranya adalah:

¹⁰ Retno Muslinawati, Tengku Muda Agam Sakti, dan Wizka Rif'atul Izah, PENGARUH PENGETAHUAN DAN INOVASI TEKNOLOGI TERHADAP KEBERHASILAN USAHA TANI, *DIMENSI*, 14(1) (2025).

¹¹ Warnia Zai, Yuwan Martin Ziliwu, dan Pikirkan Waruwu, "Peran Agroteknologi dalam Meningkatkan Produktivitas Pertanian," *Mikroba : Jurnal Ilmu Tanaman, Sains Dan Teknologi Pertanian* 2, no. 1 (Januari 2025): 110–17, <https://doi.org/10.62951/mikroba.v2i1.251>.

¹² Julvin Saputri Mendrofa dkk., "Peran Teknologi dalam Meningkatkan Efisiensi Pertanian," *Tumbuhan : Publikasi Ilmu Sosiologi Pertanian Dan Ilmu Kehutanan* 1, no. 3 (September 2024): 01–12, <https://doi.org/10.62951/tumbuhan.v1i3.111>.

1) Peningkatan ketahanan pangan dan adaptasi terhadap perubahan iklim

Genetika terapan memiliki potensi besar untuk menghasilkan varietas tanaman unggul yang tahan terhadap kekeringan, hama, dan penyakit. Hal ini membantu menjaga produktivitas pertanian di tengah tantangan perubahan iklim.¹³ Dengan adanya tanaman yang efisien dalam penggunaan air dan pupuk, sistem pertanian menjadi lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2) Pemanfaatan kemajuan teknologi modern

Inovasi seperti CRISPR-Cas9, Marker-Assisted Selection (MAS), serta pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dan big data dalam analisis genetik membuka peluang besar untuk mempercepat penelitian dan pemuliaan tanaman. Kombinasi teknologi ini memungkinkan proses pengembangan varietas baru dilakukan secara lebih cepat, akurat, dan efisien, sehingga memperkuat daya saing pertanian nasional di era globalisasi.

3) Dukungan kebijakan pemerintah dan kerja sama internasional

Banyak negara mulai menyadari pentingnya pengembangan bioteknologi dalam mencapai ketahanan pangan jangka panjang. Pemerintah Indonesia dapat memanfaatkan peluang ini dengan memperkuat kebijakan yang mendukung riset genetika, memperluas kerja sama dengan lembaga internasional, dan meningkatkan kapasitas sumber daya manusia di bidang bioteknologi.¹⁴ Selain itu, kekayaan keanekaragaman hayati lokal menjadi potensi besar bagi Indonesia untuk mengembangkan gen unggul yang dapat digunakan dalam program genetika terapan secara mandiri dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa genetika terapan memiliki peran strategis dalam menjawab tantangan perubahan iklim yang berdampak langsung pada sektor pertanian. Melalui penerapan teknologi seperti rekayasa genetika, CRISPR-Cas9, dan Marker-Assisted Selection (MAS), genetika terapan mampu menciptakan varietas tanaman unggul yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan ekstrem, tahan terhadap hama dan penyakit, serta memiliki produktivitas tinggi. Selain memberikan solusi terhadap penurunan hasil pertanian akibat perubahan iklim, inovasi ini juga mendorong terciptanya sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Namun, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada dukungan kebijakan pemerintah, peningkatan literasi bioteknologi di kalangan petani, serta sinergi antara lembaga penelitian, industri, dan masyarakat. Dengan memanfaatkan peluang dari kemajuan ilmu genetika dan memperkuat regulasi yang berkeadilan, genetika terapan berpotensi besar menjadi fondasi bagi terwujudnya pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan nasional di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arisanti, Desi, dan Arif Murtaqi Akhmad Mutsyahidan. "KARAKTERISITIK SIFAT FISIKOKIMIA TEH HERBAL 'SEKAM' (SERAI KOMBINASI KAYU MANIS) SEBAGAI MINUMAN FUNGSIONAL." *Jurnal Technopreneur (JTech)* 6, no. 2 (November 2018): 62. <https://doi.org/10.30869/jtech.v6i2.199>.
- Bonnu, Christin H. "Potensi dan Tantangan Tanaman Transgenik bagi Ketahanan Pangan Indonesia (Sebuah Tinjauan Literatur)." *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis) : Jurnal Agribisnis dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian* 10, no. 2 (April 2025): 132–43.

¹³ Christin H. Bonnu, "Potensi dan Tantangan Tanaman Transgenik bagi Ketahanan Pangan Indonesia (Sebuah Tinjauan Literatur)," *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis) : Jurnal Agribisnis dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian* 10, no. 2 (April 2025): 132–43, <https://doi.org/10.37149/jia.v10i2.1940>.

¹⁴ Noor Tri Hastuti dkk., "Transformasi Hukum Administrasi Untuk Melindungi Genetik Tanaman Dalam Menghadapi Dampak Iklim," *Konferensi Nasional Asosiasi Pengajar Hukum Tata Negara dan Hukum Administrasi Negara* 2, no. 1 (Desember 2024): 277–306, <https://doi.org/10.55292/fm1gs031>.

- <https://doi.org/10.37149/jia.v10i2.1940>.
- Hastuti, Noor Tri, Jundiani Jundiani, Ernu Widodo, dan Seto Cahyono. “Transformasi Hukum Administrasi Untuk Melindungi Genetik Tanaman Dalam Menghadapi Dampak Iklim.” *Konferensi Nasional Asosiasi Pengajar Hukum Tata Negara dan Hukum Administrasi Negara* 2, no. 1 (Desember 2024): 277–306. <https://doi.org/10.55292/fm1gs031>
- Herlina, L. Pangan Rekayasa Genetika: Perspektif Kesehatan, Hukum Negara dan Agama. Pendidikan Dan Sosial Budaya, 2(2), 2022. 206–220.
- Julvin Saputri Mendrofa, Martirah Warni Zentrato, Nisiyari Halawa, Elias Elwin Zalukhu, dan Natalia Kristiani Lase. “Peran Teknologi dalam Meningkatkan Efisiensi Pertanian.” *Tumbuhan : Publikasi Ilmu Sosiologi Pertanian Dan Ilmu Kehutanan* 1, no. 3 (September 2024): 01–12. <https://doi.org/10.62951/tumbuhan.v1i3.111>
- KR Saravanan, S. Vennila, S. Suganthi, R. Bhuvaneswari. Inovasi Genomik dalam Pertanian Berkelanjutan: Menjelajahi Pemuliaan Tanaman dan Kemajuan Genetik, *Jurnal: Arsip Ilmu Tanaman*, 6(3), 2021. DOI: <https://doi.org/10.51470/PSA.2021.6.3.01>
- Larasati, A. Standarisasi keamanan pangan produk rekayasa genetika. *Plaza Hukum Indonesia*, 1(1), 2023. 108-129.
- Muslinawati, Retno, Tengku Muda Agam Sakti, dan Wizka Rif'atul Izah. PENGARUH PENGETAHUAN DAN INOVASI TEKNOLOGI TERHADAP KEBERHASILAN USAHA TANI. *DIMENSI*, 14(1) (2025).
- Putridisheva, Alisha Amare, Siti Naila Nafasya Glen, dan Shafa Safira Azzahra. Pengaruh Teknologi Rekayasa Genetika Terhadap Keberlangsungan Hidup Manusia Ditinjau Dari Pandangan Agama Islam. *Moderasi: Jurnal Kajian Islam Kontemporer*. 1(1), 2023
- Qaim, M. Role of New Plant Breeding Technologies for Food Security and Sustainable Agricultural Development. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 42(2), 2020. 129–150. <https://doi.org/10.1002/aapp.13044>
- Raihan Saputra, Pengaruh Inovasi Teknologi terhadap Produktivitas Pertanian (Study Literature Review), *Jurnal Greenation Pertanian dan Perkebunan*. 2(4), 2024.
- Robert J. Henry, Inovasi dalam genetika tanaman yang mengadaptasi pertanian terhadap perubahan iklim. *Current Opinion in Plant Biology*, 56. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.11.004>.
- Turasih, dan Lala M Kolopaking. “Climate Change Adaptation Strategy of Upland Farmers (Study of Farmers in Dieng Plateau, Banjarnegara Regency).” *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan* 4, no. 1 (Desember 2021). <https://doi.org/10.22500/sodality.v4i1.14408>.
- Warnia Zai, Yuwan Martin Ziliwu, dan Pikirkan Waruwu. “Peran Agroteknologi dalam Meningkatkan Produktivitas Pertanian.” *Mikroba : Jurnal Ilmu Tanaman, Sains Dan Teknologi Pertanian* 2, no. 1 (Januari 2025): 110–17. <https://doi.org/10.62951/mikroba.v2i1.251>.