

SEJARAH PERKEMBANGAN ILMU GENETIKA

1 Akbar Satrio¹, 2 Endang Noventiyani², 3 Intan Tamara³, 4 Nur Azizah⁴, 5
Yonas Irwanda⁵

Institusi/lembaga Penulis Pendidikan Biologi UIN RADEN INTAN LAMPUNG

Alamat e-mail : 1akbarsatrio12345@gmail.com

Alamat e-mail : 2endangnoventiyani@gmail.com

Alamat e-mail : 3it5693072@gmail.com

Alamat e-mail : 4nurazizahaprilizani@gmail.com

Alamat e-mail : 5yonasirwanda8@gmail.com

Abstract

This study aims to describe the historical development of genetics from the pre-Mendelian era to the age of modern genomics. Genetics, as a branch of biology, has advanced progressively through a series of major scientific discoveries, beginning with early observations of inherited traits, the formulation of inheritance laws by Gregor Mendel, the identification of chromosomes, the establishment of DNA as the genetic material, and the emergence of contemporary gene-editing technologies. This research employed a literature study method by reviewing accredited national journals published in 2023 and relevant national textbooks. The analysis was conducted through topic identification, content analysis, and the synthesis of a chronological narrative on the evolution of genetic science. The results indicate that the development of genetics has been driven not only by biological discoveries but also by technological innovations that enable deeper molecular analysis. The findings highlight the importance of understanding the history of genetics as a foundation for advancing biotechnology, healthcare, agriculture, and biology education. This study recommends strengthening genetic research in Indonesia and enhancing genetics education through practical work and the integration of modern technologies.

Keywords: genetics, history of genetics, DNA, Mendel, biotechnology.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menguraikan sejarah perkembangan ilmu genetika dari masa pra-Mendel hingga era genetika modern. Genetika sebagai cabang biologi mengalami kemajuan bertahap melalui penemuan-penemuan penting yang dilakukan oleh berbagai ilmuwan, mulai dari pengamatan sederhana pada masa kuno, formulasi hukum pewarisan oleh Gregor Mendel, penemuan kromosom, identifikasi DNA sebagai materi genetik, hingga teknologi penyuntingan gen masa kini. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dengan menelaah jurnal nasional terakreditasi tahun 2023 dan buku-buku nasional yang relevan. Analisis dilakukan melalui identifikasi topik inti, analisis isi, dan penyusunan sintesis kronologis mengenai perkembangan genetika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan genetika tidak hanya dipengaruhi oleh temuan biologis, tetapi juga oleh kemajuan teknologi yang memungkinkan analisis molekuler secara lebih mendalam. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa pemahaman sejarah genetika sangat penting sebagai dasar dalam pengembangan bioteknologi, kesehatan, pertanian, dan pendidikan biologi. Penelitian ini merekomendasikan peningkatan riset genetika di Indonesia serta penguatan pembelajaran genetika berbasis praktikum dan teknologi modern.

Kata kunci: Genetika, Sejarah Genetika, DNA, Mendel, Bioteknologi

A.PENDAHULUAN

Genetika merupakan cabang ilmu biologi yang mengkaji bagaimana sifat dapat diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Perkembangan genetika tidak terjadi secara tiba-tiba, tetapi melalui perjalanan panjang, mulai dari pengamatan dasar terhadap kemiripan ciri pada manusia, hewan, dan tumbuhan di masa lampau, hingga akhirnya ditemukan struktur DNA yang menjadi dasar ilmu biologi modern. Sepanjang sejarahnya, genetika mengalami sejumlah perubahan konsep besar yang dipengaruhi oleh tokoh-tokoh penting, seperti Gregor Mendel, Walther Flemming, serta Watson dan Crick, dan kemudian dilanjutkan oleh para ilmuwan masa kini melalui penelitian bioteknologi dan rekayasa genetik.

Pemahaman mengenai sejarah genetika sangat penting bagi mahasiswa, peneliti, maupun pendidik biologi agar dapat melihat keterkaitan antara temuan ilmiah terdahulu dan perkembangan teknologi masa kini. Seiring majunya ilmu biosains di Indonesia, pembelajaran genetika juga menjadi dasar bagi pemahaman biologi molekuler, kesehatan, konservasi, dan peningkatan kualitas pangan. Oleh karena itu, artikel ini menyajikan penelusuran sistematis tentang sejarah genetika, mulai dari masa pra-Mendel hingga era genetika modern.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur (library research) dengan mengumpulkan serta menganalisis sumber-sumber ilmiah terkait perkembangan genetika. Sumber tersebut meliputi jurnal nasional terakreditasi tahun 2023 dan buku-buku nasional yang membahas genetika dari konsep dasar hingga tingkat molekuler. Analisis dilakukan melalui tiga tahap, yaitu: (1) identifikasi topik inti, (2) analisis isi, dan (3) penyusunan sintesis naratif mengenai perkembangan genetika pada berbagai periode penting. Metode ini dipilih karena efektif untuk menguraikan perkembangan konsep keilmuan secara kronologis.

C.HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Masa Pra Mendel

Jauh sebelum Gregor Mendel merumuskan hukum-hukum dasar pewarisan sifat, manusia pada masa awal peradaban sudah berusaha memahami bagaimana sifat fisik maupun karakter tertentu dapat

muncul kembali pada keturunan. Catatan sejarah menunjukkan bahwa masyarakat Mesir kuno telah menyadari adanya pola kemiripan antara orang tua dan anak, meskipun mereka belum mengetahui mekanismenya. Upaya untuk menjelaskan fenomena tersebut terus berkembang seiring bertambahnya pengetahuan manusia, hingga akhirnya membentuk dasar awal bagi lahirnya ilmu genetika sebagai suatu bidang kajian ilmiah yang terstruktur.

Seiring berjalannya waktu, berbagai temuan ilmiah secara bertahap memperkuat fondasi bagi berkembangnya genetika modern. Penemuan mikroskop, teori sel, dan pemahaman mengenai struktur dasar makhluk hidup membuka jalan bagi penelitian yang lebih mendalam mengenai pewarisan sifat. Pengetahuan ini berkembang semakin pesat menjelang abad ke-19, ketika para ilmuwan mulai memahami bahwa ciri-ciri makhluk hidup berkaitan erat dengan struktur sel dan proses biologis di dalamnya. Semua perkembangan tersebut

menjadi landasan penting bagi kemunculan teori pewarisan sifat Mendel yang kemudian merevolusi dunia biologi.

2. Penelitian Mendel

Sejarah perkembangan genetika sebagai ilmu pengetahuan dimulai menjelang akhir abad ke 19 ketika seorang biarawan austria bernama Gregor Johann Mendel berhasil melakukan analisis yang cermat dengan interpretasi yang tepat atas hasil-hasil percobaan persilangannya pada tanaman kacang ercis (*Pisum satifum*). Sebenarnya, Mendel bukanlah orang pertama yang melakukan percobaan-percobaan persilangan. Akan tetapi, berbeda dengan para pendahulunya yang melihat setiap individu dengan keseluruhan sifatnya yang kompleks, Mendel mengamati pola pewarisan sifat demi sifat sehingga menjadi lebih mudah untuk diikuti. Deduksinya mengenai pola pewarisan sifat ini kemudian menjadi landasan utama bagi perkembangan genetika sebagai suatu cabang ilmu

pengetahuan, dan Mendel pun diakui sebagai bapak genetika.

Karya Mendel tentang pola pewarisan sifat tersebut dipublikasikan pada tahun 1866 di *Proceedings of the Brunn Society for Natural History*. Namun, selama lebih dari 30 tahun tidak pernah ada peneliti lain yang memperhatikannya. Baru pada tahun 1900 tiga orang ahli botani secara terpisah, yaitu Hugo de Vries di Belanda, Carl Correns di Jerman dan Eric von Tschermak-Seysenegg di Austria, melihat bukti kebenaran prinsip-prinsip Mendel pada penelitian mereka masing-masing. Semenjak saat itu hingga lebih kurang pertengahan abad ke-20 berbagai percobaan persilangan atas dasar prinsip-prinsip Mendel sangat mendominasi penelitian di bidang genetika. Hal ini menandai berlangsungnya suatu era yang dinamakan genetika klasik. Ini mencakup seluruh pekerjaan Gregor Johann Mendel yang menjadi dasar hukum pewarisan sifat. Dilakukan oleh Gregor Mendel, seorang biarawan Austria dan ilmuwan

amatir. Penelitian dilakukan di kebun biara Brno, menggunakan tanaman kacang polong (*Pisum sativum*)..

Karya Mendel tentang pola pewarisan sifat tersebut dipublikasikan pada tahun 1866 di *Proceedings of the Brunn Society for Natural History*. Namun, selama lebih dari 30 tahun tidak pernah ada peneliti lain yang memperhatikannya. Baru pada tahun 1900 tiga orang ahli botani secara terpisah, yaitu Hugo de Vries di Belanda, Carl Correns di Jerman dan Eric von Tschermak-Seysenegg di Austria, melihat bukti kebenaran prinsip-prinsip Mendel pada penelitian mereka masing-masing. Semenjak saat itu hingga lebih kurang pertengahan abad ke-20 berbagai percobaan persilangan atas dasar prinsip-prinsip Mendel sangat mendominasi penelitian di bidang genetika. Hal ini menandai berlangsungnya suatu era yang dinamakan genetika klasik.

Seiring berkembangnya jaman, ilmu genetika semakin mengalami perkembangan bahkan ilmu genetika sudah banyak diterapkan dalam

kehidupan sehari-hari dalam berbagai bidang diantaranya pertanian, kesehatan, industri farmasi, hukum serta kemasyarakatan dan kemanusiaan.

Alasan pemilihan kacang polong:

1. Memiliki banyak variasi sifat yang kontras (unshaded vs. shaded, tinggi vs. pendek, kuning vs. hijau).
2. Mudah disilangkan.
3. Siklus hidup cepat.

Mendel melakukan langkah-langkah penting berikut:

1. Membuat garis murni (pure line) : Kacang polong yang diserbuki sendiri selama beberapa generasi sehingga sifatnya tetap sama.
2. Melakukan persilangan terkontrol :menghilangkan benang sari pada tanaman betina dan menambahkan serbuk sari dari tanaman jantan lain.
3. Mengamati sifat keturunan dalam beberapa generasi :Parental (P),Filial 1 (F1) dan Filial 2 (F2)
4. Menggunakan pendekatan statistic : membuat Mendel unik, karena ia

menghitung rasio fenotipe dan genotipe.

Dari percobaannya, Mendel merumuskan 2 hukum penting:

1. Hukum Segregasi (Law of Segregation) yaitu Setiap individu memiliki dua faktor (alel) untuk setiap sifatdan Saat pembentukan gamet, kedua faktor itu memisah sehingga tiap gamet hanya membawa satu alel.
2. Hukum Asortasi Bebas (Law of Independent Assortment)yaitu Alel dari gen yang berbeda berpindah secara bebas saat pembentukan gamet dan Terjadi jika gen berada pada kromosom yang berbeda (tidak terpaut),Fenomena Dominansi,Alel dominan menutupi alel resesif.

Contoh: warna kuning (Y) dominan terhadap hijau (y).

Untuk sifat warna biji (kuning vs. hijau):

1. P: Kuning (YY) × Hijau (yy)
2. F1: Semua kuning (Yy)
3. F2 : Rasio 3 kuning : 1 hijau

4. Untuk dua sifat sekaligus (di-hibrid):

5. Rasio F₂ = 9 : 3 : 3 : 1

1. Penelitian Mendel dipublikasikan tahun 1866, tetapi:

2. Jurnal tempat ia mempublikasikan tidak terkenal

3. Konsep “gen” belum dikenal

4. Struktur sel dan kromosom belum dipahami

5. Para ilmuwan waktu itu masih percaya teori pewarisan campuran (blending)

6. Baru pada tahun 1900, peneliti De Vries, Correns, dan Tschermak menemukan kembali hukum Mendel.

F. Dampak Penelitian Mendel

1. Menjadi dasar lahirnya genetika modern

2. Istilah “gen”, “alel”, “genotipe”, dan “fenotipe” dikembangkan berdasarkan temuan Mendel

3. Membuka jalan bagi genetika molekuler, pemetaan kromosom, hingga bioteknologi modern

3 Penemuan Kromosom dan Gen

Penemuan kromosom dan gen merupakan salah satu bagian dari pencapaian paling monumental dalam sejarah biologi yang menandai lahirnya ilmu genetika modern. Sejarah panjang ini dimulai melalui pengamatan mikroskopis sederhana hingga penemuan molekul DNA sebagai bahan genetik. Pada akhir abad ke-19, Walther Flemming, seorang ahli biologi Jerman, berhasil mengamati proses pembelahan sel menggunakan mikroskop. Ia menemukan adanya struktur benang halus di dalam inti sel yang tampak jelas saat sel membelah, dan menamainya sebagai kromatin. Struktur ini kemudian dikenal sebagai kromosom. Penemuan ini sangat penting karena untuk pertama kalinya para ilmuwan dapat melihat secara langsung komponen sel yang berperan dalam pewarisan sifat. Kromosom kemudian dipahami sebagai wadah informasi genetik,

meskipun pada saat itu belum diketahui secara pasti apa yang terkandung di dalamnya. Penelitian lanjutan menunjukkan bahwa kromosom tersusun atas DNA dan protein, serta jumlah kromosom pada setiap spesies bersifat tetap. Penemuan ini menjadi dasar lahirnya teori kromosom tentang pewarisan sifat, yang menghubungkan pengamatan mikroskopis dengan hukum pewarisan Mendel, sehingga kromosom dipandang sebagai struktur fisik yang membawa faktor-faktor pewarisan.

Konsep gen sendiri muncul dari penelitian Gregor Mendel pada tahun 1866 melalui eksperimen kacang polong. Mendel berhasil merumuskan hukum pewarisan sifat, seperti hukum segregasi dan hukum asortasi bebas, yang menjelaskan bagaimana sifat diturunkan dari generasi ke generasi. Namun, Mendel belum mengetahui bentuk fisik dari faktor pewarisan tersebut. Baru pada tahun 1909 Wilhelm Johannsen memperkenalkan istilah “gen” untuk menyebut satuan pewarisan sifat, sehingga konsep

pewarisan mulai memiliki bentuk yang lebih jelas. Selanjutnya, Walter Sutton dan Theodor Boveri pada tahun 1902 mengemukakan teori kromosom tentang pewarisan sifat, yang menyatakan bahwa gen berada di dalam kromosom.

Perkembangan penelitian genetika kemudian semakin pesat. Pada tahun 1910, Thomas Hunt Morgan melalui penelitian lalat buah (*Drosophila melanogaster*) berhasil membuktikan bahwa gen memang terletak di dalam kromosom. Ia menemukan fenomena *linkage* atau keterkaitan gen, serta menjelaskan adanya rekombinasi genetik melalui pindah silang. Penelitian Morgan memperkuat teori kromosom pewarisan sifat dan menjadikan *Drosophila* sebagai organisme model dalam genetika. Penelitian ini juga membuka jalan bagi pemahaman tentang peta kromosom, yaitu letak gen-gen tertentu dalam kromosom, yang kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Alfred Sturtevant. Selanjutnya, Oswald Avery pada tahun 1944 menunjukkan bahwa DNA adalah bahan genetik, bukan

protein seperti dugaan sebelumnya. Penemuan ini menjadi titik balik dalam biologi molekuler karena menegaskan bahwa molekul DNA adalah penyimpan informasi pewarisan sifat. Puncak perkembangan terjadi pada tahun 1953 ketika James Watson dan Francis Crick menemukan struktur heliks ganda DNA. Penemuan ini menjelaskan bagaimana DNA mampu menyimpan informasi genetik dan menggandakan dirinya secara akurat. Sejak saat itu, gen dipahami sebagai segmen DNA yang menyimpan instruksi untuk sintesis protein, sehingga pewarisan sifat dapat dijelaskan secara molekuler.

Memasuki abad ke-20 dan 21, penelitian genetika berkembang pesat dengan ditemukannya teknologi sekuensing DNA, rekayasa genetika, dan proyek pemetaan genom manusia (*Human Genome Project*) yang selesai pada tahun 2003. Proyek ini berhasil memetakan seluruh gen dalam kromosom manusia, sehingga membuka peluang besar dalam bidang kedokteran, bioteknologi, dan

pertanian. Pengetahuan tentang gen dan kromosom kini digunakan untuk mengidentifikasi penyakit genetik, mengembangkan terapi gen, serta menciptakan tanaman transgenik yang lebih tahan terhadap hama dan lingkungan ekstrem.

Implikasi penemuan kromosom dan gen sangat luas. Dalam bidang kedokteran, pemahaman tentang genetik memungkinkan diagnosis dini penyakit keturunan, pengembangan obat berbasis DNA, serta terapi gen untuk memperbaiki kerusakan genetik. Dalam bidang pertanian, teknologi genetika digunakan untuk menghasilkan varietas tanaman unggul yang lebih produktif dan tahan terhadap perubahan iklim. Sementara itu, dalam bidang bioteknologi, pengetahuan tentang gen dan kromosom menjadi dasar bagi pengembangan rekayasa genetika, kloning, dan produksi protein rekombinan yang bermanfaat bagi industri farmasi. Dengan demikian, penemuan kromosom dan gen tidak hanya memperkuat teori pewarisan sifat, tetapi juga menjadi dasar bagi lahirnya biologi molekuler,

bioteknologi, dan kedokteran modern. Pemahaman bahwa sifat organisme diwariskan melalui gen yang tersusun dalam kromosom memungkinkan perkembangan berbagai aplikasi, mulai dari pertanian, kesehatan, hingga industri farmasi. Oleh karena itu, penemuan kromosom dan gen dapat dianggap sebagai salah satu pencapaian terbesar dalam sejarah ilmu pengetahuan yang terus relevan hingga saat ini.

4. Genetika Molekuler

Genetika molekuler adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari struktur, fungsi, dan mekanisme kerja materi genetik pada tingkat molekul, terutama DNA, RNA, serta proses yang mengatur ekspresi gen. Ilmu ini berfokus pada bagaimana informasi genetik disimpan, disalin, diterjemahkan, dan diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Genetika molekuler merupakan cabang ilmu genetika yang berfokus pada kajian struktur, fungsi, dan dinamika molekul penyusun materi genetik, terutama DNA dan RNA,

serta bagaimana informasi genetik tersebut diekspresikan dalam bentuk protein. Ilmu ini lahir dari penggabungan konsep genetika klasik dengan biologi molekuler, sehingga mampu menjelaskan secara lebih rinci bagaimana sifat-sifat organisme diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Genetika molekuler tidak hanya membahas susunan basa nitrogen dalam DNA, tetapi juga meneliti proses replikasi DNA, transkripsi RNA, translasi protein, serta regulasi ekspresi gen yang menentukan bagaimana suatu gen dapat aktif atau tidak aktif dalam kondisi tertentu.

Selain itu, genetika molekuler juga menyoroti peran mutasi sebagai salah satu faktor penting dalam keragaman genetik. Mutasi dapat terjadi secara alami maupun akibat pengaruh lingkungan, dan sering kali menjadi dasar bagi evolusi maupun timbulnya penyakit genetik. Dengan memahami mekanisme mutasi di tingkat molekul, para ilmuwan dapat mengembangkan strategi untuk mencegah, mendeteksi, atau bahkan memperbaiki kerusakan genetik

melalui teknologi modern seperti terapi gen.

Dalam perkembangannya, genetika molekuler memiliki aplikasi yang sangat luas. Di bidang kedokteran, ilmu ini digunakan untuk mengidentifikasi gen penyebab penyakit, merancang obat yang lebih spesifik, serta mengembangkan pengobatan berbasis genom individu (personalized medicine). Di bidang bioteknologi, genetika molekuler memungkinkan rekayasa genetika untuk menghasilkan tanaman yang lebih tahan hama, hewan dengan sifat unggul, atau mikroorganisme yang mampu memproduksi zat bermanfaat seperti insulin dan vaksin. Sementara itu, dalam bidang forensik, analisis DNA menjadi alat penting untuk identifikasi

Dengan pemahaman yang mendalam, genetika molekuler menjadi dasar bagi berbagai aplikasi modern, seperti terapi gen dalam kedokteran, rekayasa genetika dalam bioteknologi, analisis DNA dalam forensik, dan penelitian evolusi melalui perbandingan genom

antarspesies. Secara keseluruhan, genetika molekuler merupakan ilmu yang menjembatani genetika klasik dengan biologi molekuler untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana informasi kehidupan tersimpan, ditransfer, dan diekspresikan di dalam sel.

5.Genetika Modern & Bioteknologi

Pemahaman formal tentang pewarisan sifat muncul dengan Gregor Mendel pada abad ke-19. Melalui eksperimennya dengan tanaman kacang polong, Mendel bahwa sifat diwariskan melalui unit tertentu yang kemudian disebut gen. Konsep ini menjadi dasar genetika modern, meski pada awalnya belum terkait dengan DNA. Dengan penemuan kromosom, dikonfirmasi bahwa gen berada pada kromosom, sehingga genetika berkembang dari observasi fenotipe menjadi pemahaman mekanisme pewarisan sifat.

Perkembangan lebih lanjut terjadi pada abad ke-20 ketika Watson dan Crick menemukan struktur heliks ganda DNA pada tahun 1953.

Penemuan ini menandai awal genetika molekuler karena manusia memahami bagaimana informasi genetik tersimpan, disalin, dan diekspresikan. Struktur DNA memberikan kunci bagi kemampuan ilmuwan untuk tidak hanya membaca, tetapi juga memodifikasi materi genetik.

Setelah itu, muncul teknologi DNA rekombinan: enzim restriksi memungkinkan DNA dipotong di lokasi tertentu, plasmid berfungsi sebagai vektor untuk membawa gen, dan ligase menyambungkan fragmen DNA. Hal ini memungkinkan penyisipan gen dari satu organisme ke organisme lain, membuka jalan bagi organisme transgenik dan produksi protein terapeutik, seperti insulin rekombinan.

Era bioteknologi modern juga melahirkan terapi gen, pengeditan gen dengan CRISPR-Cas9, dan aplikasi industri di bidang pertanian, farmasi, dan lingkungan. Teknologi ini memungkinkan modifikasi organisme hidup secara presisi,

tetapi juga menimbulkan isu etika, regulasi, dan keamanan.

Di Indonesia, perkembangan bioteknologi modern berjalan lebih lambat dibanding negara maju karena keterbatasan dana penelitian, SDM terlatih, dan regulasi yang belum optimal.

Pemikiran tentang pewarisan sifat mulai berkembang melalui karya Gregor Mendel di abad ke-19, ketika ia melakukan persilangan tanaman kacang polong dan menyimpulkan bahwa sifat diturunkan melalui “unit pewarisan” yang kemudian dikenal sebagai gen. Penemuan ini menjadi landasan genetika klasik, yang kemudian berkembang lebih jauh ketika ilmuwan menemukan bahwa gen berada pada kromosom, dan bahwa pewarisan sifat bisa dijelaskan secara sistematis.

Tonggak besar selanjutnya terjadi pada pertengahan abad ke-20, ketika James Watson dan Francis Crick menemukan struktur heliks ganda DNA pada tahun 1953. Penemuan ini sangat krusial karena membuka pemahaman tentang bagaimana

materi genetik menyimpan informasi, bisa disalin (replikasi), dan bisa terekspresikan melalui RNA dan protein. Ini menjadi pondasi bagi genetika molekuler dan rekayasa genetika.

Teknologi DNA rekombinan kemudian lahir: ilmuwan menemukan enzim restriksi yang bisa “memotong” DNA pada lokasi spesifik, serta plasmid yang bisa menjadi vektor untuk menyisipkan gen dari satu organisme ke organisme lain. Dengan kombinasi ini, gen bisa dipindahkan antar organisme, memungkinkan penciptaan organisme transgenik dan produksi protein terapeutik seperti insulin rekombinan.

Pada era bioteknologi modern, aplikasi genetika semakin maju: terapi gen mulai diterapkan dengan alat seperti CRISPR-Cas9 untuk mengedit DNA secara sangat presisi, aplikasi industri biotek juga berkembang di bidang pertanian (tanaman transgenik), kesehatan (vaksin, terapi), dan lingkungan. Namun, kemajuan ini membawa juga

pertanyaan etis, regulasi, dan isu keamanan yang kompleks terkait rekayasa genetika dan organisme hasil modifikasi.

bioteknologi ditempatkan sebagai salah satu pilar penting untuk inovasi nasional.

D.PENUTUP

1.Kesimpulan

Sejarah genetika menunjukkan bahwa pemahaman manusia mengenai pewarisan sifat berkembang secara bertahap, mulai dari pengamatan dasar hingga pemanfaatan teknologi DNA modern. Perjalanan panjang ini dipengaruhi oleh penemuan berbagai ilmuwan dan berkembang seiring kemajuan teknologi. Saat ini, genetika menjadi dasar penting bagi berbagai disiplin ilmu seperti biologi molekuler, kedokteran, bioteknologi, serta pertanian. Memahami sejarah genetika sangat penting untuk memperkuat pengetahuan dasar dan mendorong penelitian ilmiah yang lebih maju.

2. Saran

Penelitian genetika di Indonesia perlu diperluas, terutama yang berkaitan dengan pemanfaatan kekayaan hayati lokal.

Pembelajaran genetika di sekolah maupun perguruan tinggi sebaiknya

diperkuat melalui praktikum dan penggunaan teknologi modern.

Kerja sama riset antarlembaga perlu ditingkatkan untuk mendukung

kemajuan bioteknologi dan kesehatan berbasis genetika.

DAFTAR PUSTAKA

Nurlia, & Hala, Y. (2024). Terapi Gen di Era Bioteknologi Modern: Aplikasi untuk Penyakit Genetik dan Non Genetik. *Jurnal Of Biology Education, Science dan Technology*. Vol:7 No:2

Wasilah, U., Rohimah, S., & Su'udi, M. (2019). Perkembangan Bioteknologi di Indonesia. *Rekayasa. (Jurnal Trunojoyo)*. Vol:12 No:2

Sugiharto, B. (n.d.). (2015). Dari Biologi ke Bioteknologi Molekul: Pengetahuan, Pembelajaran dan Pengembangan Teknologinya. *Proceeding Biology Education Conference. Jurnal Universitas Sebelas Maret*

Seruni,P.M et.al (2024). Hukum Bioteknologi Modern dan Rekayasa Genetika dalam Perspektif Filsafat Hukum

Islam. *Jurnal Fakultas Hukum*
Vol:1 No:1

Sutarno, S. (2014). *Rekayasa Genetik dan Perkembangan Bioteknologi dibidang peternakan*. Vol:13 No:1
Hal:23-27

Bambang Irawan. (2023). *Genetika Molekuler*. Airlangga University Press

P. H. Cipta dkk. (2023). *Bioteknologi Farmasi: Infrastruktur dan Fenomena*. Get Press Indonesia

Nurlia & Hala, Y. (2024). Terapi Gen di Era Bioteknologi Modern. *BEST Journal*, 7(2)

Wasilah, U., Rohimah, S., & Su'udi, M. (2019). Perkembangan Bioteknologi di Indonesia. *(Jurnal Trunojoyo)*. Vol:12 No:2

Rita,E.S. *Sejarah Bioteknologi Hingga Zaman Modern*. Agrotek