



# Pelestarian plasma nutfah padi untuk mendukung ketahanan pangan beras Indonesia

Miranda Yustika Elmaria Marbun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Jakarta Pusat, Jakarta 10430, Indonesia.

\* Korespondensi: mirandayustika98@gmail.com

Diterima: 14 Mei 2024

Direvisi akhir: 20 Juli 2024

Disetujui: 31 Agustus 2024

## ABSTRAK

Pembangunan berkelanjutan bertujuan memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan generasi mendatang dengan berfokus pada aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Salah satu komponen pentingnya adalah ketahanan pangan, yang memastikan akses penduduk terhadap pangan bergizi. **Latar Belakang:** Artikel ini membahas tantangan ketahanan pangan di Indonesia, di mana permintaan beras terus meningkat namun produksi belum seimbang. **Metode:** Artikel ini disusun dengan telaah literatur secara deskriptif. **Temuan:** Ditekankan pentingnya metode plasma nutfah dalam mempertahankan keanekaragaman genetik padi, yang merupakan komoditas utama pangan. Penelitian menunjukkan bahwa kultur jaringan dapat mengurangi sumber daya genetik asli padi, sehingga plasma nutfah diusulkan sebagai alternatif untuk meningkatkan produksi tanpa mengorbankan kualitas. **Kesimpulan:** Penulis juga menyoroti relevansi kolaborasi antara pemerintah, petani, dan pihak terkait dalam mencapai ketahanan pangan dan keberlanjutan. **Kebaruan/Orisinalitas artikel ini:** Artikel ini memberikan rekomendasi yang mencakup pengembangan inovatif dalam metode plasma nutfah untuk mengurangi jejak ekologis sambil mempertahankan karakteristik genetik padi.

**KATA KUNCI:** beras; ketahanan pangan; padi; plasma nutfah.

## ABSTRACT

Sustainable development aims to meet current needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs, focusing on economic, social, and environmental aspects. One of its essential components is food security, which ensures access to nutritious food for the population. **Background:** This article discusses the challenges of food security in Indonesia, where the demand for rice continues to rise, yet production remains unbalanced. **Methods:** The article is prepared through a descriptive literature review. **Finding:** The importance of germplasm methods in maintaining the genetic diversity of rice, which is a key food commodity, is emphasized. Research indicates that tissue culture can reduce the original genetic resources of rice, prompting the proposal of germplasm methods as an alternative to increase production without sacrificing quality. **Conclusion:** The author also highlights the relevance of collaboration between the government, farmers, and relevant stakeholders in achieving food security and sustainability. **Novelty/Originality of this article:** This article provides recommendations that include innovative developments in germplasm methods to reduce ecological footprints while maintaining the genetic characteristics of rice.

**KEYWORDS:** rice; food security; paddy; germplasm.

## 1. Pendahuluan

Pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan

### Cara Pengutipan:

Marbun, M. Y. E. (2024). Pelestarian plasma nutfah padi untuk mendukung ketahanan pangan beras Indonesia *JCRECO: Journal of Critical Ecology*, 1(2), 52-59. <https://doi.org/10.61511/jcreco.v1i2.1170>.

**Copyright:** © 2024 dari Penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan dari the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



mereka sendiri (World Commission on Environment and Development [WCED], 1987). Hal ini memiliki kerangka kerja yang komprehensif untuk dapat menyelesaikan permasalahan global dengan berfokus pada tiga aspek, yakni ekonomi, sosial, dan lingkungan (Sachs, 2015). Tujuan utama pembangunan berkelanjutan adalah mengurangi kemiskinan, mengurangi kelaparan, dan menciptakan kesejahteraan bagi seluruh populasi dunia, salah satunya, yaitu pangan (Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development, 2020). Pangan merupakan kebutuhan primer dan perlu dipastikan ketersediaannya untuk keberlangsungan hidup seluruh insan dimuka bumi. Oleh karena itu, konsep ketahanan pangan hadir untuk terwujudnya pemerataan produksi, distribusi, konsumsi hingga kualitas pangan untuk dikonsumsi manusia. Ketahanan pangan adalah kondisi di mana semua atau sebagian besar penduduk dalam suatu populasi memiliki akses harian yang cukup terhadap pangan bergizi untuk hidup aktif dan sehat (Miller & Spoolman, 2016). Hal ini selaras dengan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 yang menyatakan bahwa kebutuhan pangan yang tercukupi dan berkualitas dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat Indonesia. Selain itu, ketahanan pangan dapat terwujud dengan pendekatan nexus air-energi-makanan atau *water-energy-food (WEF)* untuk pembangunan berkelanjutan multiskala demi mengamankan ketiga unsur penting, yakni air, energi, dan pangan dalam situasi peningkatan populasi dan pertumbuhan ekonomi (Lee dkk., 2020). Pangan dihasilkan dari ekosistem buatan yang memiliki lahan basah, yakni sawah.

Ekosistem sawah memiliki keanekaragaman fauna, seperti unggas, mamalia, dan serangga yang berasal dari sawah itu sendiri ataupun yang sengaja dipelihara oleh masyarakat untuk keperluan budidaya atau membantu mereka dalam kegiatan pertaniannya. Selain penghasil beras, sawah juga memiliki manfaat budaya, ekologi, dan sosial. Padi merupakan salah satu tanaman ekosistem sawah yang menghasilkan sumber pangan bagi penduduk Indonesia karena merupakan penghasil karbohidrat terbesar selain gandum, jagung, dan serealia (Food and Agriculture Organization [FAO], 2018). Tanaman ini merupakan salah satu komoditas ekosistem sawah yang memiliki potensi nilai tinggi bagi populasi Indonesia. Pemerintah mengeluarkan peraturan dalam instruksi Presiden (Inpres) RI Nomor 3 Tahun 2007 tentang Kebijakan mengenai beras karena padi merupakan sumber komoditas utama pangan Indonesia dan sebagai jaminan terhadap ketahanan pangan dan stabilitas pangan. Indonesia merupakan negara dengan produktivitas beras tertinggi ketiga selain Cina dan India dengan memproduksi 70,8 ton per tahun (FAO, 2015), hal ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai produksi, ekspor, dan impor beras di sepuluh negara

No.	Negara	Produksi (juta ton)	Ekspor (juta ton)	Impor (juta ton)
1	Cina	206,35	0,4	2,5
2	India	153,8	11,5	0
3	Indonesia	70,8	0	1
4	Bangladesh	52,4	6,5	0
5	Vietnam	45	6,5	0
6	Thailand	34,3	11	0
7	Myanmar	28,9	0,7	0
8	Filipina	18,9	0	1,9
9	Brasil	12,1	0,8	0,6
10	Jepang	10,5	0	0,7

(FAO, 2015)

Keberhasilan ketahanan pangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain, yaitu ketersediaan pangan, keterjangkauan pangan, utilitas pangan, dan stabilitas pangan. Selain itu, ketahanan pangan dapat diwujudkan apabila sistem pangan sudah dikelola dengan baik dan memperhatikan korelasi dari berbagai pihak, tetapi sayangnya, korelasi ini menyebabkan kompleksitas pangan terjadi, yang dapat memengaruhi ketahanan pangan sehingga harus dianalisis dari beberapa dimensi yang berbeda dan konsep

pembangunan berkelanjutan sangat sesuai dengan hal ini (Pujiati dkk., 2020). Peningkatan kuantitas kebutuhan beras di Indonesia terus meningkat karena karakter sosial budaya masyarakat Indonesia menganggap dari zaman dahulu bahwa hanya beras sebagai satu-satunya makanan pokok serta didukung dengan fakta bahwa Indonesia adalah negara agraris dimana mayoritas penduduknya adalah petani dan buruh sehingga mereka membutuhkan karbohidrat yang cukup tinggi, enak untuk dikonsumsi dan relatif murah (Suratha, 2013). Seharusnya, produksi meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, tetapi kenyataan menunjukkan sebaliknya. Hal ini menyebabkan tidak terjadinya keseimbangan antara permintaan dengan produksi beras di Indonesia.

Maka dari itu, untuk mempertahankan keseimbangan tersebut, Indonesia berupaya menstabilkan laju kenaikan produksi dengan peningkatan produktivitas tanaman salah satunya dengan cara melakukan kulturisasi jaringan pada tanaman padi (Gunarsih dkk., 2016). Kultur jaringan merupakan metode isolasi suatu bagian tanaman seperti sel/jaringan yang ditumbuhkan kembali dalam kondisi aseptik bertujuan untuk dapat memperbanyak diri dengan waktu yang singkat, tetapi tetap memiliki sifat yang sama (Hapsoro & Yusnita, 2018) dan mengurangi masalah yang disebabkan oleh faktor abiotis (penurunan kesuburan lahan, kekeringan, kondisi iklim, dan cuaca yang tidak stabil) dan faktor biotis (organisme pengganggu tanaman, yakni hama dan gulma) pada ekosistem sawah (Bahar dkk., 2021) dan mengurangi jejak ekologi berupa ekotoksitas perairan, ekotoksitas terestrial, pengasaman perairan irigasi dan eutrofikasi perairan seperti implementasi kultivar (Khazar & Molai dalam Dastan dkk., 2019). Namun, apabila hal ini dilakukan secara kontinu pada tanaman padi Indonesia dikhawatirkan akan terjadi pemusnahan sumber daya genetik asli tanaman padi yang memiliki karakteristik khusus seperti aroma yang merupakan indikator kategori padi berkualitas. Oleh karena itu, permasalahan yang terjadi sekarang adalah produksi beras nasional belum optimal sehingga dilakukan kultur jaringan pada tanaman padi. Namun, dikhawatirkan ciri khas sumber daya genetik padi di Indonesia seperti aroma dan kualitas beras yang dihasilkan kualitasnya akan menurun sehingga menyebabkan lemahnya ketahanan pangan dibuktikan dengan penurunan kualitas beserta gizi dari sumber makanan pokok masyarakat Indonesia.

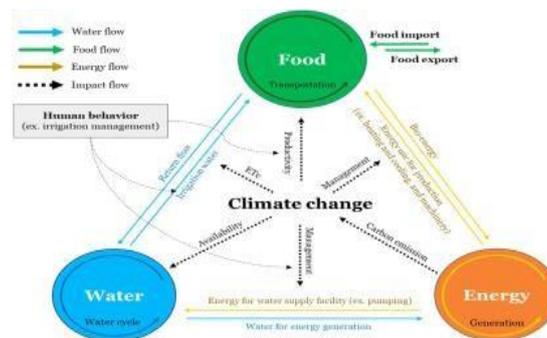
Berdasarkan permasalahan yang ada, penulisan artikel ini bertujuan untuk menguraikan beberapa alternatif solusi untuk meningkatkan produksi padi namun tetap mempertahankan kekhasan dari sumber daya genetiknya untuk pencapaian ketahanan pangan nasional. Penulisan artikel ini membahas tentang metode plasma nutfah dengan bantuan telaah literatur secara deskriptif.

## 2. Hasil dan Pembahasan

Plasma nutfah yang dijelaskan pada penulisan ini bertujuan untuk memahami bagaimana pentingnya untuk mempertahankan substansi pembawa sifat keturunan yang dapat berupa sel dan jaringan pada tumbuhan ataupun hewan. Untuk mendukung ketahanan pangan nasional, plasma nutfah dikatakan penting karena merupakan salah satu kekayaan alam untuk kemajuan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Plasma nutfah yang dimaksud berfokus kepada plasma nutfah padi. Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan padi yang berasal dari Asia yang merupakan keturunan daripada nenek moyangnya, yakni (*O. rufifogon*). *Oryza* pertama berasal dari Miosen tengah (sekitar 14 juta tahun lalu) yang memiliki akselerasi dalam diversifikasi. Hal ini telah dibuktikan dengan berbagai upaya untuk menunjukkan ukuran populasi efektif leluhur dari garis keturunan utama di *Oryza*. Dapat dikatakan bahwa genus *Oryza* terdiri dari 27 spesies yang telah diklasifikasikan menjadi 11 jenis genom yang berbeda berdasarkan penanda molekuler dan analisis sitogenetik antara lain enam diploid ( $n = 12$ : AA, BB, CC, EE, FF dan GG) dan lima adalah allotetraploid ( $n = 24$ : BBCC, CCDD, HHJJ, HHKK, dan KKLL) (31, 113, 121, 170). Genom FF dari padi liar *O. brachyantha* mempunyai serangkaian urutan berulang yang variatif dibandingkan genom lainnya yang menginformasikan keadaan leluhur dan

evolusi dalam genom *Oryza* (Chen dkk., 2019). Seperti yang diketahui, kultur jaringan dari pada padi umumnya berupa kultur beras aromatik, yang merupakan kelompok beras yang terbaik dari sisi kualitas maupun aroma. Varietas yang memiliki aroma padi yang khas memiliki harga yang kompetitif di pasaran.

Aljumaili dkk. (2018) melakukan penelitian dengan tiga varietas lepas dari tiga wilayah (Semenanjung Malaysia, Sabah, dan Sarawak) sebagai kontrol untuk 32 penanda menggunakan metode *simple sequence repeat* (SSR) yang mengkuantifikasi divergensi genetik padi aromatik dan mengidentifikasi aksesori potensial untuk intrograsi ke dalam program orisinal padi yang sudah ditemukan. Analisis varian molekuler (AMOVA) yang telah dilakukan memberi tahu bahwa 11% variasi berasal dari luar populasi dan 89% berasal dari dalam populasi dengan menggunakan ketutuh aksesori sebagai indeks (Acc9993, Acc6288, Acc6893, Acc7580, Acc6009, Acc9956, dan Acc11816). Metode plasma nutfah padi jarang dilakukan dibandingkan metode kultur jaringan pada padi karena plasma nutfah tidak bisa mengurangi faktor biotis yang berada pada ekosistem sawah, yakni wereng. Contoh kasus di persawahan Sumatera Utara yang menerapkan metode plasma nutfah padi, pada sistem persawahannya terdapat beberapa spesies werengdimana taksa yang memiliki kelimpahan tinggi, antara lain, *Nephotettix nigropictus*, *Thaia ghauri*, *Cofana spectra* dan *Recelia dorsalis* dan lebih banyak lagi ketika periode pasca panen (Manurung dkk., 2019). Namun, ketika suatu tanaman dilakukan kultur jaringan seperti padi yang contohnya berasal dari Indonesia, lalu diambil sel/jaringan terbaiknya untuk ditanam kembali di negara lain, seperti Cina, India, dan Jepang, dapat dipastikan bahwa terjadi proses adaptasi terlebih dahulu. Apabila dikalkulasi dalam skala besar akan memiliki pengaruh kepada lainnya. Hal ini dibuktikan dengan adanya migrasi tanaman dalam konteks perubahan iklim di Vietnam. Sisi baiknya adalah dapat meningkatkan produktivitas dari petani, tetapi berpotensi dapat mengganggu siklus ekosistem seperti nexus *WEF*, yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh perubahan iklim terhadap nexus *WEF* (FAO, 2015)

Gambar 1 menunjukkan dampak secara holistik dari perubahan iklim pada nexus *WEF* untuk sistem pertanian. Perubahan iklim dapat mengancam ketahanan pangan dengan adanya indikasi produktivitas yang berubah seperti penurunan produktivitas dan perluasan fluktuasi yang dikhawatirkan memiliki dampak negatif terhadap stabilitas pangan. Perubahan iklim menyebabkan pengaruh terhadap perubahan intensitas curah hujan yang akan memengaruhi kebutuhan air irigasi secara langsung terhadap produktivitas pertanian sehingga tidak adanya efisiensi air irigasi dan fluktuasi yang berubah drastis dapat menurunkan efisiensi fasilitas air seperti waduk di sekitar pertanian. Suhu juga merupakan variabel yang harus diperhatikan untuk pertanian di lahan terbuka. Oleh karena itu, perubahan iklim dapat meningkatkan sensitivitas dari produktivitas padi (Lee dkk., 2020). Selain itu, hasil pemodelan nexus *WEF* membuktikan bahwa terjadinya kesenjangan dalam representasi data spasial antara model optimasi sistem tradisional dengan yang kontemporer karena beberapa faktor, seperti suhu dan iklim, menunjukkan bahwa sistem tradisional (plasma nutfah) lebih optimal dibandingkan kontemporer (kultur jaringan) (Shivakumar dkk., 2021). Plasma nutfah padi memiliki

keunggulan dibandingkan kultivar padi, yakni mampu bertahan hidup dengan suhu rendah. Hal ini dibuktikan dengan percobaan antara kultivar padi dengan plasma nutfah padi pada suhu dingin ataupun sensitif dimana hasil perkecambahan optimal ditunjukkan oleh plasma nutfah padi karena kultivar padi memiliki waktu, biomassa, dan suhu optimal tersendiri supaya tetap dapat berkembang. Selain itu, bibit padi yang dapat bertahan hidup di suhu rendah ( $< 20^{\circ}\text{C}$ ) memiliki akselerasi waktu, ruang dan biaya yang minim serta lebih sedikit sumber daya yang digunakan sehingga lebih efisien dibandingkan metode kultur jaringan padi (Stage, 2021).

Reklamasi daerah dataran rendah dalam daerah delta telah dilakukan. Namun, beberapa kendala produksi utama seperti intrusi air laut dan banjir mengakibatkan kuantifikasi produksi yang rendah dan rentan terhadap risiko sehingga dilakukan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk mengurangi tekanan faktor abiotik pada genetik padi. Revitalisasi plasma nutfah padi pada pesisir delta telah diwujudkan selama satu dasawarsa terakhir. Kategori penelitian terhadap beberapa ketentuan yakni persawahan lokal, varietas toleran cekaman, varietas kontemporer dan genotipe kontemporer dan juga dilihat respon fisiologi terhadap kinerja dan tekanan suatu agronomi. Percobaan di lahan dengan kategori varietas untuk plasma nutfah ini menghasilkan hasil 125% dibandingkan varietas kontemporer yang dipergunakan petani daerah marginal rendah. Varietas ini memberikan dampak yakni varietas toleran banjir yang menempati lebih dari 43.000 ha dataran rendah padi semenjak 2012. Pencapaian ini memberikan peluang untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan di lingkungan delta pesisir dan relevan dengan daerah lain di Asia Selatan dan Tenggara (Rumanti dkk., 2018).

Walaupun beras mempunyai peran penting dalam peningkatan nexus *WEF* untuk kesejahteraan masyarakat, sampai dengan sekarang titik temu pasti untuk kualitas beras belum dapat dipastikan secara sah untuk didefinisikan dan dikuantifikasi sehingga diperlukan tinjauan langsung interdisiplin, yakni persepsi ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek), petani, industri dan konsumen. Studi genetika menyatakan bahwa hubungan antara kualitas beras dan konsumen bersifat heterogen dan setiap perbedaan kualitas selalu dikaitkan dengan diferensiasi wilayah, kota, negara serta faktor migrasi yang telah dilakukan tanaman. Studi tingkatan sosial-ekonomi atau *social economy classes (SEC)* telah dilakukan dan beberapa konsumen memiliki pendapat yang sama bahwa kualitas beras dibagi menjadi beberapa definisi, yakni "beras miskin", "beras baik", dan "beras premium" berdasarkan gradiennya.

Kualitas beras premium di Asia Tenggara lebih menonjolkan sisi nutrisi, aroma, kelembutan, keseragaman bentuk dan ukuran, kepipihan, warna, serta efek mengenyangkan setelah memakannya. Selain konsumen, petani dan manufaktur beras memiliki pandangan persepsi serupa yang menyimpulkan bahwa pemasok rantai makanan (agen/distributor) berhasil menyelaraskan persepsi konsumen, petani dan manufaktur beras di seluruh Asia Tenggara. Terdapat dua program yakni program regional dan program nasional. Program regional dapat memasukkan karakteristik khas regional dari hasil plasma nutfah untuk dilakukan transfer genetik kedalam program nasional sehingga bisa disesuaikan dengan segmen pasar nasional dan dibantu dengan pemasaran logo, pelabelan, pengemasan dan iklan di media massa sehingga konsumen menjadi terbiasa dengan membeli beras hasil plasma nutfah tersebut terutama di Kamboja dan Thailand. Makin banyak rantai nilai beras yang didorong oleh permintaan dengan kontemporerisasi ritel dan globalisasi perdagangan, maka makin mendesak definisi kualitas beras yang seragam. Definisi ini penting bagi konsumen untuk mencocokkan harapan kualitas mereka dengan preferensi mereka; bagi distributor/agen juga penting untuk mencocokkan harapan konsumen dengan pasokan dan harga; bagi petani padi untuk menetapkan target sifat orisinal yang relevan dengan preferensi regional dan segmen pasar lokal; dan kepada pembuat kebijakan untuk menetapkan target yang relevan untuk investasi dalam penelitian pertanian, infrastruktur, dan peningkatan rantai nilai untuk meningkatkan ketahanan pangan dan gizi regional dan nasional (Custodio dkk., 2019).

### 3. Kesimpulan

Kesimpulan dan saran terkait penjelasan di atas, antara lain, adalah sebagai berikut. Pertama, pemerintah harus berpartisipasi secara aktif terkait keberlanjutan pangan di Indonesia terutama padi dengan memenuhi tujuan pembangunan berkelanjutan. Kedua, kolaborasi antara pemerintah dengan pihak yang terkait (petani, distributor, agen, retail, manufaktur, dan konsumen) untuk keberhasilan ketahanan pangan Indonesia.

Ketiga, metode plasma nutfah merupakan metode yang paling sesuai apabila dilihat dari sisi geografi, suhu, iklim, karakter sosial budaya masyarakat Indonesia, nexus *WEF*, dan tetap mempertahankan orisinal genetik padi yang berkualitas (aroma, rasa, warna, ukuran, dan efek mengenyangkan). Keempat, seharusnya dilakukan pengembangan lebih insentif dan inovatif terhadap pengurangan jejak ekologi untuk metode plasma nutfah yang dilakukan oleh para ahli botani/padi di Indonesia.

#### Kontribusi Penulis

Penulis berkontribusi dalam penulisan artikel ini.

#### Pendanaan

Penelitian ini tidak menggunakan pendanaan eksternal.

#### Pernyataan Dewan Peninjau Etis

Tidak berlaku.

#### Pernyataan *Informed Consent*

Tidak berlaku.

#### Pernyataan Ketersediaan Data

Tidak berlaku.

#### Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

#### Akses Terbuka

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media atau format apa pun selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan lain dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat salinan lisensi ini, kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

#### Daftar Pustaka

- Aljumaili, S.J., Rafii, M.Y., Latif, M.A., Sakimin, S.Z., Arolu, I.W., & Miah, G. (2018). Genetic Diversity of Aromatic Rice Germplasm Revealed By SSR Markers. *BioMed Research International*, 2018(1), 1–11. <https://doi.org/10.1155/2018/7658032>.
- Bahar, N.H., Numba, S., & Abdullah, A. (2021). Ketahanan Beberapa Varietas Padi terhadap Penggerek Batang Pada Ekosistem Sawah Masukan Bahan Organik dan Anorganik. *AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 4(2), 41–51. <https://doi.org/10.33096/agrotek.v4i2.131>.

- Chen, E., Huang, X., Tian, Z., Wing, R.A., & Han, B. (2019). The Genomics of *Oryza* Species Provides Insights into Rice Domestication and Heterosis. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 639—665. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100320>.
- Custodio, M.C., Cuevas, R.P., Ynion, J., Laborde, A.G., Velasco, M.L., & Demont, M. (2019). Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists? *Trends in Food Science and Technology*, 92, 122—137. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.039>.
- Dastan, S., Ghareyazie, B., & Pishgar, S.H. (2019). Environmental impacts of transgenic Bt rice and non-Bt rice cultivars in northern Iran. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101160. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101160>.
- Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. (2020). *End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture*. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals/goal2>.
- FAO. (2015). Indonesia to support rice production. Retrieved from <https://www.fao.org/giews/food-prices/food-policies/detail/en/c/329518/>.
- FAO. (2018). FAO in Indonesia. Retrieved from <https://www.fao.org/indonesia/resources/publications/en/>.
- Gunarsih, C., Purwoko, B.S., Dewi, I.S., & Syukur, D.M. (2016). Regenerasi dan Aklimatisasi Kultur Antera Enam Persilangan F1 Padi Sawah. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 44(2), 133—140. <https://doi.org/10.24831/jai.v44i2.13479>.
- Hapsoro, D. & Yusnita. (2018). *Kultur Jaringan: Teori dan Praktik*. Penerbit Andi.
- Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2007 tentang Kebijakan Perberasan. (2012).
- Lee, S.H., Choi, J.Y., Hur, S.O., Taniguchi, M., Masuhara, N., Kim, K.S., Hyun, S., Choi, E., Sung, J.H., & Yoo, S.H. (2020). Food-centric interlinkages in agricultural food-energy-water nexus under climate change and irrigation management. *Resources, Conservation and Recycling*, 163(August), 105099. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105099>.
- Manurung, B., Prastowo, P., & Daulae, A.H. (2019). Community Structure of Leaf- and Planthoppers (Auchenorrhyncha: Hemiptera) on Rice Ecosystem in Samosir Island-Sumatera-Indonesia. *International Journal Of Science and Research*, 6(9), 1412—1417. [https://www.researchgate.net/publication/335328620\\_Community\\_Structure\\_of\\_Leaf\\_and\\_Planthoppers\\_Auchenorrhyncha\\_Hemiptera\\_on\\_Rice\\_Ecosystem\\_in\\_Samosir\\_Island-Sumatera-Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/335328620_Community_Structure_of_Leaf_and_Planthoppers_Auchenorrhyncha_Hemiptera_on_Rice_Ecosystem_in_Samosir_Island-Sumatera-Indonesia).
- Miller, G.T. & Spoolman, S.E. (2016). *Environmental Science* (Fifteenth). CengageLearning.
- Pujiati, S., Pertiwi, A., Silfia, C.C., Ibrahim, D.M., & Nur Hafida, S.H. (2020). Analisis Ketersediaan, Keterjangkauan dan Pemanfaatan Pangan dalam Mendukung Tercapainya Ketahanan Pangan Masyarakat Di Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 16(2), 123—133. <https://doi.org/10.20956/jsep.v16i2.10493>.
- Rumanti, I.A., Hairmansis, A., Nugraha, Y., Nafisah, Susanto, U., Wardana, P., Subandiono, R. E., Zaini, Z., Sembiring, H., Khan, N.I., Singh, R.K., Johnson, D.E., Stuart, A.M., & Kato, Y. (2018). Development of tolerant rice varieties for stress-prone ecosystems in the coastal deltas of Indonesia. *Field Crops Research*, 223(March), 75—82. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.04.006>.
- Sachs, J.D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. Columbia University Press.
- Shivakumar, A., Alfstad, T., & Niet, T. (2021). A clustering approach to improve spatial representation in water-energy-food models. *Environmental Research Letters*, 16(11), 1—22. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac2ce9/meta>.
- Stage, S. (2021). Comparison of Methods to Evaluate Rice (*Oryza sativa*) Germplasm for Tolerance to Low Temperature at the Seedling Stage. *Agronomy*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy11020385>.
- Suratha, K. (2013). Krisis Petani Berdampak pada Ketahanan Pangan di Indonesia. *Media Komunikasi Geografi*, 26(4), 185—197. <https://doi.org/10.23887/mkg.v16i1.10172>.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan. (2012).

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.

### Biografi Penulis

**Miranda Yustika Elmaria Marbun**, Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.

- Email: mirandayustika98@gmail.com
- ORCID: N/A
- Web of Science ResearcherID: N/A
- Scopus Author ID: N/A
- Homepage: N/A