



Biogenerasi Vol 10 No 1, 2024

# Biogenerasi

Jurnal Pendidikan Biologi

<https://e-journal.my.id/biogenerasi>



## POTENSI TANAMAN TRANSGENIK UNTUK MENGATASI MASALAH KEKURANGAN GIZI GLOBAL

Andi Nur Veryani<sup>1\*</sup>, Universitas Patempo, Makassar, Indonesia

Yusminah Hala<sup>2</sup>, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

\*Corresponding author E-mail: [andinurveryan90@gmail.com](mailto:andinurveryan90@gmail.com)

### Abstract

Malnutrition is a global problem that has serious impacts on public health, especially in developing countries, where access to nutritious food is often limited. One innovative solution to overcome this problem is through transgenic plant technology, which allows for increased nutritional content in food crops. This study aims to analyze the potential of transgenic plants as a solution to overcome the problem of global malnutrition. The method used in this study is a literature review, by reviewing scientific articles, research reports, and other relevant publications that discuss the development and application of transgenic plants. The results of the study indicate that several transgenic plants in the literature review, such as Golden Rice enriched with beta-carotene to increase vitamin A intake, corn with higher essential amino acids, omega-3 soybeans, and Orange-Fleshed Sweet Potato (OFSP) have great potential in overcoming specific nutritional deficiencies. This study concludes that transgenic plants can be part of a comprehensive solution to the problem of global malnutrition.

**Keywords:** *Transgenic Crops, Malnutrition, Global Nutrition, Literature Review*

### Abstrak

Kekurangan gizi merupakan masalah global yang berdampak serius terhadap kesehatan masyarakat, terutama di negara-negara berkembang, di mana akses terhadap makanan bergizi sering kali terbatas. Salah satu solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan ini adalah melalui teknologi tanaman transgenik, yang memungkinkan peningkatan kandungan nutrisi pada tanaman pangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi tanaman transgenik sebagai solusi untuk mengatasi masalah kekurangan gizi global. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian literatur, dengan menelaah artikel ilmiah, laporan penelitian, dan publikasi relevan lainnya yang membahas pengembangan dan penerapan tanaman transgenik. Hasil kajian menunjukkan bahwa beberapa tanaman kajian literatur transgenik, seperti Golden Rice yang diperkaya beta-karoten untuk meningkatkan asupan vitamin A, jagung dengan asam amino esensial lebih tinggi, kedelai omega-3, dan *Orange Fleshed Sweet Potato* (OFSP) memiliki potensi besar dalam mengatasi defisiensi nutrisi spesifik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa tanaman transgenik dapat menjadi bagian dari solusi komprehensif untuk masalah kekurangan gizi global.

**Kata Kunci:** Tanaman Transgenik, Kekurangan Gizi, Nutrisi Global, Kajian Literatur

© 2024 Universitas Cokroaminoto palopo

Correspondence Author:  
Universitas Patempo

p-ISSN 2573-5163  
e-ISSN 2579-7085

## PENDAHULUAN

Kebutuhan nutrisi global saat ini menjadi salah satu tantangan utama yang harus dihadapi oleh masyarakat dunia, terutama dengan meningkatnya populasi, perubahan iklim, dan distribusi pangan yang tidak merata. Menurut laporan dari Food and Agriculture Organization (FAO, 2021), lebih dari 828 juta orang di seluruh dunia mengalami kelaparan, sementara lebih dari dua miliar lainnya menderita kekurangan mikronutrien seperti zat besi, vitamin A, dan yodium. Kondisi ini berdampak serius pada kesehatan, termasuk peningkatan risiko penyakit kronis dan gangguan pertumbuhan, terutama pada anak-anak di negara berkembang. Salah satu pendekatan yang diusulkan untuk memenuhi kebutuhan nutrisi adalah pemanfaatan pengembangan teknologi pada tanaman pangan.

Bidang bioteknologi dalam pertanian telah membuka peluang baru untuk meningkatkan produktivitas, ketahanan, dan kualitas hasil pertanian (Rahmawati et al., 2023). Dengan memanfaatkan prinsip-prinsip ilmu biologi molekuler, genetika, dan rekayasa genetika, bioteknologi memungkinkan para ilmuwan dan petani untuk mengembangkan tanaman yang lebih tahan terhadap hama, penyakit, serta kondisi lingkungan ekstrem (Tando & Juradi, 2019). Selain itu, inovasi dalam bioteknologi pertanian juga berperan penting dalam menciptakan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, sehingga dapat menjawab tantangan global terkait keamanan pangan dan perubahan iklim. Pendekatan ini memberikan peluang untuk menciptakan tanaman pangan yang tidak hanya mengenyangkan tetapi juga memenuhi kebutuhan gizi yang penting bagi kesehatan masyarakat.

Bioteknologi tanaman transgenik menjadi salah satu inovasi signifikan dalam bidang pertanian modern yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas tanaman. Tanaman transgenik diciptakan melalui proses rekayasa genetika yang memungkinkan penyisipan gen tertentu dari organisme lain untuk memperbaiki karakteristik tanaman. Proses ini tidak hanya mempercepat upaya seleksi sifat unggul dibandingkan metode konvensional tetapi juga membuka peluang baru bagi pengembangan tanaman yang lebih sesuai dengan kebutuhan

pangan global yang semakin meningkat (Susilo, 2021). Tanaman transgenik telah menawarkan solusi inovatif dalam peningkatan kualitas nutrisi tanaman pangan, sehingga memberikan manfaat kesehatan yang lebih besar bagi konsumen. Melalui rekayasa genetika, ilmuwan dapat menambahkan gen yang mengoptimalkan kandungan gizi dalam tanaman, seperti vitamin, mineral, atau asam lemak esensial (Shofiana, 2019).

Pengembangan tanaman transgenik dengan kandungan nutrisi unggul juga mendukung upaya pemenuhan kebutuhan gizi di daerah yang aksesnya terbatas pada makanan bergizi. Dengan menanam varietas tanaman yang memiliki kandungan nutrisi lebih baik, petani dapat berkontribusi dalam meningkatkan kualitas gizi lokal tanpa perlu bergantung pada impor atau suplemen tambahan (Herlanti, 2014). Di samping itu, pendekatan ini memungkinkan masyarakat untuk mendapatkan manfaat kesehatan langsung dari sumber pangan yang tersedia di daerah mereka (Kurniawan & Rondhi, 2020). Dengan potensi ini, bioteknologi tanaman transgenik tidak hanya berfokus pada ketahanan terhadap hama atau peningkatan hasil, tetapi juga pada upaya untuk mendukung kesehatan dan kesejahteraan global melalui nutrisi yang lebih baik.

Salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan gizi tersebut dapat dilakukan melalui teknik rekayasa genetika, yaitu inovasi teknologi dalam bidang bioteknologi dengan teknologi transfer gen dari suatu spesies ke spesies lain (Arrofiq, 2021). Dimana gen interus berupa suatu fragmen DNA ditransformasikan ke dalam sel atau tanaman inang untuk menghasilkan tanaman transgenik yang memiliki sifat baru. Prinsip dasar dari teknologi rekayasa genetika adalah memanipulasi atau melakukan perubahan susunan nukleat dari DNA (gen) atau menyelipkan gen baru ke dalam struktur DNA organisme penerima (Larasati, 2023). Gen yang diselipkan dan organisme penerima dapat berasal dari organisme apa saja.

Pengembangan transgenik memiliki tantangan tersendiri, seperti ketidakpastian dan adanya potensi transformasi genetik dari tetuanya. Adanya keterbatasan pangan diakibatkan karena jumlah produksi yang tersedia tidak memenuhi kebutuhan konsumsi. Selain membantu dalam krisis atau kelangkaan

pangan, transgenik juga berperan dalam meningkatkan jumlah produksi hasil produk pertanian, serta memperbaiki kualitas pangan (Wasilah *et al.*, 2019). Salah satu contoh dengan teknik genetika molekuler, dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas tanaman pangan, serta mengurangi dampak negatif dari cekaman abiotik dan cekaman biotik.

Pengembangan bioteknologi transgenik menghadapi berbagai tantangan, termasuk ketidakpastian dan kemungkinan terjadinya perubahan genetik dari tanaman induk. Keterbatasan pangan sering kali disebabkan oleh produksi yang tidak mencukupi kebutuhan konsumsi dan akan berdampak pada pemenuhan kebutuhan gizi global. Selain menjadi solusi bagi krisis atau kelangkaan pangan, tanaman transgenik juga berkontribusi pada peningkatan hasil produksi pertanian sekaligus memperbaiki kualitas makanan (Wasilah *et al.*, 2019). Sebagai contoh, penerapan teknik genetika molekuler mampu meningkatkan kualitas dan kuantitas tanaman pangan, sekaligus meminimalkan dampak negatif dari cekaman biotik maupun abiotik.

## METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kualitatif yaitu melalui kajian literatur atau penelitian kepustakaan dimana penelitian ini dilakukan dengan cara mencari informasi-informasi dan data berdasarkan sumber literatur yang bertujuan untuk memahami fenomena secara mendalam (Sari, 2020). Tahapan dari studi literatur ini, yaitu perumusan teori dan konsep, mencari sumber literatur, melakukan kajian studi pustaka, dan kemudian melakukan analisis deskriptif. Kajian ini menelaah hasil-hasil penelitian terdahulu berupa artikel ilmiah, laporan penelitian, dan publikasi relevan lainnya yang membahas pengembangan dan penerapan tanaman transgenik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekayasa genetika terhadap pangan dapat menghasilkan produk pangan yang memiliki kandungan gizi dan lengkap (Komalasari *et al.*, 2022). Pendekatan transgenik baru-baru ini yaitu dalam pengembangan varietas tanaman baru dengan produksi lebih tinggi dan kandungan gizi lebih tinggi, lebih tahan hama dan penyakit, serta

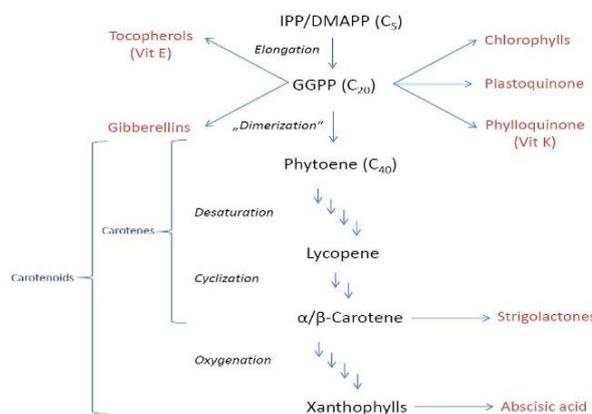
dapat mengurangi kebutuhan pupuk dan bahan kimia pertanian mahal lainnya jika kebutuhannya sudah terpenuhi dari genetik tanaman. Salah satu produk dari tanaman transgenik adalah *Golden Rice*, padi yang direkayasa untuk mengandung provitamin A guna mengurangi risiko kebutaan dan defisiensi vitamin A, terutama di negara berkembang. Contoh lain adalah jagung yang dimodifikasi untuk memiliki kadar asam amino esensial lebih tinggi, seperti lisin, yang penting untuk kesehatan tubuh. Selain itu, tanaman kedelai transgenik telah dikembangkan untuk meningkatkan kandungan asam lemak omega-3, yang berperan dalam kesehatan jantung. Ubi jalar yang diperkaya dengan beta-karoten dan gandum yang mengandung zat besi lebih tinggi juga menjadi inovasi penting dalam upaya meningkatkan nutrisi masyarakat. Dengan teknologi ini, tanaman transgenik tidak hanya memenuhi kebutuhan pangan tetapi juga memberikan manfaat kesehatan tambahan.

### 1. *Golden Rice* (Padi Emas)

Beras merupakan makanan pokok bagi sebagian besar masyarakat dinegara berkembang, sehingga akan sangat menguntungkan apabila beras memiliki kandungan pro-vitamin A. Namun kandungan beta-karoten pada padi hanya terdapat pada jaringan hijau seperti daun, sedangkan bulir beras yang kita konsumsi tidak memiliki kandungan nutrisi tersebut. Salah satu yang menyebabkan rentannya anak-anak terkena penyakit adalah kekurangan nutrisi mikro seperti vitamin A atau zat besi. Beras emas dikembangkan oleh Ingo Potrykus dari ETH Zurich dan Peter Beyer dari Universitas Freiburg (Das *et al.*, 2020). Untuk merakit padi ini, digunakan dua gen dari spesies bukan padi, yaitu gen *cr1* dari bakteri *Erwiniauredovora* dan gen *psy* dari tanaman narsis atau daffodil (*Narcissus pseudonarcissus*). *Golden rice* (beras emas) merupakan kultivar (varietas) transgenik hasil rekayasa genetika yang berasnya mengandung beta-karoten (pro-vitamin A) pada bagian endospermasnya (Wu *et al.*, 2021). Kandungan beta-karoten ini menyebabkan warna berasnya tampak orange kekuningan.

Beta karoten adalah zat warna oranye kekuningan, seperti pada tanaman wortel. Ia terbentuk dari bahan dasar (prekursor) geranyl geranyl diphosphate (GGDP) (Welsch & Li, 2022). Melalui jalur biosintesa, GGDP akan

diubah menjadi phytoene, diteruskan menjadi lycopene, dan selanjutnya diubah lagi menjadi beta karoten (Birla, D. S *et al.*, 2017). Secara alami, dalam biji padi sudah terdapat GGDP, tetapi tidak mampu membentuk beta karoten. Perubahan dari GGDP menjadi phytoene dilaksanakan oleh enzim phytoene synthase (PHY) yang disandi oleh gen phy. Selanjutnya, gen *crtl* mengkode enzim phytoene desaturase yang bertanggung jawab untuk mengubah phytoene menjadi lycopene. Melalui sejumlah proses, maka gen phy, *crtl*, dan *lyc* yang berasal dari tanaman daffodil (bunga narsis/bakung) disisipkan ke tanaman padi sehingga padi mampu memproduksi beta karoten berwarna oranye kekuningan, yang kemudian disebut sebagai *golden rice*.



**Gambar 1. Jalur Biosintesis Karotenoid**

## 2. Quality Protein Maize (QPM) (Jagung Protein Berkualitas)

Jagung merupakan bahan pangan pokok kedua setelah beras, dan banyak dikonsumsi terutama di pedesaan. Jagung banyak diproduksi dan dikonsumsi terutama di daerah marginal, karena mempunyai daya adaptasi yang luas. Namun, jagung mempunyai kualitas protein yang relatif rendah, sehingga tidak dapat mencukupi kebutuhan protein bagi masyarakat kurang mampu, apalagi bagi mereka yang kekurangan gizi. Kandungan protein pada jagung cukup tinggi, yaitu 8-11 persen, namun proteinnya kekurangan dua asam amino esensial, yaitu lisin dan triptofan. Jika jagung tersebut digunakan sebagai pangan pokok, maka manusia yang mengkonsumsinya akan kekurangan asam amino tersebut.

Proses penyisipan genom pada *Quality Protein Maize* (QPM) melibatkan langkah-langkah canggih dalam rekayasa genetika

untuk meningkatkan kandungan asam amino esensial seperti lisin dan triptofan. Proses dimulai dengan isolasi gen target, misalnya gen yang terkait dengan sintesis lisin, dari organisme donor seperti bakteri (Babu & Prasanna, 2014). Gen ini kemudian dimasukkan ke dalam vektor genetik, seperti plasmid, yang dirancang dengan elemen penting seperti promotor kuat untuk mengontrol ekspresi gen dan marker seleksi untuk mempermudah identifikasi. Gen target kemudian disisipkan ke dalam genom jagung menggunakan metode biolistik, di mana partikel kecil yang dilapisi DNA ditembakkan ke jaringan tanaman, atau melalui transformasi dengan *Agrobacterium tumefaciens*, bakteri yang secara alami dapat mentransfer DNA ke tanaman. Sel tanaman yang berhasil ditransformasi dipilih melalui media seleksi yang mengandung antibiotik atau herbisida, tergantung pada marker yang digunakan. Sel-sel ini ditumbuhkan dalam kultur jaringan hingga menjadi tanaman utuh. Setelah itu, verifikasi dilakukan menggunakan teknik seperti PCR untuk memastikan keberhasilan penyisipan gen, diikuti oleh uji biokimia untuk mengevaluasi peningkatan kandungan lisin dan triptofan (Maqbool *et al.*, 2021). Tanaman yang lolos uji stabilitas genetik dan performa agronomis kemudian diuji di lapangan sebelum diproduksi secara komersial untuk memenuhi kebutuhan nutrisi global.

## 3. Kedelai Transgenik

Kedelai atau *soya* adalah bahan pangan yang memiliki nutrisi tinggi dan bisa menjadi solusi untuk meningkatkan status gizi (Lisanti *et al.*, 2021). Meskipun kedelai sudah dikenal sebagai sumber protein nabati yang baik, kandungan omega-3-nya secara alami masih sangat rendah. Omega-3, khususnya EPA (eicosapentaenoic acid) dan DHA (docosahexaenoic acid), umumnya ditemukan dalam ikan laut, yang tidak selalu dapat diakses oleh semua orang, terutama mereka yang menjalani pola makan vegetarian atau vegan. Dengan meningkatkan kandungan omega-3 pada kedelai melalui rekayasa genetika, kedelai dapat menjadi alternatif nabati yang lebih berkelanjutan dan terjangkau bagi masyarakat global, tanpa mengandalkan sumber daya laut yang semakin terbatas. Pengembangan kedelai dengan kandungan

omega-3 juga akan mendukung upaya pemenuhan kebutuhan gizi yang lebih seimbang di seluruh dunia, sekaligus mengurangi ketergantungan pada sumber omega-3 dari ikan.

Proses penyisipan gen pada kedelai transgenik untuk meningkatkan kandungan asam lemak omega-3 dimulai dengan identifikasi gen yang bertanggung jawab atas produksi omega-3, seperti gen desaturase dan elongase, yang mengubah asam lemak biasa menjadi omega-3 (Yeom, *et al.*, 2020). Gen-gen ini umumnya diambil dari organisme yang dapat menghasilkan omega-3, seperti alga atau tanaman tertentu. Setelah gen target diisolasi, gen tersebut dimasukkan ke dalam vektor genetik yang memiliki elemen-elemen penting seperti promotor untuk mengatur ekspresi gen dan marker seleksi untuk memudahkan identifikasi tanaman yang berhasil ditransformasi. Sel yang berhasil menerima gen target kemudian dipilih menggunakan media seleksi dan ditumbuhkan dalam kultur jaringan untuk menghasilkan tanaman kedelai utuh. Tanaman yang dihasilkan kemudian diuji untuk memastikan keberhasilan ekspresi gen dan peningkatan kandungan omega-3, serta untuk memastikan bahwa sifat transgenik tersebut stabil dan dapat diwariskan pada generasi berikutnya.

#### **4. Orange-Fleshed Sweet Potato (OFSP)**

Peningkatan sifat gizi pada ubi jalar bertujuan untuk meningkatkan kesehatan manusia di seluruh populasi. Ada banyak opsi untuk biofortifikasi, di antaranya biofortifikasi genetik dan agronomik yang paling sering digunakan (Bouis & Saltzman, 2017). Orange-fleshed Sweet Potato (OFSP) secara alami sudah mengandung beta-karoten, yang dapat diubah menjadi vitamin A dalam tubuh, tetapi kandungan tersebut masih terbatas di beberapa varietas dan wilayah. Oleh karena itu, dengan meningkatkan kandungan beta-karoten melalui rekayasa genetika, OFSP dapat menjadi sumber provitamin A yang lebih kaya dan lebih stabil (Pati *et al.*, 2022), sehingga dapat membantu mengurangi kekurangan vitamin A di masyarakat yang kesulitan mengakses sumber makanan kaya vitamin A, seperti sayuran hijau atau produk hewani.

Proses pembentukan  $\beta$ -karoten pada ubi jalar oranye melibatkan sintesis karotenoid,

yang merupakan kelompok pigmen alami yang memberikan warna pada tanaman. Sintesis  $\beta$ -karoten ini terjadi melalui jalur biosintesis terpenting, yaitu jalur mevalonat (MVA) dan jalur non-mevalonat (MEP), yang keduanya menghasilkan senyawa prekursor yang diperlukan untuk membentuk karotenoid. Prosesnya dimulai dengan konversi senyawa-senyawa organik, seperti isopentenil pyrophosphate (IPP) dan dimethylallyl pyrophosphate (DMAPP), yang disintesis melalui jalur MEP atau MVA. Kedua senyawa ini kemudian digabungkan untuk membentuk geranylgeranyl pyrophosphate (GGPP), senyawa yang berperan sebagai prekursor utama dalam biosintesis karotenoid. Dari GGPP, sintesis  $\beta$ -karoten dimulai melalui serangkaian langkah yang melibatkan enzim-enzim tertentu, seperti phytoene synthase (PSY) dan phytoene desaturase (PDS), yang mengubah senyawa-senyawa prekursor menjadi  $\beta$ -karoten.

Ubi jalar oranye memiliki aktivitas enzim PSY yang lebih tinggi dibandingkan dengan varietas ubi jalar lain yang memungkinkan tanaman ini menghasilkan lebih banyak  $\beta$ -karoten dalam jaringan dagingnya. Selain itu, faktor genetik juga memainkan peran penting dalam mengatur ekspresi gen yang terlibat dalam sintesis karotenoid, yang diturunkan melalui pemuliaan tanaman untuk meningkatkan kandungan  $\beta$ -karoten. Oleh karena itu, varietas ubi jalar berdaging oranye telah direkayasa secara genetik atau dipilih secara selektif untuk menghasilkan  $\beta$ -karoten dalam jumlah tinggi, menjadikannya sumber utama provitamin A.

Perakitan tanaman transgenik dapat diarahkan untuk memperoleh kultivar tanaman yang memiliki produksi tinggi, nutrisi dan penampilan berkualitas tinggi, maupun resistensi terhadap hama dan penyakit secara cekaman lingkungan. Keberadaan tanaman transgenik dan produknya di pasar dunia telah memicu reaksi masyarakat yang kontroversial (Garg, M *et al.*, 2022). Hal ini disebabkan antara lain produk rekayasa genetika ini merupakan hasil teknologi baru yang belum teruji sebelumnya seperti produk teknologi konvensional yang telah dipakai selama puluhan bahkan ratusan tahun. Namun demikian, sejak produk tanaman transgenik ini dipasarkan pada tahun 1996 tercatat juga penerimaan produk ini di pasaran global yang

dinyatakan oleh pernyataan dari berbagai negara, terutama negara-negara industri, bahwa beberapa produk yang telah dipasarkan aman untuk dikonsumsi manusia dan hewan ternak. Produk tanaman transgenik ini telah diterima di beberapa negara konsumen secara legal, negara-negara tersebut menerima dan menyetujui untuk memasarkan produk tanaman transgenik ini dengan mengeluarkan pernyataan persetujuan (approved) bahwa produk tanaman transgenik ini aman untuk makanan manusia dan ternak. Indonesia salah satu negara agraris dengan mayoritas penduduk memiliki mata pencaharian sebagai petani. Tentu saja sebagai negara agraris lahan pertanian Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pokok masyarakat secara menyeluruh dan dapat menghasilkan bahan pangan sendiri.

## KESIMPULAN

Potensi tanaman transgenik untuk mengatasi masalah kekurangan gizi global menunjukkan

- Arrofiq, M.I. (2021). *Rekayasa Genetika Tanaman Pangan Dalam Pandangan Islam*. Universitas Islam Malang. Malang
- Babu, R., and Prasanna, B. M. (2014). Molecular Breeding for Quality Protein Maize (QPM). In R. Tuberosa (Ed.), *Genomics of Plant Genetic Resources* (pp. 489–505). Springer.
- Birla, D. S., et al. (2017). Progress and Challenges in Improving the Nutritional Quality of Rice (*Oryza sativa* L.). *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57, 2455–2481.
- Bouis, E. H and Saltzman, A. (2017). Improving Nutrition Through Biofortification: A Review Evidence from Harvest Plus, 2003 through 2016. *Glob. Food Sec.*, 12: 49-58.
- Das, P., Adak, S., & Majumder, L. A. (2020). Genetic Manipulation for Improved Nutritional Quality in Rice. *Front. Genet.* 11:776. doi: 10.3389/fgene.2020.00776.
- FAO. (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Garg, M., et al. (2022). Biofortified Crops Generated by Breeding, Agronomy, and

bahwa teknologi transgenik menawarkan solusi signifikan untuk meningkatkan kualitas nutrisi tanaman pangan. Beberapa contoh keberhasilan mencakup pengembangan beras emas (Golden Rice) yang diperkaya vitamin A, jagung transgenik dengan kandungan asam amino esensial yang lebih tinggi, dan ubi jalar transgenik yang mengandung beta-karoten. Tanaman transgenik ini dirancang untuk mengatasi defisiensi mikronutrien seperti vitamin A, zat besi, dan zinc, yang merupakan masalah kesehatan global, terutama di negara berkembang. Selain itu, teknologi ini memungkinkan peningkatan efisiensi hasil pertanian dalam lingkungan yang menantang, seperti tanah miskin hara atau iklim ekstrem, sehingga berkontribusi pada ketahanan pangan. Namun, keberhasilan implementasi tanaman transgenik memerlukan dukungan dari kebijakan yang tepat, penerimaan masyarakat, dan pengawasan ketat untuk memastikan keamanan lingkungan serta kesehatan.

## DAFTAR RUJUKAN

- Transgenic Approaches Are Improving Lives of Millions of People around the World. *Jurnal Agrifoodtech*, Volume 1, Nomor 1.
- Herlanti, Y. (2014). Analysis of Biology Education Students' Argumentation on the Socio-science Issue of Genetically Modified Organism (GMO) Consumption. *Indonesian Journal of Science Education*, 3(1), 51-59. <https://doi.org/10.15294/jpii.v3i1.2901>.
- Komalasari, R., Sariwati, E., & Wahyudin, R. (2022). Pemetaan Tugas Akhir Mahasiswa Institut Pertanian Bogor Komoditas Sagu (*Metroxylon Sagu Rottb.*) Sampai Tahun 2021. *Jurnal Pustakawan Indonesia*, 21(2), 88-108.
- Kurniawan, M. A., & M. Rondhi. (2020). Risk Preferences and Factors Affecting the Scientific Community's Decision to Consume Genetically Engineered Products. *Indonesian Agribusiness Journal*, 8(1), 43-57. <https://doi.org/10.29244/jai.2020.8.1.43-57>.
- Rahmawati, A., Ngaisah, N. F., & Ismaidah. (2023). Kajian Upaya Peningkatan Buah Mangga dengan Aplikasi Bioteknologi Menggunakan Kultur In Vitro pada Tanaman. *Journal of Agribusiness*

- Science and Rural Development (JASRD)*, 2(2), 62–69.
- Larasati, A. (2023). Standarisasi Keamanan Pangan Produk Rekayasa Genetika. *Plaza Hukum Indonesia*, 1(1), 108-129.
- Maqbool, M, A., Issa, A, R, B., & Khokhar, E, S. (2021). Quality Protein Maize (QPM): Importance, Genetics, Timeline of different Events, Breeding Strategies and Varietal Adoption. *Plant Breeding*, 140:375–399.
- Pati, K., et al. (2022). Biofortification in Sweet Potato for Health and Nutrition Security. *Frontiers in Plant Science*, Volume 12.
- Sari, M. (2020). *Penelitian Kepustakaan (Library Research) dalam Penelitian Pendidikan IPA* (M. Sari, Ed.; 1st ed., Vol. 6). Penelitian kepustakaan.
- Shofiana, F. (2021). Tanaman Transgenik Untuk Pertanian Masa Depan Indonesia. Mungkinkah?. *Jurnal Sudut Pandang*, Volume II. No. 8, 21-24.
- Susilo, Hadi. (2019). Analisis Potensi Budidaya Tanaman Transgenik di Indonesia. *Jurnal*: Vol.2 No.1.
- Tando, E., & Juradi, M.A. (2019). Upaya Peningkatan Kualitas Tanaman Kedelai (*Glycine Max* L. Merrill) Melalui Pemanfaatan Bioteknologi Dalam Mengatasi Kelangkaan Pangan. *Agrotek: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 3(2), 113-137.
- Wasilah, U., Rohimah, S., & Su'udi, M. (2019). Perkembangan bioteknologi di Indonesia. *Journal of Science and Technology*, 12(2), 85-90.
- Welsch, R and Li, L. (2022). Chapter One - Golden Rice—Lessons Learned for Inspiring Future Metabolic Engineering Strategies and Synthetic Biology Solutions. *Methods in Enzymology*, Volume 671, Pages 1-29.
- Wu, F., et al. (2021). Allow Golden Rice to Save Lives. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118 (51). <https://orcid.org/0000-0001-9429-8423><sup>h</sup>.
- Yeom, W, W., et al. (2020). Increased Production of  $\alpha$ -Linolenic Acid in Soybean Seeds by Overexpression of *Lesquerella FAD3-1*. *Sec. Plant Biotechnology*, Volume 10 – 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01812>
- Yuwono T. (2012). *Bioteknologi Pertanian*. Gajah Mada University Press. Cetakan Ketiga. 1 - 284.