

Kemajuan Teknologi Rekayasa Genetika Ditinjau dari Filsafat Evolusi Darwin

Geterudis Kerans^{1,2}

¹Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

²Program Studi Pendidikan IPA, STKIP Weetebula, Tambolaka, Indonesia

E-mail: geterudiskerans@gmail.com¹



This is an open-access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © XXXX by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

Diterima: 14-12-2021

Direview: 23-12-2021

Publikasi: 30-06-2022

Abstrak

Evolusi terjadi karena adanya proses perubahan spesies yang berlangsung dalam jangka waktu tertentu dimana proses tersebut bertujuan agar spesies dapat beradaptasi dengan lingkungannya dan perubahan tersebut akan diwariskan lagi kepada keturunannya. Teori evolusi dalam Ilmu Biologi menemui titik terang Ketika diterbitkannya buku yang ditulis Charles Darwin (*On the Origin of Species by Means of natural Selection*) pada tahun 1859 yang menyajikan kasus-kasus evolusi dan mampu menghubungkan berbagai kumpulan fakta yang sebelumnya membingungkan. Tahun 1930, ilmuwan mengkombinasikan seleksi alam Darwin dengan teori hereditas mendelian dan membentuk sintesis evolusi modern "Neo-Darwinism". Teori Neo Darwinism menyatakan evolusi didasarkan pada mutase gen yang bekerjasama pada tingkat jaringan protein dan merubah fenotip dari makhluk hidup. Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan para saintifik untuk melakukan rekayasa genetic dan proses rekayasa genetic berlandaskan pada teori Evolusi Darwin. Tujuan dari penulisan ini adalah melakukan kajian filsafat (Epistemologi, Ontologi dan aksiologi) dari Evolusi Darwin dalam kemajuan teknologi. Artikel ini disusun menggunakan pendekatan studi kepustakaan (library research) dan kajian ulas balik (review). kajian epistemology rekayasa genetic menjelaskan bagaimana teknik rekayasa genetika diperoleh dan bagaimana perkembangan teknik rekayasa genetika. Kajian Ontologi berbicara tentang apa hakikat rekayasa genetika juga membahas tentang struktur keilmuan dari rekayasa genetika. Sedangkan kajian Aksiologi membicarakan tentang manfaat dan kerugian yang ditimbulkan oleh rekayasa genetika.

Kata Kunci: kajian filsafat; evolusi Darwin; kemajuan teknologi; rekayasa genetika

Abstract

Evolution occurs because of the process of changing species within a certain period of time with the aim of being able to adapt to their environment and these changes will be passed on to the next generation or to their descendants. The theory of evolution in the Biological Sciences came to light with the publication of Charles Darwin's book (*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*) in 1859, which presented cases of evolution and was able to relate previously confusing collections of facts. In the 1930s scientists combined Darwin's natural selection with Mendelian's theory of heredity and formed the modern evolutionary synthesis "Neo-Darwinism". Neo Darwinism theory states that evolution is based on gene mutations that work together at the protein network level and change the phenotype of living things. Current technological developments allow scientists to carry out genetic engineering and genetic engineering processes based on Darwin's theory of evolution. The purpose of this paper is to conduct a philosophi study (Epistemology, Ontology and axiology) of Darwin's Evolution in technological progress. This article was prepared using a library research and review approach. The study of genetic engineering epistemology explains how genetic engineering techniques were obtained and how genetic engineering techniques developed. Ontology studies talk about the nature of genetic engineering and the scientific structure of genetic engineering. While the study of Axiology discusses the benefits and disadvantages caused by genetic engineering.

Keywords: philosophical studies; Darwin evolution; technology advances; genetical manipulation

1. Pendahuluan

Penjelasan yang sulit bagi masyarakat bahkan masih menjadi perbincangan yang hangat terkait apa itu evolusi dan bagaimana perkembangannya. Para ilmuwan banyak memperbincangkannya dan banyak pendapat terkait evolusi namun pada dasarnya evolusi terjadi karena perubahan yang berlangsung selama waktu yang lama dimana evolusi ini akan terjadi mulai dari tingkatan spesies. Campbell (2003) menjelaskan bahwa evolusi memiliki tujuannya agar spesies-spesies yang hidup mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan yang terjadi secara terus menerus. Evolusi bermanfaat bagi kehidupan setiap organisme karena evolusi menjelaskan kepada kita tentang bagaimana kehidupan yang ada saat ini sebenarnya berasal dari hasil evolusi dari kehidupan nenek moyang kita sebelumnya (*ancestor*).

Thales pada 636 – 546 SM dan Anaximander pada 611-547 SM memperkenalkan evolusi kepada masyarakat zaman itu dengan mencoba membahas tentang darimana asal-usul biota laut dan evolusi kehidupan di muka bumi (Ristasa, 2019). Selanjutnya, Xantus (kira-kira 500 SM) dan Empedocles (490 - 430 SM) membicarakan isu yang sama dalam tulisan-tulisannya (Comas, 1957). Buku Charles Darwin *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* menyajikan permasalahan terkait evolusi dan menghubungkan berbagai fakta yang pada awalnya dirasa membingungkan bagi masyarakat pada zaman itu. Kasus-kasus atau fakta-fakta tersebut kemudian mendapatkan penjelasan secara ilmiah dan kemudian menjadi dasar awal yang menghantar banyak orang membahas dan menggali lebih dalam kasus-kasus lainnya. Pada tingkatan berikutnya, para ilmuwan kemudian tertarik dan mencoba menghasilkan suatu bentuk sintesis evolusi modern “Neo Darwinism” yang menggabungkan teori seleksi alam yang disajikan oleh Darwin dengan teori Mendel terkait Hereditas (Yeni, 2021).

Teori Neo Darwinism adalah teori evolusi makhluk hidup yang didasarkan oleh teori Darwin dan Teori Genetika Mendel. Dilansir dari *National Center for Biotechnology Information*, Teori Neo Darwinism menyatakan evolusi didasarkan pada mutasi gen yang bekerjasama pada tingkat jaringan protein dan merubah fenotip dari makhluk hidup. Mutasi Gen menyebabkan perbedaan fenotip antar individu dalam suatu populasi dan evolusi berlangsung dalam waktu yang lama dan terus-menerus. Teori Darwin menyebutkan bahwa seleksi alam adalah factor utama pendorong evolusi makhluk hidup sedangkan Neo Darwinism beranggapan factor utama pendorong evolusi adalah akumulasi variasi genetic suatu spesies (Kompas, 2021).

Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan para saintifik untuk melakukan rekayasa genetik dan proses rekayasa genetic berlandaskan pada teori Evolusi Darwin. Proses rekayasa genetik itu sendiri sampai saat ini masih menjadi perdebatan. Perdebatan terjadi antara para ilmuwan sendiri. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi rekayasa genetika (*genetic engineering*) akhir-akhir ini cukup drastis dan meminta perhatian serius dari pemerintah dan para ilmuwan (Amin *et al.*, 2010). Dalam ilmu filsafat, kemampuan daya nalar manusia kemudian akan menjadi dasar penempatan sesuatu karena dalam filsafat kebenaran sepenuhnya ditentukan oleh daya nalar manusia itu sendiri. Teori kebenaran dalam kajian filsafat mencakup beberapa kajian, yaitu dalam bidang ontologi, epistemologi dan aksiologi (Jalaludin, 2007).

Epistemology rekayasa genetic menjelaskan bagaimana teknik rekayasa genetika diperoleh dan bagaimana perkembangan teknik rekayasa genetika. Ontologi berbicara tentang apa hakikat rekayasa genetika juga membahas tentang struktur keilmuan dari rekayasa genetika. Berdasarkan kajian ontology, pada hakikatnya, rekayasa genetika menjadi puncak perkembangan ilmu bioteknologi yang saat ini sedang berkembang dengan pesat dan ini tidak dapat dipisahkan dengan ilmu-ilmu pendukungnya seperti ilmu Biologi Evolusi, Biologi Molekuler, Biologi Sel, Biokimia, Biologi Tumbuhan, Biologi Hewan. Rekayasa genetic terjadi dalam rangkaian proses perubahan sifat pada makhluk hidup yang secara sengaja dilakukan oleh manusia. Perubahan-perubahan yang terjadi akibat rekayasa genetic dapat berlangsung secara permanen namun ada yang hanya sementara. Sedangkan Aksiologi membicarakan tentang manfaat dan kerugian suatu ilmu yang ditimbulkan oleh rekayasa genetika. Tujuan dari penulisan ini adalah melakukan kajian filsafat (epistemologi, ontologi dan aksiologi) dari Evolusi Darwin dalam kemajuan teknologi.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah metode kualitatif dengan jenis *library research*. Penelitian ini dilakukan dengan menelaah sumber bacaan yang ada hubungan dengan kajian yang dibahas dan menggunakan hasil studi dokumen yang telah memuat hasil-

hasil penelitian sebelumnya yang ada hubungannya dengan filsafat ilmu. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan kajian terhadap buku, laporan, dan artikel ilmiah dilakukan untuk memperkaya ilmu mengenai evolusi Darwin dalam kemajuan teknologi yang kemudian kajian epistemology rekayasa genetic menjelaskan bagaimana teknik rekayasa genetika diperoleh dan bagaimana perkembangan teknik rekayasa genetika. Kajian Ontologi berbicara tentang apa hakikat rekayasa genetika juga membahas tentang struktur keilmuan dari rekayasa genetika. Sedangkan kajian Aksiologi membicarakan tentang manfaat dan kerugian yang ditimbulkan oleh rekayasa genetika.

3. Pembahasan

a. Pengertian dan Perkembangan Evolusi

Penjelasan yang sulit bagi masyarakat bahkan masih menjadi perbincangan yang hangat terkait apa itu evolusi dan bagaimana perkembangannya. Para ilmuwan banyak memperbincangkannya dan banyak pendapat terkait evolusi namun pada dasarnya evolusi terjadi karena perubahan yang berlangsung dalam jangka waktu yang lama dimana evolusi ini terjadi mulai dari tingkatan spesies. Campbell (2003) menjelaskan bahwa evolusi memiliki tujuannya agar spesies-spesies yang hidup mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan yang terjadi secara terus menerus. Evolusi bermanfaat bagi kehidupan setiap organisme karena evolusi menjelaskan kepada kita tentang bagaimana kehidupan yang ada saat ini sebenarnya berasal dari hasil evolusi dari kehidupan nenek moyang kita sebelumnya (ancestor).

Thales pada 636 – 546 SM dan Anaximander pada 611-547 SM memperkenalkan evolusi kepada masyarakat zaman itu dengan mencoba membahas tentang darimana asal-usul biota laut dan evolusi kehidupan (Ristasa, 2019). Selanjutnya, Xantus (kira-kira 500 SM) dan Empedocles (490 - 430 SM) membicarakan isu yang sama dalam tulisan-tulisannya (Comas, 1957). Buku Charles Darwin *on the Origin of Species by Means of Natural Selection* menyajikan kasus evolusi dan menghubungkan berbagai fakta yang pada awalnya dirasa membingungkan bagi masyarakat pada zaman itu. Kasus-kasus atau fakta-fakta tersebut kemudian mendapatkan penjelasan secara ilmiah dan kemudian menjadi dasar awal yang menghantar banyak orang membahas dan menggali lebih dalam kasus-kasus lainnya. Pada tingkatan berikutnya, para ilmuwan kemudian tertarik dan mencoba menghasilkan suatu bentuk sintesis evolusi modern “Neo Darwinism” yang menggabungkan teori seleksi alam yang disajikan oleh Darwin dengan teori Mendel terkait Hereditas (Yeni, 2021).

National Center for Biotechnology Information menjelaskan bahwa Teori Neo Darwinism menjelaskan evolusi dengan mendasarkannya pada proses mutasi gen pada tingkat jaringan protein yang kemudian mampu merubah fenotip dari makhluk hidup dan kemudian akan menyebabkan perbedaan fenotip antar individu dalam suatu populasi dan evolusi berlangsung dalam waktu yang lama dan terus-menerus. Teori Darwin menyebutkan bahwa seleksi alam adalah factor utama pendorong evolusi makhluk hidup sedangkan Neo Darwinism beranggapan factor utama pendorong evolusi adalah akumulasi variasi genetic suatu spesies (Kompas, 2021).

b. Evolusi Menurut Darwin

Dalam pelayaran panjangnya, Charles Darwin melakukan pengamatan terhadap adaptasi tumbuhan dan hewan yang hidup di lingkungan yang bervariasi. Pada awal pelayarannya, Darwin berpikir terkait perubahan sejak waktu kreasi bumi dan pandangannya sangat dipengaruhi oleh pemikiran dari Aristoteles. Menurut Aristoteles, kehidupan disusun dengan tingkatan tertentu dan semakin bertingkat maka tingkat kerumitannya akan semakin tinggi dan ini dikenal sebagai “skala alam” atau *scale of nature*. Dalam penyampaian pendapatnya, Aristoteles mengajukan argument terkait wujud yang unik dari setiap spesies dan dari keunikan tersebut spesies dapat digolongkan berdasarkan karakteristik kunci yang dimiliki.

Pengamatan Darwin mencakup tumbuhan dan hewan yang hidup di lingkungan hutan Brazil, Padang rumput yang terdapat di Argentina, daerah terpencil Tierra del Fuego dekat Antartika, dan ketinggian yang menjulang dari puncak Pegunungan Andes. Dari hasil pengamatan panjangnya, Darwin menemukan pertanyaan besar dalam benaknya karena apa yang ditemukan terkait adanya perbedaan ciri khas dari flora dan fauna yang diamatinya di Amerika Selatan dan di Benua Eropa. Sebaran Geografis spesies-spesies mulai membuat Darwin Bingung dan lebih membingungkan dia lagi Ketika mengamati fauna di Galapagos karena keunikannya. Darwin tidak menemukan spesies yang memiliki keunikan seperti yang ditemukannya di Galapagos di wilayah lainnya meskipun kemudian ada kemiripan keunikan yang ditemukan pada spesies yang hidup di daratan Amerika Serikat. Temuan ini kemudian membuat

Darwin berpikir bahwa Fauna dan Flora yang hidup di Galapagos merupakan Flora dan Fauna yang bermigrasi dari Amerika Selatan. Flora dan Fauna yang bermigrasi tersebut kemudian akan mengalami perkembangbiakan dan kemudian perkembangan tersebut menjasikan flora dan fauna tersebut beranekaragam sesuai sebarannya di pulau-pulau yang berbeda.

Dalam pelayarannya, Darwin membaca buku Charles Lyell yang berjudul *Principles of Geology* yang juga menceritakan pengalamannya di kepulauan Galapagos, dan membuat Darwin semakin bingung dan kemudian meragukan pandangan gereja yang menyebutkan bahwa bumi bersifat statis dan bumi baru diciptakan beberapa ribu tahun yang lalu. Menurut Darwin bumi ini telah tua dan selalu mengalami perubahan secara terus menerus.

Ahli biologi evolusi Ernst Mays telah menguraikan logika Darwin mengenai seleksi alam, menjadi tiga inferensi berdasarkan lima pengamatannya (Campbell, 2003). Dalam pengamatan pertamanya, Darwin menemukan bahwa semua spesies yang diamati memiliki potensi dalam fertilitas yang sedemikian besar. Hal ini kemudian akan berpengaruh pada jumlah populasi yang akan meningkat secara eksponensial jika semua individu yang dilahirkan kemudian akan berhasil bereproduksi dengan baik. Dalam pengamatan kedua, Darwin menemukan populasi di alam memiliki kecenderungan akan menjadi stabil dalam jumlah, dan bias berubah apabila terjadi fluktuasi musiman. Pengamatan ketiga, Darwin menemukan terkait keterbatasan sumber daya di lingkungan. Hasil dari ketiga pengamatan di atas kemudian disimpulkan oleh Darwin dengan point bahwa produksi individu yang lebih banyak dibandingkan dengan daya dukung lingkungan akan mengakibatkan adanya persaingan untuk mempertahankan keberadaannya di dalam populasi itu, sehingga hanya sebagian keturunan yang dapat bertahan hidup pada setiap generasi.

Pada pengamatan keempat ditemukan setiap individu yang ada dalam populasi yang jauh akan memiliki perbedaan dalam ciri-ciri khasnya. Tidak akan ada dua individu yang persis sama. Pengamatan kelima menemukan banyak variasi dari individu dapat diturunkan sehingga Darwin menarik kesimpulan bahwa keberlangsungan kehidupan untuk mempertahankan hidup tidak terjadi secara acak namun akan dipengaruhi oleh sifat-sifat yang diwariskan dari individu yang bertahan hidup. Individu yang hidup dengan mewarisi sifat-sifat yang baik dari individu sebelumnya kemudian akan membuat individu-individu tersebut cocok dengan lingkungannya dan kemudian akan memiliki kemungkinan besar menghasilkan lebih banyak keturunan dibandingkan dengan individu yang memiliki sifat yang tidak sesuai dengan lingkungannya. Kesimpulan lainnya yang coba diberikan Darwin adalah kemampuan bertahan hidup dan bereproduksi yang dimiliki setiap individu berbeda dan perbedaan ini menghasilkan suatu perubahan yang akan terjadi secara bertahap dalam populasi. Sifat-sifat menguntungkan yang diwariskan kemudian akan berakumulasi sepanjang generasi.

Konklusi dari evolusi Darwin oleh Darwin disebutkan bahwa individu yang memiliki kemampuan untuk dapat beradaptasi dengan lingkungannya kemudian akan juga mampu meneruskan sifat unggul yang dimilikinya kepada keturunannya melalui proses seleksi alam. Konklusi Darwin ini kemudian dibuktikan dengan evolusi yang terjadi pada Jerapah berleher pendek dan jerapah berleher panjang yang kemudian terjadi karena adaptasi terhadap lingkungannya. Jerapah berleher pendek kemudian punah karena tidak mampu beradaptasi terhadap lingkungannya sementara jerapah yang berleher panjang dapat bertahan hidup dan meneruskan sifat unggulnya tersebut kepada keturunannya.

Pemikiran Darwin tentang evolusi didasarkan pada kajian ontologi dan epistemology karena Darwin mendasari temuan dan pemikirannya berdasarkan pengamatan-pengamatan yang telah dilakukannya kemudian dianalisis barulah muncul sebuah konsep adaptasi seleksi alam. Paradigma positivisme digunakan Darwin karena teori evolusi makhluk hidup Darwin didasarkan pada data-data yang empiris, diamati secara nyata dan dapat dibuktikan secara ilmiah. Teori Evolusi Darwin adalah kajian fenomena secara ilmiah dan hal ini sesuai dengan yang dinyatakan Firman (2019) bahwa pada hakikatnya, sains merupakan rangkaian proses dan produk. Produk sains merupakan hasil dari serangkaian proses sains yang telah dilakukan.

Dalam perkembangannya akhirnya para saintifik berpandangan bahwa evolusi berpusat pada gen sebagai kode kehidupan (Campbell, 2003). Kemajuan dan Perkembangan dalam bidang teknologi saat ini berlangsung begitu cepat dan hal ini memiliki imbas yang besar pada kemajuan sains terkhususnya bagi para saintifik untuk melacak bukti-bukti mengenai terjadinya proses evolusi. Teknologi dalam kemajuannya dapat menuntun para saintis untuk mampu melacak bukti-bukti yang akurat sehingga pertanggungjawabannya tidak diragukan lagi secara ilmiah. Sebagai contoh, kemajuan teknologi yang terjadi di bidang penanggalan radioaktif membuat saintis seperti memiliki kemampuan untuk menjelajah waktu hingga ke waktu yang telah jauh berlalu. Contoh lain dalam kemajuan di bidang Biologi molekuler, para saintis telah berhasil

menyingkap hubungan kekerabatan yang dahulunya hanya dirunut dari kesamaan anatomi dan morfologi.

c. Evolusi dan Kemajuan Teknologi Rekayasa Genetik

Dalam kemajuan yang berlangsung saat ini, banyak teori evolusi modern termasuk rekayasa genetika yang telah berkembang dengan berlandaskan pada teori evolusi yang dikembangkan oleh Darwin. Perkembangan teknologi yang berlangsung saat ini memungkinkan para saintis melakukan rekayasa genetika yang dapat berkontribusi besar untuk mempercepat proses evolusi yang dahulunya memakan waktu yang lama (Campbell, 2003). Berikut akan dibicarakan kajian filsafat dari rekayasa genetika.

1) Epistemologi Rekayasa Genetik

Epistemologi merupakan cabang dari filsafat ilmu yang membicarakan dan membahas terkait asal, sifat, karakter serta jenis dari pengetahuan. Epistemology berbicara terkait hakikat ilmu pengetahuan, dasar-dasar, ruang lingkup sumber-sumber dan bagaimana kebenaran dapat dipertanggungjawabkan. Objek telaah epistemologi mempertanyakan tentang bagaimana sesuatu ilmu itu datang, bagaimana cara untuk dapat mengetahuinya, bagaimana kemudian membedakan ilmu tersebut dengan lainnya. Jadi yang menjadi landasan epistemologi adalah proses mana yang memungkinkan dalam mendapatkan pengetahuan logika, etika, dan estetika, bagaimana cara dan prosedur dalam memperoleh kebenaran secara ilmiah, kebaikan moral dan keindahan seni, apa yang disebut dengan kebenaran ilmiah, keindahan seni dan kebaikan moral. Epistemology rekayasa genetic menjelaskan bagaimana teknik rekayasa genetika diperoleh dan bagaimana perkembangan teknik rekayasa genetika.

(a) Bagaimana Rekayasa Genetika Diperoleh

Sebelum Mendel mengemukakan percobaannya, orang-orang dahulu belum mengenal istilah gen ataupun kromosom. Pada masa itu, telah dilakukan ekstraksi DNS namun orang belum memahami apa fungsi dari DNA itu sendiri. Orang-orang masih percaya bahwa sifat yang kemudian akan diturunkan diberikan melalui sperma dan bukan oleh betina. Pada masa selanjutnya, seorang biarawan dari Jerman bernama Gregor Mendel menampilkan percobaannya mengenai persilangan tanaman dimana Mendel pertama kali menemukan pewarisan sifat pada tanaman *Pisum sativum* dengan menggunakan sejumlah hubungan matematika sederhana. Mendel mampu menjelaskan bagaimana hubungan-hubungan dapat terjadi yang kemudian dikenal dengan "Hukum Mendel".

Sejak penemuan Mendel di publikasikan, istilah Gen (Faktor) mulai dikenal banyak orang sebagai pembawa sifat yang kemudian pada tahap selanjutnya, genetika mampu menjawab keraguan Darwin dimana dengan penelitian menggunakan *Pisum sativum* selama bertahun-tahun, Mendel menjelaskan bahwa sifat makhluk hidup diturunkan dari induk kepada keturunannya. Pernyataan Mendel di atas menunjukkan bahwa ada substansi genetic yang berfungsi sebagai factor pembawa sifat.

Perkembangan genetika pada zaman sekarang mengalami kemajuan yang pesat dimana gen sebagai factor pembawa sifat dapat diubah dengan berbagai teknologi yang saat ini ada seperti penggunaan nano sebagai perangkat perubah penurunan sifat. Mengubah gen berarti mengubah sifat individu dengan cara mengubah suatu substansi yang tepat yang kemudian akan menghasilkan keturunan yang memiliki sifat yang beda dari individu sebelumnya. Hal inilah yang kemudian dikembangkan sebagai teknik rekayasa genetika.

Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan para saintifik untuk melakukan rekayasa genetic dan proses rekayasa genetic berlandaskan pada teori Evolusi Darwin. Rekayasa genetic seperti yang telah banyak dikembangkan oleh pra saintifik memiliki kontribusi besar dalam mempercepat proses evolusi yang oleh Darwin dikatakan bahwa proses evolusi membutuhkan waktu yang lama. Sebelum adanya istilah rekayasa genetic, manusia telah terlebih dahulu mengenal istilah ini dengan kawin silang yang juga dilakukan oleh manusia untuk mendapatkan variasi genetic yang lebih baik.

Genetika pada awalnya berasal dari bahasa Yunani *genno* yang berarti "melahirkan". "Genetika" awalnya diperkenalkan oleh William Bateson dalam suatu surat pribadi yang dikirimkan kepada Adam Chadwick yang kemudian ia gunakan pada Konferensi Internasional tentang genetika tahun 1906. Bidang kajian dari genetika dimulai dari wilayah molekular hingga populasi dimana genetika menjelaskan material bahan genetic, ekspresi genetic dan pewarisan genetic serta mengapa terjadi variasi genetic dalam suatu populasi (Laimeheriwa, 2017).

Rekayasa genetic pada dasarnya merupakan Teknik untuk memanipulasi komponen genetic yaitu gen yang dapat dilakukan dalam satu sela tau makhluk hidup bahkan dari satu

mahluk hidup ke mahluk hidup lain yang tidak sejenis (Asaye *et al*, 2014). mahluk hidup yang materi genetiknya telah dimanipulasi di laboratorium disebut sebagai mahluk hidup *transgenic* atau rekayasa genetika mahluk hidup (*genetically modified organism/GMO*) yang kemudian mahluk hidup tersebut memiliki sifat unggul jika dibandingkan dengan mahluk hidup asalnya (Marinho *et al.*, 2012). Tujuan GMO adalah mengatasi berbagai masalah kekurangan pangan yang dihadapi penduduk dunia dimana kasus tersebut tidak mampu dipecahkan dengan metode konvensional karena laju pertumbuhan penduduk yang begitu cepat (Pramasshinta *et al*, 2014).

Rekayasa genetika memiliki manfaat dalam kehidupan manusia antara lain menghasilkan produk yang jumlahnya lebih banyak dari produk yang jumlahnya sedikit; memiliki kualitas yang lebih unggul karena DNA nya sudah dimodifikasi sehingga kandungan nutrisi lebih tinggi, tahan lama, tahan cuaca, tahan terhadap hama serta dapat meningkatkan hasil panen. Dalam perkembangannya rekayasa genetic juga memiliki dampak negatif seperti produk hasil rekayasa genetika ternyata berpotensi menimbulkan penyakit/gangguan kesehatan karena adanya berbagai jenis bahan kimia baru yang terdapat dalam produk yang dimodifikasi ataupun pada produk transgeniknya. Bahan kimia baru dalam produk tersebut kemudian berpotensi menimbulkan penyakit baru atau memicu penyakit lainnya.

(b) Objek Telaah Rekayasa Genetika

Genetika membahas tentang substansi hereditas yang membahas terkait bagaimana pewarisan sifat-sifat fisik, factor biokimia dan pewarisan perilaku yang terjadi dan diturunkan dari suatu mahluk hidup kepada keturunannya. Sifat-sifat yang diturunkan kepada keturunan dikendalikan oleh DNA (*Deoxyribu nucleid acid*) yang ada di dalam gen yang dimiliki setiap individu. Gen terletak dalam kromosom di dalam inti sel dan tersusun dari polimer-polimer nukleotida yang (DNA dan RNA). Dalam perkembangannya, kemudian diketahui bahwa dalam tubuh mahluk hidup terdapat kromosom *autosom* atau kromosom tubuh dan kromosom *gonosom* atau kromosom kelamin. Di dalam tubuh setiap mahluk hidup terkandung 22 pasang kromosom *autosom* dan 1 pasang kromosom *gonosom*. Semakin banyak jumlah gen yang terdapat di dalam kromosom akan berpengaruh pada banyaknya variasi sifat yang dihasilkan sehingga ini dapat membuktikan bagaimana setiap manusia dapat lahir dengan berbagai perbedaan. Sekalipun manusia lahir sebagai anak kembar yang identik masih memiliki berbagai perbedaan sifat diantara mereka. Jika yang kembar saja demikian bagaimana dengan mahluk hidup lainnya? Manusia berbeda satu dengan lainnya bahkan dengan kedua orangtua, setiap orang memiliki banyak perbedaan baik dari bentuk fisiknya maupun dari sifat dan tingkah laku. Ada anak yang dilahirkan dengan perbedaan yang sangat jauh dari orangtuanya misalnya kedua orang tuanya memiliki jenis rambut yang keriting namun memiliki anak yang berambut lurus atau orang tua yang berkulit hitam mungkin memiliki anak yang berkulit putih karena variasi gen yang dimiliki oleh kita memungkinkan muncul keturunan yang memiliki variasi yang berbeda.

Menurut Mendel, sifat yang diturunkan dari orang tua dapat diperhitungkan dengan menggunakan berbagai hukum mendel seperti hukum persilangan galur murni, hukum intermediate, kriptomeri serta hipostasi dan epistasis. Dalam kehidupan, beberapa penyakit dapat diturunkan karena penyakit atau kelainan tersebut terpaut pada gen tubuh atau pada gen kelamin seperti albino, buta warna hemofilia, polidactili, dan telinga berambut. Selain penyakit, golongan darah kita juga terpaut gen tubuh sehingga kita dapat memprediksi golongan darah anak dari golongan darah orangtuanya. Melalui genetika, kita dapat menunjukkan bahwa golongan darah pada anak memiliki kesamaan dengan alel yang dimiliki oleh orangtuanya.

Struktur Substansi genetika dapat mengalami perubahan karena dipengaruhi oleh perubahan dari DNA dan kemudian perubahan yang terjadi dapat diturunkan sehingga mengakibatkan terjadinya mutase pada gen atau kromosom yang berdampak pada perubahan struktur atau fenotipenya. Mutasi gen terjadi secara alami dan secara buatan. Mutasi gen secara alami saat ini sedang menjadi perbincangan hangat seperti yang terjadi pada kasus pandemic virus corona. Virus pada umumnya berevolusi dimana virus dapat mengubah susunan RNA-nya seperti yang telah terjadi pada virus SARS-CoV-2. Sun., et al (2020) melakukan analisis rekombinasi dan pohon filogenetik pada 2019-nCoV dan dari analisis tersebut telah ditemukan bahwa virus ini berasal dari cabang yang sama dengan BetaCoV/RatG13/2013 (EPI_ISL_402131). Kedua virus tersebut berada di cluster yang sama tetapi cluster ini mungkin merupakan hasil evolusi secara konvergen atau peristiwa rekombinasi yang berlangsung secara kompleks dengan melibatkan 2 species virus yang memiliki jajaran evolusi yang berbeda.

Studi filogenetik lebih lanjut telah menunjukkan adanya beberapa garis keturunan pangolin CoVs yang memiliki kesamaan secara genetic dengan 2019nCoV (Anthony et al., 2017; Chan et

al, 2020). Temuan ini mendukung hipotesis yang menyebutkan bahwa trenggiling berperan sebagai potensi perantara. Menurut Sun (2020), data yang saat ini tersedia tidak sepenuhnya menjelaskan jika virus itu ditransmisikan langsung dari kelelawar ke manusia atau secara tidak langsung melalui perantara, juga tidak saat ini mengesampingkan evolusi konvergen sebagai hipotesis alternative untuk rekombenasi untuk menjelaskan pohon-pohon filogenetik.

Mutasi Gen secara buatan merupakan hasil usaha manusia yang dilakukan melalui mutagen seperti panas, unsure radioaktif, sinar ultraviolet dan sebagainya secara fisik, kimia dan Biologi yang kemudian menghasilkan mutant. Mutasi buatan yang telah dilakukan secara terarah sebagai upaya dari manusia telah memunculkan teknologi rekayasa genetika.

2) Ontologi Rekayasa Genetika

Ontologi merupakan kajian filsafat yang berbicara tentang hakikat dari ilmu yang berkaitan dengan rekayasa genetika dan terkait bagaimana struktur keilmuan dari rekayasa genetika. Berdasarkan kajian ontology, rekayasa genetika menjadi puncak dalam perkembangan ilmu di bidang bioteknologi yang saat ini sedang berkembang dengan pesat. Dalam perkembangannya, rekayasa genetika tidak dapat dipisahkan dengan ilmu-ilmu pendukungnya seperti ilmu Biologi Evolusi, Biologi Molekuler, Biologi Sel, Biokimia, Biologi Tumbuhan, Biologi Hewan. Rekayasa genetik terjadi dalam rangkaian proses yang mengakibatkan adanya perubahan sifat yang terjadi pada makhluk hidup dan hal ini dilakukan secara sengaja oleh manusia. Perubahan-perubahan yang terjadi akibat rekayasa genetic dapat berlangsung secara permanen namun ada yang hanya sementara.

Rekayasa genetik memiliki tujuan, yaitu: (1) membudidayakan suatu gen atau factor sifat keturunan yang memiliki sifat-sifat unggul atau yang menguntungkan dan (2) memotong bagian yang membawa kode sifat yang merugikan. Memotong rantai DNA yang mengandung suatu kode genetic memberikan kita urutan kode genetic baru yang akan mengkode sifat baru sehingga sangat mungkin dihasilkan suatu organisme baru yang memiliki ketahanan tubuh yang lebih baik dari organisme sebelumnya. Rekayasa genetic bahkan memungkinkan adanya manusia-manusia baru hasil cloning yang kemudian telah menimbulkan banyak *pro* dan *kontra* di tengah masyarakat terkhususnya ditengah para ilmuwan. Teknologi rekayasa genetika pada dasarnya tidak akan bermasalah apabila diperuntukan bagi kehidupan manusia tanpa mengubah stabilitas ciptaan Tuhan. Namun hal ini akan menjadi persoalan besar ketika ilmu ini disalah gunakan oleh ilmuwan yang tidak bertanggungjawab dan memiliki tanggungjawab moral dan social yang rendah.

Perkembangan rekayasa genetika saat ini telah maju dan ini berjalan semakin maju dari waktu ke waktu. Dalam perkembangannya, manusia telah melihat bagaimana saat ini dapat dilakukan berbagai rekayasa genetika untuk mempermudah segala aktifitas dan kebutuhan manusia. Sapi betina membutuhkan sapi jantan untuk dapat meneruskan keturunannya, namun di masyarakat bagi yang hanya memiliki salah satu jenis sapi akan kesulitan karena perkawinan secara tradisional membutuhkan hewan jantan. Dengan kemajuan rekayasa genetic, jika peternak sapi hanya memiliki sapi betina maka peternak tersebut tidak membutuhkan sapi jantan tapi bisa melakukan proses persilangan dengan inseminasi secara buatan dimanadalam proses ini sperma diambil dari sapi jantan yang unggul kemudian akan untuk disuntikan pada sel telur sapi betina. Sebelum disuntikan agar sel sperma yang diambil tetap bertahan sampai pada lokasi tujuan, sel sperma akan dimodifikasi lalu akan dibekukan.

Teknologi Rekayasa Genetika saat ini telah banyak digunakan dan telah mencapai rekayasa pada tingkat molekuler. Beberapa contoh akan dipaparkan untuk membuktikan bahwa rekayasa yang selama ini berkembang telah mengalami kemajuan sebagai berikut.

(a) Inseminasi Buatan

Proses perkawinan secara tradisional pada hewan dan tumbuhan mengharuskan manusia memiliki ketersediaan hewan atau tumbuhan yang sepasang (jantan dan betina) yang kemudian akan melakukan proses perkawinan untuk menurunkan sifat genetisnya, namun dalam perkembangan rekayasa genetika, ketika yang dimiliki hanya hewan betina maka hal ini dapat diatasi dengan melakukan proses inseminasi buatan. Dalam inseminasi buatan, sel sperma yang diambil dari sapi jantan dengan sifat unggul akan disuntikkan kepada sel telur individu local dan hasil dari inseminasi ini berupa keturunan sapi unggul. Agar sel sperma yang diambil dalam proses pemindahan ke sel telur tidak mengalami kerusakan dan dapat bertahan maka sel sperma terlebih dahulu akan dimodifikasi dan dibekukan.

(b) Sistem Kekebalan Tubuh

Sistem kekebalan tubuh baik pada tumbuhan dan hewan dapat ditingkatkan dengan melakukan rekayasa pada genetisnya. Rekayasa dapat dilakukan dengan menggunakan radiasi sinar dengan panjang gelombang tertentu baik itu sinar alfa, atau radiasi sinar x. rekayasa ini akan menghasilkan varietas unggul yang kemudian akan tahan terhadap hama dan penyakit seperti padi yang tahan wereng atau jeruk unggul yang anti hama.

(c) Penemuan Vaksin Hewan

Pemotongan strike DNA inang dengan tujuan membuang bagian gen yang tidak diinginkan secara sengaja akan menghasilkan berbagai macam organisme yang memiliki ketahanan terhadap penyakit. Organisme yang telah dipotong strike DNA secara sengaja tersebut kemudian akan dikembangbiakan karena mampu membentuk kekebalan tubuh bagi diri sendiri dan kekhasan ini dapat digunakan dengan mengambilnya menjadi vaksin penyakit, seperti vaksin H3N1 yang telah digunakan dalam pemberantasan virus flu burung.

Selain pada hewan dan tumbuhan, Rekayasa Genetika juga telah dilakukan pada manusia seperti berikut.

(a) Bayi Tabung

Teknologi bayi tabung telah banyak dikenal pada zaman ini dan telah banyak yang mengikuti program ini dan berhasil memiliki anak dari teknologi ini. Pertama kali teknologi bayi tabung diperkenalkan sebagai teknologi yang menjadi alat bantu kopulasi yang dilakukan diluar tubuh manusia dimana sepasang manusia yang memiliki sel kelamin yang sehat dan baik namun tidak dapat melakukan pembuahan karena berbagai alasan dapat diambil sel telur dan sel sperma mereka untuk kemudian dipertemukan di dalam tabung percobaan yang telah didesain khusus dengan berbagai kondisi yang tepat. Kopulasi di luar tubuh ini akan menghasilkan zigot yang kemudian akan ditanamkan ke rahim ibunya atau ke rahim wanita yang sehat.

(b) Penemuan Vaksin dan Obat-obatan

Proses pembuatan vaksin yang kemudian akan digunakan untuk kehidupan manusia memiliki prinsip yang sama dengan pembuatan vaksin hewan. Proses pembuatan vaksin dilakukan dengan menghilangkan atau memotong DNA inang kemudian diselipkan DNA tertentu dari bakteri penyebab penyakit. Penyematan DNA bakteri akan menyebabkan sel inang membentuk sistem kekebalan terhadap penyakit yang dimaksudkan dalam proses penyematan. Pada tingkat selanjutnya, organisme yang telah diselipkan DNA bakteri akan dirangsang untuk berkembang biak. Hasil dari proses ini berupa vaksin-vaksin yang diproduksi inang dan diturunkan, seperti yang telah digunakan dalam dunia kedokteran seperti proses pembuatan vaksin Hepatitis B dan dalam proses untuk menghasilkan hormon insulin.

3) Aksiologi Rekayasa Genetika

Aksiologi adalah kajian filsafat yang membicarakan tentang manfaat dan kerugian suatu ilmu tertentu. Dalam poin ini kita akan mengkaji bagaimana manfaat dan apa kerugian yang ditimbulkan oleh rekayasa genetika.

Perkembangan teknologi yang cepat kemudian memunculkan pro-kontra akan Rekayasa genetic. Kontroversi yang tajam justru muncul diantara kalangan para ilmuwan yang kemudian bertahan dengan alasan ilmiahnya masing-masing. Kelompok pro beralasan bahwa potensi tak terbatas dalam rekayasa genetik bermanfaat dalam mengatasi kekurangan pangan dan menghasilkan makanan-makanan yang memiliki nilai gizi yang lebih berkualitas dan mampu menghasilkan obat-obatan yang lebih baik serta juga menekan atau mengurangi penggunaan pestisida dalam dunia pertanian. Kelompok yang Kontra beralasan bahwa produk hasil rekayasa genetic belum tentu aman dikonsumsi karena dapat berdampak negative bagi Kesehatan dan lingkungan. Dampak besar lainnya adalah produk rekayasa genetic kemudian akan merugikan para petani karena para petani konvensional tidak mampu meningkatkan produktifitas yang lebih menguntungkan (Hardiyansyah, 2000).

Proses pemindahan gen tidak selamanya berhasil seperti yang dikatakan oleh Philips (1994) karena materi genetic yang baru mungkin saja dapat mengalami kegagalan pemindahannya ke sel target atau mungkin perpindahan dapat terjadi namun menuju ke tempat yang salah pada rantai DNA dari makhluk hidup sasaran atau gen yang baru dapat mengaktifkan gen lain yang dekat dengannya secara tidak sengaja dan mengubah fungsi gen yang berbeda. Jika hal ini terjadi maka mutasi gen yang tidak terduga dapat terjadi dan membuat perubahan

yang terjadi mungkin saja membahayakan. Misalnya jika kesalahan itu terjadi pada tanaman yang dikonsumsi maka tanaman tersebut mungkin saja dapat beracun, dan pertumbuhan tidak sesuai dengan yang diinginkan. Tanaman yang telah dilakukan proses rekayasa genetik mungkin memiliki potensi untuk merusak keseimbangan lingkungan di sekitarnya karena hama dan penyakit yang seharusnya ada pada tanaman tersebut akan berpindah ke ladang-ladang petani konvensional. Petani konvensional pada akhirnya mau tidak mau harus beralih dan kemudian menjadi pengguna tanaman transgenik yang harganya relatif mahal. Para pemerhati lingkungan memiliki kekhawatiran terhadap adanya tanaman transgenik karena akan berdampak pada lingkungan ketika tanaman transgenik secara luas dibudidayakan (Kaiser, 1996).

Pada dasarnya, tanaman transgenik memiliki herbisida dan serangga perlawanan yang sewaktu waktu akan mampu melakukan penyerbukan silang dengan spesies liar. Penyerbukan silang dapat memproduksi zat tertentu yang bisa memberantas gulma terutama pada areal pertanian kecil yang dikelilingi oleh tanaman liar sehingga dapat memberantas gulma dan mengurangi biaya pembelian herbisida yang harganya relatif mahal bagi petani namun peristiwa penyerbukan silang juga dapat menyebabkan transfer gen yang tidak disengaja dan konsekuensi yang ditimbulkan belum dapat diketahui meskipun sulit untuk dibuktikan (Hileman, 1999). Pada tanaman transgenik mungkin akan muncul virus baru dan racun dari tanaman ini merupakan bagian dari strategi untuk meningkatkan ketahanan tanaman seperti yang telah dilakukan di India (Kamle et al., 2011). Komersialisasi tanaman transgenik dari beberapa varietas telah mendapatkan dukungan dunia internasional meskipun diduga akan menimbulkan ancaman baru terutama terhadap kepunahan keragaman genetik khususnya di negara-negara berkembang (Cantley, 2012).

Rekayasa genetik pada produksi obat GMO (*Genetically Modified Organism*) seperti anti alergi, anti kanker, insulin dan antibodi monoclonal telah terbukti mampu menyembuhkan berbagai penyakit pada manusia dan manfaatnya telah dirasakan oleh banyak masyarakat di dunia. Singh *et al.* (2006) melaporkan bahwa teknologi rekayasa genetik memiliki kemampuan mengekspresikan gen asing dan hal ini telah menjadi peluang produksi produk makanan dan obat-obatan komersial yang penting untuk meningkatkan kesehatan masyarakat. Meskipun telah dilaporkan manfaatnya namun muncul banyak kekhawatiran terkait dampak negatif yang mungkin akan muncul seperti resistensi antibiotik ke dalam tanaman yang banyak dikonsumsi masyarakat kemudian dimungkinkan memiliki dampak negatif yang tidak diinginkan pada kesehatan manusia dan hewan (Phillips, 1994). Dalam tubuh makhluk hidup transgenik, gen penanda resisten antibiotik dapat dimungkinkan untuk dimasukkan ke tanaman tertentu dan dapat ditransfer ke mikroba penyebab penyakit dalam usus manusia atau hewan yang mengkonsumsi makanan produk rekayasa genetika. Fenomena ini dapat mengakibatkan mikroba resisten terhadap antibiotik dalam populasi makhluk hidup, dan selanjutnya berkontribusi terhadap masalah kesehatan manusia yang resisten antibiotik (Bettelheim, 1999; Hileman, 1999). Nordlee *et al.* (1996) melaporkan bahwa salah satu produk GMO telah ditarik dari peredaran karena menyebabkan alergi pada konsumen dan reaksi alergi yang terjadi diduga disebabkan karena adanya modifikasi dari suatu gen tertentu.

Secara umum kajian aksiologi rekayasa genetika dapat ditulis sebagai berikut.

(a) Manfaat Rekayasa Genetika

- (1) Rekayasa genetika dimanfaatkan oleh manusia di berbagai bidang kehidupan. Dalam dunia tumbuhan dan hewan, pemilihan bibit-bibit unggul seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bermanfaat bagi kehidupan manusia karena mendapatkan bibit unggul dengan mudah, murah dan telah terjamin kualitasnya dan kesediaan pangan tetap terjaga ketersediaannya.
- (2) Rekayasa genetika juga dimanfaatkan untuk menghasilkan obat pemberantas hama yang aman dan mudah dijangkau masyarakat luas.
- (3) Rekayasa genetika kedepannya diharapkan mampu berkontribusi besar bagi bidang kedokteran terkhusus dalam penanganan penyakit serius akibat kerusakan organ karena rekayasa genetika bermanfaat dalam penyembuhan dengan cangkok organ tanpa harus mencari donor organ.

(b) Kerugian Rekayasa Genetika

Masalah-masalah baru mungkin akan muncul karena rekayasa genetika menimbulkan kerugian jangka panjang bagi manusia seperti berikut ini.

- (1) Kerugian rekayasa genetika yang tidak mampu mengendalikan perkembangbiakan organisme ciptaan baru tertentu yang mungkin akan berdampak bagi kerugian masyarakat.

- (2) Kerugian lain akaibat rekayasa genetika dapat dirasakan sebagai ancaman bagi keberlangsungan biodiversitas bumi.

4. Simpulan

Berdasarkan uraian di atas maka dapat disimpulkan bahwa evolusi terjadi karena adanya proses perubahan spesies yang terjadi dalam jangka waktu tertentu dengan tujuan untuk beradaptasi terhadap segala perubahan yang terjadi di lingkungannya. Perubahan pada spesies kemudian akan diteruskan kepada keturunannya. Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan para saintifik untuk melakukan rekayasa genetic dan proses rekayasa genetic berlandaskan pada teori Evolusi Darwin. Rekayasa genetic pada dasarnya merupakan teknik untuk memanipulasi komponen genetic yaitu gen dalam satu sel atau makhluk hidup bahkan dari satu makhluk hidup ke makhluk hidup lain yang tidak sejenis. Rekayasa genetic memiliki tujuan yaitu 1) membudidayakan suatu gen atau factor sifat keturunan yang memiliki sifat-sifat unggul atau yang menguntungkan dan 2) memotong bagian yang membawa kode sifat yang merugikan. Rekayasa genetika memiliki manfaat bagi keberlanjutan kehidupan manusia seperti memberikan bibit ungu yang mudah didapat, terjamin kulaitasnya dan murah serta dapat dimanfaatkan dalam bidang kedokteran bagi kesehatan manusia namun juga memiliki kerugian ketika organisme baru yang dikembangkn tidak dapat dikendalikan pertumbuhannya serta dapat memberikan ancaman bagi biodiversitas.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Bapak Dr. Harry Firman dan Prof. Dr. Nahadi atas bimbingan dan pendampingannya sehingga artikel ini dapat diselesaikan. Terima kasih juga kepada STKIP Weetebula yang telah memfasilitasi dan mendanai penerbitan artikel ini.

6. Daftar Pustaka

- Anthony J Simon, Christine K Johnson, Denise J Greig, Sarah Kramer, Xiaoyu Che, Heather Wells, Allison L Hicks, Damien O Joly, Nathan D Wolfe, Peter Daszak, William Karesh, W I Lipkin, Stephen S Morse, PREDICT Consortium, Jonna A.K. Mazet, Tracey Goldstein. 2017. Global Patterns in Coronavirus Diversity. *Virus Evolution* 3 (1).
- Amin, L., A. A. Azlan, M. H. Gausmian, J. Ahmad., A. L. Samian, M. S. Haron, dan N. M. Sidek. 2010. Ethical Perception of Modern Biotechnology With Special Focus on Genetically Modified Food Among Muslims in Malaysia. *AsPac J. Mol. Biol. Biotechnol.*, 18 (3) : 359-367.
- Asaye, M., H. Biyazen, dan M. Girma. 2014. Genetic Engineering in Animal Production: Applications and Prospects. *Biochemistry and Biotechnology Research*, 2(2): 12-22.
- Cantley, M. 2012. European Attitudes on the Regulation of Modern Biotechnology and their consequences, *GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain*, 3(1): 40-47.
- Bettelheim, A. 1999. Drug resistant bacteria: Can scientists find a way to control 'superbugs'? *CQ Researcher*, 9(21): 473–96.
- Chan Woo, Shuofeng Yuan, Kin Hang Kok, Kelvin Kai-Wang To, Hin Chu, Jin Yang, Fanfan Xing, Jieling Liu. 2020. A Familial Cluster of Pneumonia Associated with the 2019 Novel Coronavirus Indicating Person-to-person Transmission: A Study of a Family Cluster. *The Lancet*, 395: 514-523.
- Campbell, N.A., Jane B.R., Lawrence G.M. 2003. Biologi. Jakarta: Erlangga.
- Comas, J. (1957). *Manual of Physical Anthropology*. Springfield: Charles C Thomas.
- Hardinsyah. 2000. *Potensi Kekuatan dan Kelemahan Produk Pangan Hasil Rekayasa Genetika*. Makalah pada Seminar Pangan Rekayasa Genetika. Kolaborasi, Bogor.
- Hileman, B. 1999. *UK Moratorium on Biotech Crops*. Chemical & Eng News May, Pp 7.
- Jalaluddin dan Abdullah Idi. 2007. *Filsafat Pendidikan*. Yogyakarta: Ar-Ruzz Media.
- Kamle, S., A. Kumar, R.K. Bhatnagar. 2011. Development of Multiplex and Construct Specific PCR Assay for Detection of Cry2ab Transgene in Genetically Modified Crops and Product. *GM Crops*, 2(1): 74-81.

- Kaiser, J. 1996. Pests Overwhelm Bt Cotton Crop. *Science*, 273: 423.
- Kompas. 30 Maret 2021. Teori Neo-Darwinisme: Pengertian, Sejarah, dan Perkembangannya. <https://www.kompas.com/skola/read/2021/03/30/144544769/teori-neo-darwinisme-pengertian-sejarah-dan-perkembangannya>. Diakses 28 November 2021.
- Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang B, Wu H, Wang W, Song H, Huang B, Zhu N, Bi Y, Ma X, Zhan F, Wang L, Hu T, Zhou H, Hu Z, Zhou W, Zhao L, Chen J, Meng Y, Wang J, Lin Y, Yuan J, Xie Z, Ma J, Liu WJ, Wang D, Xu W, Holmes EC, Gao GF, Wu G, Chen W, Shi W, Tan W. 2020. Genomic Characterisation and Epidemiology of 2019 Novel Coronavirus: Implication for Virus Origins and Receptor Binding. *The Lancet*, 395: 565-574.
- Marinho, C.D., F.J.O. Martins, A.T. Amaral Júnior, L.S.A. Gonçalves, S.C.S. Amaral, dan M. P. de Mello. 2012. Use of Transgenic Seeds in Brazilian Agriculture and Concentration of Agricultural Production to Large Agribusinesses. *Genet. Mol. Res.*, 11(3): 1861-1880.
- Nordlee, J. A, S.L. Taylor, J.A. Townsend, L.A. Thomas, R.K. Bush. 1996. Identification of Brazil Nut Allergen in Transgenic Soybeans. *N Engl J Med.*, 334: 668–92.
- Phillips, S.C. 1994. Genetically Engineered Foods: Do They Pose Health and Environmental Hazards?. *CQ Researcher*, 4(29): 673–96.
- Pramashinta, A., L. Riska, Hadiyanto. 2014. Bioteknologi Pangan: Sejarah, Manfaat, dan Potensi Resiko. Review. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 3 (1): 1-6.
- Ristasa, R. A. (2019). Modul 1: Sejarah Perkembangan Teori Evolusi Makhluk Hidup. Jakarta :Universitas Terbuka.
- Rissler, J dan M. Mellon. 1993. *Perils Amid The Promise: Ecological Risks of Transgenic Crops in a Global Market*. Union of Concerned Scientists, Washington D.C.
- Singh, O.V., S. Ghai, D. Paul, R. K. Jain. 2006. Genetically Modified Crops: Success, Safety Assessment, and Public Concern. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 71(5): 598-607.
- Strickberger, M. W. 2000. *Evolution*. Third Edition, London: Jones and Barlet Publishers.
- Suhardi. 2019. Rekayasa Genetika Ditinjau dari Sudut Ontologi, Epistemologi, Aksiologi. <https://hardianimalscience.wordpress.com/2019/09/23/rekayasa-genetika-ditinjau-dari-sudut-ontologi-epistemologi-aksiologi/>.
- Wang L., Wang Y., Ye D., Liu Q. 2020. Review of the 2019 Novel Coronavirus (SARS-Cov-2) Based on Current Evidence. *International Journal of Antimicrobial Agents*.
- Yeni, h. 2021. Modul Belajar Mandiri Calon Guru PPPK-Pembelajaran 10: Evolusi. <https://cdn-gbelajar.simpkb.id/s3/p3k/Biologi/Perpembelajaran/BIOLOGI-PB10.pdf>. Diakses 28 November 2021.