Tumbuhan: Publikasi Ilmu Sosiologi Pertanian dan Ilmu Kehutanan
Volume. 2, Nomor. 1 Tahun 2025
e-ISSN : 3032-758X, dan p-ISSN : 3046-5400, Hal. 116-128
DOI: https://doi.org/10.62951/tumbuhan.v2i1.225
Available online at: https://journal.asritani.or.id/index.php/Tumbuhan

Perspektif Bioetika dan Etika Islam : Penggunaan Metode CRISPR dalam Ketahanan Pangan

Arenalda Nur Rizqita[1*], Chiquita Kamila[2], Mukhtar Ghulam Halim[3], Tri Cahyanto[4], Yuni Kulsum[5]
[1-5]UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia
Email: arenaldanr@gmail.com[1], chiquitakamila2003@gmail.com[2], mukhtarghalim@gmail.com[3], tri_cahyanto@uinsgd.ac.id[4], yunikulsum@uinsgd.ac.id[5]

Alamat: UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Jl. A.H. Nasution No. 105A, Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia
*Korespondensi penulis: arenaldanr@gmail.com**

Abstract. *With the rapid increase in global population and the ongoing depletion of agricultural land, food security faces an escalating threat. CRISPR genetic engineering technology offers immense potential to enhance crop resilience and productivity. However, its application raises significant ethical concerns, both from a bioethical perspective and within the framework of Islamic values. This article examines core principles of bioethics and Islamic ethics to explore the morally conscious integration of genetic technology. Through a comprehensive literature review, it underscores the necessity of a collaborative approach involving scientists, policymakers, and religious leaders to establish ethical guidelines for its responsible use. The findings highlight the critical need to strike a balance between technological innovation and the preservation of moral principles. By adhering to ethical standards rooted in both modern bioethics and Islamic teachings, genetic technologies such as CRISPR can be harnessed to address food security challenges by improving crop productivity and fortifying resistance to diseases and extreme environmental stressors, without compromising moral integrity.*

Keywords: *Bioethics, CRISPR Technology, Crop Resilience.*

Abstrak. Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang semakin cepat dan pengikisan lahan pertanian menyebabkan ketahanan pangan semakin terancam. Teknologi rekayasa genetik CRISPR memiliki potensial dalam meningkatkan kualitas dari segi ketahanan dan produktivitas tanaman, akan tetapi juga memiliki tantangan etis baik dalam bioetika ataupun menurut nilai – nilai Islam. Artikel ini mengidentifikasi prinsip-prinsip dasar bioetika maupun etika Islam untuk mengeksplorasi integrasi teknologi genetik dalam konteks moral yang sesuai. Melalui analisis literatur, artikel ini menekankan pentingnya keputusan antara ilmuwan, pemerintah, dan komunitas agama untuk menetapkan pedoman penggunaan teknologi ini. Hasil menunjukkan bahwa keseimbangan antara inovasi teknologi dan pemeliharaan nilai-nilai etika Islam maupun bioetika sangat penting untuk memastikan kemajuan ilmiah yang memberikan manfaat tanpa melanggar prinsip-prinsip moral. Penggunaan teknologi genetik seperti CRISPR yang mengikuti nilai moral mampu menjadi jawaban dalam mempertahankan ketahanan pangan dengan meningkatkan produktivitas dan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan kondisi lingkungan ekstrem.

Kata kunci: Bioetika, CRISPR, Ketahanan Pangan.

1. LATAR BELAKANG

Dari tahun 1996 hingga 2018, bioteknologi pertanian berkontribusi meningkatkan produktivitas tanaman sebesar 822 juta ton dengan nilai USD 225 miliar, serta melestarikan keanekaragaman hayati dengan menyelamatkan 231 juta hektar lahan. Selain itu, bioteknologi ini meningkatkan pengelolaan lingkungan dengan mengurangi penggunaan pestisida dan bahan kimia hingga 776 juta kg, menurunkan emisi CO2, dan membantu mengentaskan kemiskinan bagi sekitar 16-17 juta petani kecil di negara berkembang. Tujuan utama pengembangan

Received November 17,2024; Revised Desember 07,2024;Accepted Januari 04,2025; Published Januari 08, 2025

tanaman GMO meliputi peningkatan ketahanan terhadap hama, virus, herbisida, dan kekeringan, serta perbaikan nilai gizi, peningkatan hasil panen, dan optimalisasi komponen bahan aktif untuk tanaman industri (Badan Riset Indonesia Nasional, 2024).

Sektor pertanian Indonesia, khususnya produksi padi, mengalami penurunan signifikan akibat fluktuasi cuaca. Pada tahun 2024, luas panen padi diperkirakan mencapai 10,05 juta hektare, menurun 167,25 ribu hektare (1,64%) dibandingkan 2023. Hal ini berdampak pada produksi padi yang diperkirakan hanya 52,66 juta ton GKG, turun 1,32 juta ton (2,45%) dari 53,98 juta ton GKG tahun sebelumnya. Produksi beras untuk konsumsi juga mengalami penurunan, diperkirakan mencapai 30,34 juta ton, berkurang 757,13 ribu ton (2,43%) dari 31,10 juta ton pada 2023. Penurunan ini mencerminkan dampak serius dari perubahan cuaca terhadap ketahanan pangan nasional (Badan Pusat Statistik, 2024).

Dalam menghadapi tantangan perubahan iklim yang mengancam ketahanan pangan global, teknologi CRISPR muncul sebagai solusi inovatif yang dapat membantu meningkatkan hasil panen. Dengan meningkatnya salinitas tanah akibat perubahan iklim, yang sudah merusak sekitar 6% lahan pertanian dunia dan terus bertambah 1%–2% per tahun, petani kecil semakin kesulitan untuk mempertahankan produksi mereka. CRISPR, sebagai alat penyunting genetik, memungkinkan peneliti untuk secara akurat mengubah sifat tanaman agar lebih tahan terhadap stres abiotik, seperti salinitas dan kekeringan. Melalui penerapan teknologi ini, varietas padi yang telah disunting genetiknya menunjukkan peningkatan hasil panen antara 11% hingga 68%. Ini adalah langkah signifikan dalam meningkatkan efisiensi produksi pertanian, terutama di kawasan yang terpengaruh oleh salinitas yang tinggi (Cheema, 2018; Tripathi dkk., 2021; Chele dkk., 2021; Ndudzo, 2024).

CRISPR-Cas9, meskipun efektif dalam pemuliaan tanaman, menghadapi tantangan signifikan terkait efek off-target yang dapat menghasilkan mutasi tidak diinginkan, serta potensi pengenalan alergen atau polutan yang menimbulkan kekhawatiran terhadap keselamatan. Evaluasi biosafety yang ketat diperlukan untuk memastikan bahwa tanaman hasil modifikasi aman untuk konsumsi dan tidak berisiko bagi lingkungan. Ini mencakup analisis toksikologi untuk mengidentifikasi efek buruk pada kesehatan manusia, serta penilaian dampak ekologis seperti aliran gen ke tanaman liar dan pengaruh terhadap organisme non-target. Dengan demikian, meskipun CRISPR-Cas9 memiliki potensi besar dalam meningkatkan hasil pertanian, risiko yang terkait harus ditangani secara serius agar manfaatnya dapat dirasakan secara optimal (Movahedi dkk, 2024).

Melalui pendekatan bioetika Islam, penting untuk mengintegrasikan nilai-nilai etika dalam penggunaan teknologi ini. Penelitian ini menekankan perlunya konsultasi dengan para ulama dan pakar di bidang etika untuk mengembangkan pedoman yang dapat mengarahkan penggunaan CRISPR-Cas9 sesuai dengan prinsip-prinsip Islam. Regulasi yang jelas dan transparan sangat krusial untuk mengawasi praktik rekayasa genetik, memastikan bahwa teknologi ini digunakan secara bertanggung jawab dan bermanfaat bagi umat manusia tanpa merusak keseimbangan ekosistem. Dengan demikian, pendekatan bioetika Islam dapat membantu memitigasi risiko dan meningkatkan manfaat teknologi ini secara holistik.

2. KAJIAN TEORITIS

Metode CRISPR merupakan teknologi rekayasa genetika dengan keunggulan yang mampu mendislokasi materi genetik dengan presisi tinggi dan terkendali dalam waktu yang relatif singkat (Suharyo & Widjanarko, 2023). Oleh karena itu, teknologi rekayasa genetika telah berhasil mengembangkan beberapa tanaman yang tahan terhadap hama ataupun penyakit sehingga berperan penting dalam membangun ketahanan pangan. Berikut beberapa contoh studi kasus dari penggunaan teknologi rekayasa genetik CRISPR-Cas9 :

1. Ketela Pohon

Menurut penelitian Wigati dkk (2022) Kebergantungan masyarakat Indonesia dengan tanaman Padi membuat negara harus terus melakukan impor. Disisi lain, ketela pohon dapat menjadi bahan pangan pokok tetapi memiliki kandungan protein yang kurang dibanding tanaman padi. Teknologi rekayasa genetika CRISPR-Cas9 digunakan untuk menambahkan kandungan protein pada ketela pohon (Gambar 2). Modifikasi tersebut dilakukan dengan merancang satu set RNA panduan tunggal yang menargetkan gen AC3 pengkode protein (Mehta dkk., 2019). Oleh karena itu, penggunaan ketela pohon transgenik sebagai bagian dari program diversifikasi pangan tidak hanya memenuhi kebutuhan pangan, tetapi juga memberikan manfaat

2. Jagung

Produksi jagung dapat menurun hingga 100% apabila terkena penyakit bulai. Hal tersebut dikarenakan infeksi patogen Peronosclerospora spp yang bersifat parasit obligat. Awal mulanya dapat ditangani oleh fungsida, akan tetapi seiring dengan berjalannya waktu mulai timbul gejala resistensi dan virulensi sehingga konsentrasi selalu dinaikkan hingga akhirnya sering kali penyakit bulai tersebut sulit ditangani (Kalqutny dkk., 2020). Oleh karena itu, dilakukan rekayasa genetik dengan metode CRISPR-Cas9 untuk mengitroduksi gen ataupun

delesi gen rentan sehingga meningkatkan kualitas tanaman yang tahan terhadap penyakit (Haque dkkk., 2018).

3. Kedelai

Kedelai merupakan salah satu sumber bahan pangan baku karena dapat diolah menjadi bahan pokok seperti tahu, tempe, susu, dan kecap dengan kandungan protein tinggi yang dimilikinya membuat permintaan selalu meningkat setiap tahun. Pertumbuhan populasi yang cepat juga merupakan tantangan besar bagi pasokan pangan dunia karena menurut Food and Agriculture Organization (FAO) memperkirakan akan terjadi kekurangan pangan global pada tahun 2050. Untuk mencegah hal tersebut, dilakukan pemanfaatan bioteknologi rekayasa genetika metode CRISPR-Cas9 yang dapat mengembangkan varietas unggul sehingga dapat menghasilkan produksi lebih tinggi sebagai bentuk pemenuhan kebutuhan pangan (Rahmawati & Fitrianingsih,2023).

Rekayasa genetika merupakan salah satu teknik pemuliaan tanaman. Teknologi ini memungkinkan gen dari spesies, kelas, atau bahkan kingdom lain dengan sifat yang diinginkan untuk dimasukkan ke dalam genom tanaman target, sehingga tanaman tersebut menunjukkan sifat-sifat unggul yang tidak dapat dikembangkan dengan menggunakan teknik pemuliaan tradisional. Oleh karena itu, teknologi rekayasa genetika CRISPR tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga memberikan solusi terhadap tantangan pengelolaan pertanian (Mendrofa, dkk., 2024).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pustaka yang memanfaatkan model penelitian pemikiran. Proses penelitian ini meliputi beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data, pengolahan data, dan penyajian data. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi, sedangkan analisis data menggunakan metode analisis deskriptif. Objek material dalam penelitian ini adalah pemikiran tentang Bioetika dan Islam, sedangkan objek formal yang dianalisis berfokus pada urgensi penerapan Bioetika. Sumber utama dalam penelitian ini berasal dari buku dan jurnal ilmiah, yang menjadi acuan primer dalam pengumpulan data.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) adalah alat penyuntingan gen dengan presisi tinggi yang memanfaatkan enzim Cas9 sebagai gunting molekuler untuk memotong DNA pada lokasi spesifik yang ditentukan oleh RNA (Gambar 1).Dalam pertanian, CRISPR telah membuka peluang untuk meningkatkan efisiensi produksi, ketahanan tanaman terhadap penyakit, serta adaptasi terhadap perubahan iklim.

Misalnya, pada padi, teknologi ini berhasil menyunting gen SWEET untuk meningkatkan ketahanan terhadap patogen *Xanthomonas oryzae*, sementara pada gandum, gen tertentu disunting untuk mencegah serangan jamur *Puccinia triticina*(Zhang dkk., 2014). Selain itu, CRISPR digunakan untuk memperbaiki hasil panen dengan memodifikasi gen yang mengatur ukuran buah dan efisiensi fotosintesis, seperti gen *OsSPL14* pada padi (Bortesi & Fischer, 2015). Dalam menghadapi tantangan lingkungan, teknologi ini memungkinkan penciptaan tanaman yang lebih tahan terhadap kekeringan, salinitas, dan suhu ekstrem, seperti pada tomat dengan gen *P5CS* (Scheben dkk., 2017). Tidak hanya itu, CRISPR juga membantu meningkatkan nilai nutrisi tanaman, misalnya pada "Golden Rice" yang diperkaya beta-karoten, serta mengurangi kebutuhan akan pestisida dan pupuk melalui tanaman yang lebih tahan hama dan efisien dalam penyerapan nutrisi (Tang dkk., 2017).

Keunggulan CRISPR mencakup efisiensinya yang tinggi, kemampuannya menyunting gen secara presisi, dan fleksibilitas untuk menyunting beberapa gen sekaligus. Namun, teknologi ini menghadapi tantangan seperti keamanan pangan jangka panjang, penerimaan publik yang skeptis terhadap bioteknologi, dan perbedaan regulasi di berbagai negara (Bortesi & Fischer, 2015). Meski demikian, potensi CRISPR dalam pertanian sangat besar, dengan aplikasi yang dapat meningkatkan produktivitas, keberlanjutan, dan kualitas pangan (Zhang dkk., 2014; Scheben dkk., 2017).

Teknologi CRISPR menawarkan potensi besar untuk merevolusi berbagai bidang, termasuk kesehatan, pertanian, dan bioteknologi. Namun, penggunaannya menimbulkan sejumlah pertanyaan bioetika yang penting. Dalam konteks pertanian, misalnya, meskipun CRISPR dapat meningkatkan hasil panen dan ketahanan tanaman, ada kekhawatiran bahwa teknologi ini dapat mengakibatkan dominasi oleh perusahaan besar yang memiliki hak paten atas modifikasi genetik tertentu, sehingga memperparah ketimpangan akses antara negara maju dan berkembang (Saha dkk., 2021). Selain itu, muncul pertanyaan tentang dampak jangka panjang dari organisme hasil rekayasa genetik (OHG) terhadap ekosistem, seperti potensi penyebaran gen yang tidak diinginkan ke spesies liar, yang dapat mengganggu keseimbangan alam (Kuzma, 2020).

Dalam kesehatan, aplikasi CRISPR pada manusia memunculkan dilema moral terkait penyuntingan genom germline yang dapat diwariskan ke generasi berikutnya. Penyuntingan ini, meskipun dapat menghilangkan penyakit genetik, juga berisiko menciptakan kesenjangan sosial karena potensi penyalahgunaannya untuk tujuan non-medis, seperti peningkatan kecerdasan atau penampilan fisik. Risiko efek samping atau mutasi off-target yang tidak diinginkan juga menambah kompleksitas bioetika, terutama jika pengujian dilakukan pada

embrio manusia (Baylis, 2020). Perdebatan lain mencakup isu keadilan, di mana teknologi ini mungkin hanya dapat diakses oleh kelompok masyarakat tertentu, memperburuk ketimpangan kesehatan global (Lander dkk., 2019).

Di sisi regulasi, perbedaan kebijakan antara negara-negara menambah tantangan bioetika. Beberapa negara seperti Cina lebih longgar dalam mengadopsi teknologi CRISPR, sementara negara lain, seperti sebagian besar di Eropa, memiliki regulasi ketat yang membatasi penggunaannya. Hal ini memunculkan kekhawatiran terkait "wisata genetik" (genetic tourism), di mana individu bepergian ke negara-negara dengan regulasi lebih longgar untuk melakukan penyuntingan genetik (Cohen, 2020). Akibatnya, diperlukan kerangka kerja global yang memastikan bahwa CRISPR digunakan dengan cara yang etis, aman, dan bertanggung jawab.

Meski tantangan etis ini signifikan, CRISPR tetap memiliki potensi besar untuk menyelesaikan masalah global, seperti kelaparan dan penyakit genetik. Namun, untuk memastikan manfaatnya dapat dinikmati secara adil, diperlukan dialog yang melibatkan ilmuwan, pemerintah, masyarakat sipil, dan pemangku kepentingan lainnya. Pendekatan ini harus menekankan transparansi, akuntabilitas, dan pengambilan keputusan yang berbasis bukti (Jasanoff dkk., 2018). Dengan demikian, teknologi ini dapat digunakan secara berkelanjutan dan bertanggung jawab, tanpa mengorbankan prinsip-prinsip moral dan etika.

Bioetika dalam Islam berakar pada prinsip-prinsip moral dan hukum yang bersumber dari Al-Qur'an, Hadis, serta ijtihad para ulama. Salah satu nilai inti dalam bioetika Islam adalah prinsip *maslahah* (kemaslahatan), yaitu bahwa tindakan yang diambil harus mendatangkan manfaat dan mencegah kemudaratan. Prinsip ini relevan dalam teknologi biomedis, termasuk penyuntingan genetik seperti CRISPR. Dalam Islam, inovasi teknologi seperti ini dapat diterima asalkan bertujuan untuk memperbaiki kesehatan, meningkatkan kesejahteraan, dan tidak bertentangan dengan syariat, seperti melindungi kehidupan manusia sebagaimana yang dijelaskan dalam QS. Al-Maidah: 32, "Barang siapa yang memelihara kehidupan seorang manusia, maka seolah-olah ia telah memelihara kehidupan seluruh manusia" (Moosa, 2020).

Nilai lain yang menjadi landasan bioetika Islam adalah *hifz al-nafs* (perlindungan jiwa). Dalam konteks bioteknologi, perlindungan jiwa berarti bahwa segala intervensi medis, termasuk rekayasa genetika, harus mempertimbangkan keamanan pasien dan menghindari risiko yang dapat merusak kehidupan manusia. Misalnya, penyuntingan genom yang melibatkan embrio manusia untuk tujuan terapeutik dapat dipertimbangkan sebagai tindakan yang sesuai syariat, selama dilakukan dengan kehati-hatian tinggi dan niat untuk menyembuhkan penyakit bawaan (Ghaly, 2015). Namun, Islam menolak eksperimen yang tidak bertujuan jelas atau yang dapat membahayakan kehidupan manusia, seperti

penyalahgunaan teknologi ini untuk tujuan non-medis, yang dapat melanggar prinsip *hifz al-'irdh* (perlindungan kehormatan) dan *hifz al-'aql* (perlindungan akal).

Prinsip keadilan (*'adalah*) juga menjadi aspek penting dalam bioetika Islam. Keadilan menuntut bahwa teknologi biomedis, seperti CRISPR, harus diakses secara merata oleh semua kalangan tanpa diskriminasi. Hal ini sejalan dengan ajaran Islam yang mengutamakan kesetaraan manusia di hadapan Allah SWT. Dalam konteks global, Islam menekankan pentingnya mencegah monopoli teknologi oleh pihak tertentu yang dapat memperburuk kesenjangan sosial, sebagaimana tercermin dalam QS. Al-Hashr: 7, "Agar harta itu jangan hanya beredar di antara orang-orang kaya saja di antara kamu" (Khalil, 2021).

Di sisi lain, nilai Islam juga menekankan pentingnya menjaga keseimbangan ekologis (*mizan*), sebagaimana yang disebutkan dalam QS. Ar-Rahman: 7-9. Dalam penerapan bioteknologi, prinsip ini mengingatkan manusia untuk berhati-hati terhadap dampak lingkungan dari penggunaan organisme hasil rekayasa genetika (OHG). Islam mengajarkan bahwa manusia adalah khalifah di bumi yang memiliki tanggung jawab untuk menjaga alam dan tidak merusaknya (Kamali, 2013). Oleh karena itu, pengembangan bioteknologi harus mempertimbangkan dampaknya terhadap ekosistem, seperti potensi kerusakan genetik pada spesies liar.

Teknologi yang paling sering digunakan untuk memperoleh spesies tanaman unggul adalah penyilangan antar spesies sehingga memperoleh tanaman yang maksimal dari segi jumlah, ukuran, dan ketahanan terhadap penyakit (Suharyo & Widjanarko, 2023). Akan tetapi, teknologi rekayasa genetika seperti *CRISPR* menunjukkan keunggulan yang jauh lebih menguntungkan karena mampu memodifikasi gen tanaman untuk meningkatkan pertumbuhan, ketahanan penyakit, dan sifat – sifat lain yang menguntungkan dalam waktu yang relatif singkat (Huda, dkk., 2024). Adapun contoh penggunaan metode *CRISPR*yaitu pada tanaman kedelai yang mendegradasi pembentukan lignin sehingga dapat dimanfaatkan menjadi biofuel. (Semiart, 2022). Dalam sudut pandang bioetika, meskipun teknologi *CRISPR* memiliki potensi yang baik dalam meningkatkan kesehatan tetap harus mempertimbangkan beberapa aspek seperti keamanan, efikasi, keadilan, dan dampak lingkungan (Zulkifli, 2022). Hal tersebut merujuk pada tugas para ilmuwan dalam mengambil kebijakan dengan tanggung jawab yang etis dan sejalan dengan nilai – nilai kemanusiaan maupun keadilan sosial (Amalia & Hilmi, 2024).

Menurut Bahagiawati dkk (2019) Teknologi rekayasa genetik dengan *CRISPR* atau *genome editing* memiliki perubahan yang paling kecil dan mudah dilacak pada komposisi DNA-nya dibanding metode persilangan dan mutasi DNA konvensional. Adapun efikasi dari

metode *CRISPR* diketahui memiliki kemampuan dalam melakukan mutasi DNA pada genom berukuran besar melalui pendekatan transgenik dengan integrasi T-DNA yang membawa *CRISPR-Cas9*. Kedua elemen ini dapat dipisahkan menggunakan metode segregasi, sehingga tidak meninggalkan penanda genetik (Sophia dkk., 2019).

Dalam sudut pandang islam, metode *CRISPR* yang merupakan teknologi rekayasa saat ini menunjukkan kemajuan umatnya dalam melakukan penelitian dan eksperimen di berbagai bidang. Sebagaimana yang tercantum dalam QS. Ali – Imran ayat 190-191 yang membahas bahwa kita dapat mengetahui kebenaran tentang segala sesuatu yang ada di langit dan bumi yang masih perlahan terbukti seiring berkembangnya teknologi (Amalia & Hilmi, 2024). Sebagai negara dengan penduduk mayoritas beragama islam, pemerintah mengatur ketentuan halal tidaknya suatu produk pangan dari hasil bioteknologi. Sehingga, MUI mengeluarkan fatwa mengenai rekayasa genetika dan produknya yang tercantum dalam Fatwa MUI Nomor 35 Tahun 2013. Adapun Fatwa MUI mengenai rekayasa genetika pada tumbuhan sebagai berikut :

1. Melakukan rekayasa genetika terhadap hewan, tumbuhtumbuhan dan mikroba (jasad renik) adalah mubah (boleh), dengan syarat :
   - Dilakukan untuk kemaslahatan (bermanfaat);
   - Tidak membahayakan (tidak menimbulkan mudharat), baik pada manusia maupun lingkungan; dan
   - Tidak menggunakan gen atau bagian lain yang berasal dari tubuh manusia.
2. Tumbuh-tumbuhan hasil rekayasa genetika adalah halal dan boleh digunakan, dengan syarat :
   - Bermanfaat; dan
   - Tidak membahayakan
3. Produk hasil rekayasa genetika pada produk pangan, obatobatan, dan kosmetika adalah halal dengan syarat :
   - Bermanfaat
   - Tidak membahayakan; dan
   - Sumber asal gen pada produk rekayasa genetika bukan berasal dari yang haram.

Matriks Etika

Matriks etika Mepham adalah sebuah kerangka kerja analitis yang dirancang untuk mengevaluasi aspek etis dari suatu teknologi atau kebijakan dengan mempertimbangkan berbagai perspektif pemangku kepentingan. Matriks ini dikembangkan oleh Ben Mepham sebagai pendekatan untuk mengeksplorasi keseimbangan antara manfaat, risiko, dan dampak

teknologi terhadap manusia, lingkungan, serta keadilan sosial. Dalam konteks teknologi CRISPR untuk ketahanan pangan, matriks ini dapat digunakan untuk menilai penerapan teknologi dari sudut pandang bioetika umum maupun etika Islam, sehingga menghasilkan panduan yang inklusif, adil, dan bertanggung jawab.

Prinsip-prinsip dalam matriks Mepham mencakup kesejahteraan (well-being), otonomi (autonomy), keadilan (justice), keberlanjutan (sustainability), dan keselamatan (safety). Setiap prinsip ini dievaluasi berdasarkan nilai etika yang relevan, seperti manfaat teknologi, dampak terhadap lingkungan, keadilan dalam distribusi, dan penerimaan sosial. Dalam Islam, prinsip-prinsip tersebut memiliki padanan nilai-nilai moral, seperti *maslahah*, *'adalah*, *mizan*, *hifz al-nafs*, dan ijtihad dalam menghadapi tantangan baru. Matriks ini memberikan kerangka sistematis untuk menimbang manfaat dan risiko, baik dari perspektif ilmiah maupun keagamaan, sehingga membantu pembuat kebijakan dan ilmuwan mengintegrasikan teknologi CRISPR secara bertanggung jawab dalam upaya menjaga ketahanan pangan global.

Tabel 1 Konsep matriks (Mepham, 1996) :

Prinsip	Bioetika Umum	Etika Islam
Kesejahteraan	- Teknologi CRISPR meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan, salinitas, dan patogen (contoh: padi dan jagung). - Memperbaiki nilai gizi seperti meningkatkan kandungan beta-karoten pada Golden Rice dan protein pada ketela pohon. - Diversifikasi pangan untuk mencegah ketergantungan pada padi.	- Prinsip *Maslahah*: Teknologi dapat diterima jika bertujuan untuk kesejahteraan umat, seperti mengurangi kelaparan dan meningkatkan kualitas hidup. - Sebagaimana tercantum dalam QS. Al-Maidah: 32, setiap inovasi yang melindungi kehidupan manusia sangat dianjurkan.
Autonomi	- Memberikan pilihan kepada petani untuk menggunakan teknologi ini sebagai solusi ketahanan pangan yang lebih efisien dibandingkan teknik pemuliaan konvensional. - Potensi hilangnya otonomi petani jika teknologi ini dimonopoli oleh korporasi besar.	- Perlu konsultasi dengan ulama dan komunitas agama untuk memastikan penerapan CRISPR sejalan dengan nilai-nilai syariat. - Peran *ijtihad* ulama diperlukan untuk menetapkan hukum penggunaan teknologi baru dalam konteks Islam.
Keadilan	- Kekhawatiran bahwa hak paten atas tanaman hasil rekayasa genetik akan memperburuk kesenjangan antara negara maju dan berkembang. - Tantangan akses bagi petani kecil di negara berkembang.	- Prinsip *'Adalah*: Islam menuntut distribusi yang adil dari teknologi dan hasilnya. - QS. Al-Hashr: 7 menekankan agar sumber daya tidak hanya dikuasai oleh kelompok tertentu. - Teknologi harus mendukung keadilan sosial dan tidak diskriminatif.
Keberlanjutan	- Risiko ekologis, seperti aliran gen ke spesies liar, yang dapat merusak keseimbangan ekosistem. - Teknologi CRISPR dapat mengurangi penggunaan pestisida	- Prinsip *Mizan* (keseimbangan): QS. Ar-Rahman: 7-9 menyerukan umat Islam untuk menjaga keseimbangan lingkungan. - CRISPR harus digunakan dengan mempertimbangkan dampaknya

	dan bahan kimia, berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.	terhadap alam dan tidak menyebabkan kerusakan jangka panjang.
Keamanan	- Efek *off-target* dapat menghasilkan mutasi yang tidak diinginkan, meningkatkan risiko bagi konsumen dan ekosistem. - Potensi timbulnya alergen dan polutan pada organisme hasil rekayasa genetik (OHG).	- Prinsip *Hifz al-Nafs* (perlindungan jiwa): QS. Ali Imran: 190-191 menekankan pentingnya penggunaan ilmu pengetahuan untuk tujuan yang bermanfaat dan aman. - Teknologi yang menimbulkan mudharat bagi manusia atau lingkungan tidak dapat diterima secara syariat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Teknologi CRISPR menawarkan potensi besar untuk meningkatkan ketahanan pangan global melalui penyuntingan genetik yang presisi dan efisien. Dalam konteks ketahanan pangan, teknologi ini mampu menciptakan tanaman yang lebih tahan terhadap perubahan iklim, penyakit, dan kondisi lingkungan ekstrem. Namun, penerapan teknologi ini juga menghadirkan tantangan terkait risiko keamanan, dampak lingkungan, dan implikasi etis, baik dalam konteks bioetika umum maupun nilai-nilai Islam.

Pendekatan bioetika Islam menekankan prinsip maslahah (kemaslahatan), hifz al-nafs (perlindungan jiwa), dan keadilan dalam penggunaan teknologi ini. Selain itu, fatwa dan regulasi berbasis syariat Islam memberikan panduan penting untuk memastikan penggunaan CRISPR sesuai dengan nilai moral, tidak merugikan manusia, dan menjaga keseimbangan ekosistem. Studi kasus penggunaan CRISPR pada tanaman seperti padi, jagung, dan kedelai menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga memberikan peluang untuk diversifikasi pangan.

Untuk memastikan manfaatnya dapat dinikmati secara adil dan berkelanjutan, diperlukan kolaborasi antara ilmuwan, regulator, dan komunitas agama dalam merumuskan pedoman yang etis dan transparan. Dengan mengintegrasikan prinsip bioetika Islam dalam penerapan teknologi CRISPR, diharapkan inovasi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi ketahanan pangan tanpa melanggar prinsip moral dan etika.

DAFTAR REFERENSI

Amalia, A. Z., & Hilmi, N. (2024). Etika pengobatan/rekayasa genetik dalam Islam sebagai implikasi untuk terapi gen dan teknologi DNA serta tantangan kontemporer. *Jurnal Medika Nusantara, 2*(4), 56–64.

Badan Pusat Statistik. (2024, Oktober 15). Luas panen padi tahun 2024 diperkirakan sebesar 10,05 juta hektare dengan produksi padi sekitar 52,66 juta ton gabah kering giling (GKG). *Badan Pusat Statistik.* https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2024/10/15/2376/luas-panen-padi-tahun-2024-diperkirakan-sebesar-10-05-juta-hektare-dengan-produksi-padi-sekitar-52-66-juta-ton-gabah-kering-giling--gkg--.html

Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2024, Januari 30). Tanaman transgenik dalam menjawab tantangan ketahanan pangan. Diakses dari https://www.brin.go.id/news/117425/tanaman-transgenik-dalam-menjawab-tantangan-ketahanan-pangan

Bahagiawati, S., Satyawan, D., & Santoso, T. J. (2019). Tanaman hasil genome editing dan tantangan pengaturan keamanannya di Indonesia. *Jurnal AgroBiogen, 15*(2), 93–106.

Baylis, F. (2020). Human germline editing: Ethics and policy. *The New England Journal of Medicine, 382*(22), 2081–2083. https://doi.org/10.1056/NEJMp1914215

Bortesi, L., & Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology Advances, 33*(1), 41–52.

Cheema, K. K. (2018). Plant breeding, its applications and future prospects. *International Journal of Engineering Technology Science Research, 5,* 88–94. https://doi.org/10.4236/jss.2016.43010

Chele, K. H., Tinte, M. M., Piater, L. A., Dubery, I. A., & Tugizimana, F. (2021). Soil salinity, a serious environmental issue and plant responses: A metabolomics perspective. *Metabolites, 11*(7), Article 724. https://doi.org/10.3390/metabo11110724

Cohen, I. G. (2020). Genetic tourism and the regulation of genome editing. *Science, 368*(6487), 335–337. https://doi.org/10.1126/science.aba2936

Haque, E., Taniguchi, H., Hassan, M. M., Bhowmik, P., Karim, M. R., Śmiech, M., ... & Islam, T. (2018). Application of CRISPR/Cas9 genome editing technology for the improvement of crops cultivated in tropical climates: Recent progress, prospects, and challenges. *Frontiers in Plant Science, 9*, 617.

Huda, M. K., Sulasmi, S. S. T., Keb, M. T., Mukhoyyaroh, Q., Nasution, J., Sadat, L. A., ... & Muhsinin, S. (2024). *Biologi dasar.* Cendikia Mulia Mandiri.

Jasanoff, S., Hurlbut, J. B., & Saha, K. (2018). CRISPR democracy: Gene editing and the need for inclusive deliberation. *Issues in Science and Technology, 34*(1), 25–29. https://issues.org/crispr-democracy/

Kalqutny, S. H., Pakki, S., & Muis, A. (2020). Potensi pemanfaatan teknik molekuler berbasis DNA dalam penelitian penyakit bulai pada jagung. *AGROSAINSTEK: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian, 4*(1), 17–27.

Kumlehn, J., Pietralla, J., Hensel, G., Pacher, M., & Puchta, H. (2018). The CRISPR/Cas revolution continues: From efficient gene editing for crop breeding to plant synthetic biology. *Journal of Integrative Plant Biology, 60*(12), 1127–1153.

Kuzma, J. (2020). Uncertainty and risks in the use of CRISPR in agriculture. *Nature Plants, 6*(5), 386–392. https://doi.org/10.1038/s41477-020-0652-3

Lander, E. S., Baylis, F., Zhang, F., & dkk. (2019). Adopt a moratorium on heritable genome editing. *Nature, 567*(7747), 165–168. https://doi.org/10.1038/d41586-019-00726-5

Mendrofa, J. S., Zendrato, M. W., Halawa, N., Zalukhu, E. E., & Lase, N. K. (2024). Peran teknologi dalam meningkatkan efisiensi pertanian. *Tumbuhan: Publikasi Ilmu Sosiologi Pertanian dan Ilmu Kehutanan, 1*(3), 1–12.

Mepham, B. (1996). Ethical analysis of food biotechnologies: An evaluative framework. In *Food ethics* (pp. 101–119). Routledge.

Movahedi, A., Aghaei-Dargiri, S., Li, H., Zhuge, Q., & Sun, W. (2023). CRISPR variants for gene editing in plants: Biosafety risks and future directions. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(22), Article 16241. https://doi.org/10.3390/ijms242216241

Ndudzo, A., Makuvise, A. S., Moyo, S., & Bobo, E. D. (2024). CRISPR-Cas9 genome editing in crop breeding for climate change resilience: Implications for smallholder farmers in Africa. *Journal of Agriculture and Food Research, 16,* 101132. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101132

Rahmawati, A., & Fitrianingsih, D. (2023). Aplikasi bioteknologi pada tanaman sebagai alternatif pencegahan krisis pangan. *Agritechpedia: Journal of Agriculture and Technology, 1*(1), 57–63.

Saha, K., Chan, S., & Wilson, S. (2021). Ethics of CRISPR-Cas9 applications in agriculture. *Nature Biotechnology, 39*(1), 2–6. https://doi.org/10.1038/s41587-021-00802-3

Scheben, A., Wolter, F., Batley, J., & dkk. (2017). Towards CRISPR/Cas crops—Bringing together genomics and genome editing. *New Phytologist, 216*(3), 682–698.

Semiarti, E. (2022). Optimalisasi pemanfaatan teknik kultur jaringan tumbuhan dalam mendukung SDGs 2030 melalui sains dan entrepreneurship. Dalam *Seminar Nasional Sains dan Entrepreneurship.*

Sophia, S., Antony, M., Ashan, M. A., Fadhullah, H., & Jannah, R. M. (2023). Metode CRISPR/CAS dan minimalisasi off-target. *Agriculture and Biological Technology, 1*(1), 17–30.

Suharyo, S., & Widjanarko, B. (2023). Pengendalian vektor nyamuk demam berdarah melalui rekayasa genetika serta perspektif bioetika. *Bookchapter Kesehatan Masyarakat Universitas Negeri Semarang, 3,* 25–46.

Tang, X., Liu, G., Zhou, J., & dkk. (2017). A CRISPR/Cas9-based strategy for rapid and efficient site-specific mutagenesis in *Brachypodium distachyon*. *Scientific Reports, 7*, 7839.

Tripathi, L., Tripathi, J., & Goodman, R. (2021). Controlling banana Xanthomonas wilt disease in East Africa. *Open Access Government.* https://www.openaccessgovernment.org/controlling-banana-xanthomonas-wilt-disease-in-east-africa/117771/

Wigati, M. N., Amini, N. F., & Novianto, E. D. (2022). Inovasi ubi kayu transgenik menggunakan teknologi CRISPR-CAS9 sebagai upaya pemenuhan kebutuhan pangan masa depan. *Biocelebes, 16*(2), 163–170.

Zhang, H., Zhang, J., Wei, P., & dkk. (2014). The CRISPR/Cas9 system: A novel tool for genome editing and its potential application for crop improvement. *Frontiers in Plant Science, 5*, 778.

Zulkifli, N. A. (2022). Prinsip bioetika Islam dalam teknologi pengeditan genom manusia (Tesis magister, University of Malaya, Malaysia).