

# Teknologi DNA antara Bioetika, Kepentingan, dan Keselamatan Umat Manusia

*Oleh Harun Rasyid*

Berapa banyak penghematan yang dapat dilakukan dengan teknologi kloning sebagai bagian dari kemajuan teknologi DNA. Penelitian khasiat obat dengan hewan hasil kloning sama persis, misalnya, akan menyederhanakan variabel dan memudahkan keberhasilan eksperimen. Atau proses transplantasi (pencangkokan) yang tak akan ditolak oleh sistem kekebalan tubuh karena identiknya jaringan atau organ tubuh.

Sebagaimana dengan teknologi baru, perkembangan dalam teknologi DNA memiliki konotasi tersirat yang bersifat etis. Memperoleh peta komplet dari genom manusia misalnya, akan membuka pintu untuk kemajuan nyata dalam terapi gen. Pertimbangan etika, seperti juga kekhawatiran tentang potensi bahaya bagi lingkungan dan kesehatan, sepertinya akan memperlambat penggunaan produk bioteknologi baru. Selalu ada ancaman bahwa terlalu banyak aturan akan memadamkan penelitian dasar dan manfaat potensialnya. Akan tetapi, kemampuan rekayasa genetik, kemampuan kita untuk secara nyata dan cepat mengubah spesies yang telah berevolusi selama berabad-abad.

Membutuhkan kerendahan hati dan kehati-hatian kita dalam membuat kemajuan.

Pengetahuan teknologi DNA, termasuk juga rekayasanya, harus digunakan sebagai sarana memperkokoh keimanan kepada Allah, yang berarti bukan lagi seorang ilmuan harus berpegang pada paradigma *science for science* tetapi mesti berpijak pada khittah: *science for progressing human belief to Allah*. Teknologi DNA termasuk rekayasa genetika terhadap manusia boleh dilakukan untuk emergensi (*dlarury - necessity*), dan untuk memenuhi kebutuhan primer (*hajiy - need*), tidak boleh dilakukan untuk kepentingan kosmetis (*tabsiniy*).

**“B**iar dapat adik...., dikloning aja , Bu”  
Perkataan Imam membuat ibu Aisyah terbelalak. Tak menyangka. Bahkan, tidak cuma itu. Masih ada lanjutannya. “Bisa cepat Bu, ..... banyak lagi.

Pengetahuan tentang inti molekul mengantarkan manusia pada musibah bom atom dan hidrogen. Pada saat yang sama juga memberi manfaat dan keuntungan besar lewat penggunaan dan aplikasi radiasi inti nuklir di bidang industri obat-obatan, agrikultur, dan peternakan. Demikian pula dengan teknologi kloning membawa manusia kepada suatu paradigma baru dalam wacana aplikasi ilmu pengetahuan.

**Dewasa ini nilai pasar produk bioteknologi adalah 70 Milyar dolar AS per tahun. Diperkirakan jumlah itu akan terus meningkat hingga 100 milyar dolar AS. Meski begitu, sebandingkah pertimbangan keuntungan ekonomi dengan kekacauan dunia, hilangnya nilai-nilai kemanusiaan, tercabutnya fitrah insani, runtuhnya kehormatan, rusaknya garis keturunan, dan masih banyak lagi.**

Memang sulit dikesampingkan, bahwa pertimbangan kepentingan dan tekanan ekonomi akan menyetir arah kebijakan dan pengaturan iptek. Bayangkan, berapa banyak penghematan yang dapat dilakukan dengan teknologi kloning sebagai bagian dari kemajuan bioteknologi modern.. Penelitian khasiat obat dengan hewan hasil kloning sama persis, misalnya, akan menyederhanakan variabel dan memudahkan keberhasilan eksperimen. Atau proses transplantasi (pencangkokan) yang tak akan ditolak oleh sistem kekebalan tubuh karena identiknya jaringan atau organ tubuh.

Entah berapa besar keuntungan akan diraup, terutama karena dewasa ini nilai pasar produk bioteknologi adalah 70 Milyar dolar AS per tahun. Diperkirakan jumlah itu akan terus meningkat hingga 100 milyar dolar AS. Meski begitu, sebandingkah pertimbangan keuntungan ekonomi dengan kekacauan dunia, hilangnya nilai-nilai kemanusiaan, tercabutnya fitrah insani, runtuhnya kehormatan, rusaknya garis keturunan, dan masih banyak lagi.

### **1. Peranan Etika dan Moral Pada Teknologi Kloning**

Etika dan moral menjadi masalah terbesar yang harus dihadapi manusia sebagai salah satu dampak kemajuan teknologi. Perkembangan yang cepat dan tak terduga membuat sebagian besar kita belum siap. Bagaimana dengan hak waris? Bisa kacau oleh penetapan kloning. Garis keturunan menjadi rusak, konsep pernikahanpun menjadi berantakan. Karena seseorang bisa mencetak keturunan tanpa harus menikah. Yang paling berbahaya, jika individu hasil kloning ditetapkan sebagai milik dari orang yang melakukan atau perusahaan yang mensponsori kloning.

Beberapa ahli membenarkan penggunaan kloning dengan beberapa batasan. Penggunaan teknologi kloning dibenarkan sebatas sebagai alat bantu reproduksi bagi pasangan yang sulit mendapatkan keturunan dan untuk menanggulangi penyakit. Tak boleh lebih dari itu.

Kita memang tak dapat membendung kemajuan teknologi kloning, tetapi tetap harus ada penyaringan. Jika memberi manfaat, seperti bibit unggul tanaman, penanggulangan penyakit boleh kita terima. Namun untuk kerusakan dan kekacauan kita tak boleh berdiam diri. Karena teknologi adalah serpihan ilmu Allah yang manusia temukan. Tujuan teknologi adalah untuk memudahkan manusia dalam menjalankan fungsinya sebagai khalifah di dunia. Bukan justru untuk merusak atau

berperan sebagai pengganti Sang Pencipta. Wallahu'alam.

## 2. Teknologi Kloning

Hampir tidak ada suatu hari yang berlalu tanpa teknologi DNA, bukanlah suatu berita. Umumnya pokok pembicaraan adalah aplikasi baru dan yang menjanjikan dari teknologi ini, dan yang paling sering adalah aplikasi pada masalah-masalah kedokteran. Beberapa tahun lalu, kata-kata kloning memang populer. Tampilnya wajah domba Dolly, menandai keberhasilan Ian Wilmut, 52 tahun, melakukan kloning. Ahli embriologi dari Universitas Philadelpia tersebut secara resmi mengumumkan bahwa usia Dolly telah mencapai tujuh bulan. Belum lepas keterhanyakan penduduk dunia, berikutnya Don Wolf, ilmuwan Pusat Riset Primata Oregon, AS melaporkan hasil kloning embrio monyet. Hewan primata yang struktur fisiknya paling mirip manusia. Jurnal sains mengulas, meski kloning monyet ini belum tumbuh besar tetap menunjukkan kendala akan dapat diatasi jika proses serupa dilakukan manusia. Kemudian lahirnya Emma Ott di New Jersey, AS, dari pasangan Maureen Ott setelah dilakukan rekayasa kloning pada sel telur ibu.

Kloning adalah pengembangbiakan makhluk hidup tanpa melalui proses pembuahan (pertemuan sel kelamin betina-ovum dengan sel kelamin jantan-sperma). Hasilnya, keturunan yang sama dengan induknya (duplikasi atau imitasi). Untuk mudahnya adalah seperti proses stek pada tanaman, meski tentu harus melalui proses rekayasa gen yang lebih rumit.

Bioteknologi modern memberikan sumbangan yang sangat besar bagi bidang kedokteran, baik dalam diagnosis penyakit maupun dalam perkembangan produk farmasi. Salah satu manfaat teknologi DNA dan *Human Genome Project* yang jelas adalah

pengidentifikasian gen-gen yang mutasinya bertanggungjawab atas penyakit-penyakit genetik, karena itu penemuan ini seharusnya mengarah ke cara-cara untuk mendiagnosis, merawat, dan mencegah kondisi tersebut.

Yang sama pentingnya adalah manfaat potensial dari teknologi DNA untuk menangani jenis-jenis penyakit lain, dari rematik hingga AIDS. Kerentanan terhadap banyak penyakit "Non Genetik" dipengaruhi oleh gen seseorang. Selanjutnya, penyakit jenis apapun melibatkan perubahan ekspresi gen di dalam sel yang terpengaruh dan sering juga dalam sistem imun pasien. Dengan menggunakan uji susunan mikro DNA atau teknik-teknik lain untuk membandingkan ekspresi gen yang muncul dan hilang dalam penyakit-penyakit tertentu. Gen dan produk gen tersebut merupakan target potensial untuk pencegahan atau terapi. Peranan teknologi DNA pada beberapa bidang ilmu pengetahuan antara lain :

### 1) **Diagnosis Penyakit.**

Babak baru dalam diagnosis penyakit infeksi

**Para ilmuwan kedokteran sekarang dapat mendiagnosis ratusan kelainan genetik manusia dengan menggunakan teknologi DNA. Mereka dapat mengidentifikasi semakin banyak individu yang mempunyai penyakit genetik sebelum munculnya gejala, atau bahkan sebelum lahir.**

telah dibuka oleh teknologi DNA, khususnya dalam pemanfaatan PCR dan *probe* asam nukleat berlabel untuk menelusuri patogen-patogen tertentu. Misalnya, karena urutan DNA HIV diketahui, PCR dapat digunakan untuk memperkuat (mengamplifikasi), dan

kemudian mendeteksi DNA HIV dalam sampel darah atau jaringan. Hal ini sering merupakan cara terbaik untuk mendeteksi suatu infeksi yang tidak tampak.

Para ilmuwan kedokteran sekarang dapat mendiagnosis ratusan kelainan genetik manusia dengan menggunakan teknologi DNA. Mereka dapat mengidentifikasi semakin banyak individu yang mempunyai penyakit genetik sebelum munculnya gejala, atau bahkan sebelum lahir. Ada juga kemungkinan untuk mengidentifikasi *carrier* (pembawa) alel resesif yang secara potensial berbahaya, namun tanpa gejala-gejala. Gen-gen telah diklon untuk banyak penyakit manusia, termasuk hemofilia, fenilketonuria (PKU), fibrosis sistik, dan *distrofi otot Duchene*.

Analisis hibridisasi memungkinkan untuk mendeteksi bentuk alel abnormal dari gen yang ada di dalam sampel DNA. Bahkan dalam kasus gen belum diklon sekalipun, keberadaan alel abnormal dapat didiagnosis dengan akurasi yang masuk akal jika penanda RLFP yang berhubungan dekat telah ditemukan. Alel untuk penyakit Huntington dan sejumlah penyakit genetik lain. Begitu gen dipetakan lebih tepat, gen itu dapat diklon untuk pengkajian dan untuk digunakan sebagai *probe* untuk menemukan DNA yang identik atau mirip seperti yang sekarang dilakukan untuk penyakit Huntington, fibrosis sistik, dan banyak penyakit lainnya.

### 2) Terapi Gen Manusia

Teknik-teknik yang disempurnakan untuk manipulasi gen yang dikombinasikan dengan pemahaman yang mendalam atas fungsi gen dalam tubuh, mungkin suatu ketika membuat para ilmuwan kedokteran dapat memperbaiki kelainan genetik dalam suatu individu. Upaya-upaya pada terapi gen manusia belum menghasilkan manfaat pada pasien yang bisa dibuktikan, bertentangan dengan beberapa pengakuan dalam media populer. Akan tetapi, untuk setiap kelainan genetik yang bisa

ditelusuri hingga ke alel rusak tunggal, seharusnya secara teoritis ada kemungkinan untuk mengganti atau melengkapi alel rusak itu dengan alel yang masih berfungsi normal dengan menggunakan teknik DNA rekombinan. Alel baru dapat diselipkan ke dalam sel somatik dari jaringan yang dipengaruhi kelainan tersebut dalam diri seseorang anak atau orang dewasa, bahkan mungkin juga ke dalam sel germinal atau sel embrionik.

Agar terapi gen sel somatik itu permanen, sel yang menerima alel normal haruslah sel yang memperbanyak diri sepanjang hidup si pasien, sehingga alel cangkakan akan bereplikasi dan terus diekspresikan. Sel sumsum tulang, termasuk "stem cell" yang menghasilkan semua sel darah dan sistem imun, merupakan kandidat utama.

Dari percobaan terapi gen yang sekarang sedang dilakukan pada manusia, terapi yang paling menjanjikan ialah terapi yang melibatkan sel sumsum tulang tetapi tidak harus ditujukan untuk memperbaiki kelainan genetik. Misalnya, sejumlah peneliti sedang berusaha untuk mempertinggi kemampuan sel imun untuk melawan sel kanker; tujuan lain adalah untuk merekayasa sel imun yang resisten terhadap HIV. Sebagian besar percobaan saat ini masih dalam taraf pendahuluan, yang didesain untuk menguji keamanan dan kelayakan prosedur dan bukan berupaya untuk menyembuhkan.

Banyak pertanyaan yang bersifat teknis dihadapi oleh terapi gen. Misalnya, bagaimana mekanisme kontrol genetik yang tepat dapat diterapkan pada gen yang ditransfer sehingga sel tersebut membuat jumlah produk gen yang sesuai pada waktu yang tepat dan pada tempat yang tepat? Bagaimana kita dapat yakin bahwa penyelipan gen terapeutik (untuk terapi) tidak membahayakan fungsi sel yang penting lainnya? Informasi tentang elemen-elemen kontrol DNA yang didapatkan dari pengurutan genom dan

hasil dari kajian ekspresi gen skala besar yang mengajari kita tentang interaksi-interaksi gen mungkin membantu menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut.

Terapi gen memunculkan beberapa pertanyaan etika dan sosial yang sulit. Pertanyaan etika yang paling sulit ialah apakah kita harus mencoba untuk mengolah sel germinal dengan harapan untuk memperbaiki kelainan gen pada generasi mendatang. Seridaknya pada tikus, mentransfer gen asing ke dalam sel germinal (sel telur) sekarang merupakan prosedur rutin dalam percobaan. Misalnya, para ilmuwan telah menciptakan tikus dengan anemia sel sabit (*sickle cell*), hewan yang akan sangat bernilai dalam pengkajian tentang penyakit ini. Para peneliti telah mencangkokkan gen hemoglobin manusia, termasuk dosis ganda alel sel sabit, ke dalam tikus yang gen hemoglobinnya telah dihilangkan. Dengan demikian, meskipun didapatkan banyak tantangan, telah jelas bahwa masalah teknis yang berkaitan dengan rekayasa genetik yang serupa pada manusia akhirnya akan terselesaikan. Kita kemudian akan harus menghadapi pertanyaan apakah bisa disarankan untuk mengubah genom germinal atau embrio manusia pada keadaan apapun.

Sebagian kritikus menyarankan bahwa merusak gen manusia dengan cara apapun, walaupun dalam sel somatik dan untuk merawat individu yang menderita penyakit yang mengancam jiwa adalah salah. Mereka ini berargumentasi bahwa hal itu pasti akan mengarah ke praktek eugenika, upaya yang disengaja untuk mengontrol kandungan genetik populasi manusia. Pengamat lain tidak melihat perbedaan mendasar antara rekayasa genetik sel somatik dan intervensi kedokteran konvensional lainnya untuk menyelamatkan kehidupan. Mereka membandingkan pencangkokkan gen dengan pencangkokkan organ.

### 3) Produk-produk Farmasi

Teknologi DNA telah digunakan untuk menciptakan banyak produk farmasi yang bermanfaat, yang sebagian besar merupakan protein. Dengan mentransfer gen untuk produk protein yang dikehendaki ke dalam bakteri, ragi, dan jenis lainnya yang mudah tumbuh dalam kultur, seseorang dapat memproduksi protein dalam jumlah besar, yang secara alami hanya terdapat dalam jumlah sedikit.

Dengan menggunakan teknologi DNA untuk memasukan promoter yang sangat aktif ke dalam DNA vektor, para ilmuwan menciptakan vektor ekspresi yang membuat sel inang dapat membuat produk dalam jumlah besar dari gen yang diselipkan ke dalam vektor tersebut. Di samping itu, sel inang dapat direkayasa untuk mensekresikan suatu protein begitu protein tersebut dibuat, sehingga menyederhanakan tugas pemurniannya dengan metode biokimia tradisional.

Salah satu aplikasi praktis yang pertama dari penyambungan gen ialah produk hormon mammalia dan protein pengaturan mammalia lain di dalam bakteri. Insulin manusia dan hormon pertumbuhan manusia merupakan contoh-contoh utama. Insulin yang dihasilkan dengan cara ini telah memberi manfaat besar kepada dua juta penderita penyakit diabetes di Amerika Serikat yang tergantung pada pengobatan insulin untuk mengontrol penyakit mereka; sebelumnya mereka harus mengandalkan insulin dari babi dan ternak yang tidak identik dengan insulin manusia. Hormon Pertumbuhan Manusia (*Human Growth Hormone*) merupakan hormon yang diperlukan bagi anak-anak yang terlahir dengan hipopituitarisme, yaitu suatu bentuk kekerdilan yang disebabkan oleh jumlah HGH yang tidak mencukupi, dan mungkin saja terbukti memiliki penggunaan lain, seperti menyembuhkan luka.

Produk farmasi penting lainnya yang dihasilkan dengan rekayasa genetik ialah aktivator plasminogen jaringan (TPA-*Tissue*

**Produk farmasi penting lainnya yang dihasilkan dengan rekayasa genetik ialah aktivator plasminogen jaringan (TPA- *Tissue Plasminogen Activator*). Protein ini membantu melarutkan darah yang membeku dan menurunkan resiko serangan jantung berikutnya jika diberikan sesegera mungkin setelah serangan pertama.**

*Plasminogen Activator*). Protein ini membantu melarutkan darah yang membeku dan menurunkan resiko serangan jantung berikutnya jika diberikan sesegera mungkin setelah serangan pertama. Akan tetapi TPA menggambarkan suatu masalah yang timbul dari produk-produk yang direkayasa genetik: Karena biaya pengembangannya tinggi dan pasarnya yang relatif terbatas, produk ini menjadi mahal.

Perkembangan terakhir dalam produk farmasi melibatkan cara-cara baru untuk melawan penyakit tertentu yang tidak merespons perawatan obat tradisional. Salah satu pendekatannya adalah dengan menggunakan Asam Nukleat Antisens (*Antisense Nucleic Acid*), molekul DNA atau RNA untai tunggal yang telah dikonstruksi secara eksplisit untuk berpasangan-basa dengan molekul-molekul mRNA dan mencegah translasi mRNA tersebut. Pencampuran dengan mRNA krusial yang terlibat di dalam replikasi virus atau transformasi sel menjadi sel kanker dapat mencegah penyebaran penyakit tersebut. Pendekatan lain ialah penggunaan protein yang direkayasa secara genetik yang mencegah atau meniru reseptor permukaan pada membran sel. Salah satu obat eksperimental seperti meniru protein reseptor yang diikat oleh HIV dalam memasuki sel darah putih. HIV sebagai

gantinya mengikat molekul obat tersebut dan gagal memasuki sel darah putih itu.

Untuk penyakit-penyakit virus yang belum mempunyai perawatan dengan obat yang efektif, pencegahan dengan vaksin hampir merupakan satu-satunya cara untuk melawan penyakit tersebut. Vaksin merupakan varian atau derivatif (turunan) patogen tidak berbahaya yang merangsang sistem imun untuk melawan patogen tersebut. Vaksin tradisional untuk penyakit virus terdiri atas dua jenis: partikel virus virulen yang telah dinaktivasi dengan cara-cara kimiawi atau fisis, dan partikel virus aktif dari strain virus yang diperlemah (non patogenik). Dalam kedua kasus ini, partikel virusnya cukup mirip dengan patogen aktif untuk bisa memicu respons imun.

Teknik DNA rekombinan dapat menghasilkan molekul protein spesifik dalam jumlah besar yang secara normal dapat ditemukan pada permukaan suatu patogen. Jika protein tersebut, yang dianggap sebagai subunit, merupakan salah satu protein yang memicu respons imun melawan patogen utuh, maka protein itu dapat digunakan sebagai vaksin. Cara lainnya, metode rekayasa genetik dapat digunakan untuk memodifikasi genom patogen tersebut untuk memperlemahnya. Vaksin yang terdiri atas mikroba yang diperlemah sering lebih efektif daripada vaksin imun yang lebih besar. Patogen yang diperlemah dengan teknik penyambungan-gen dapat lebih aman daripada mutan alami digunakan yang secara tradisional.

#### 4. Forensik menggunakan Teknologi DNA

Pada kriminalitas dengan kekerasan, darah atau jaringan lain dalam jumlah kecil dapat tertinggal di tempat kejadian perkara (TKP) atau pada pakaian atau barang-barang lain milik korban atau penyerangnya. Jika ada perkosaan, air mani dalam jumlah kecil dapat ditemukan pada tubuh korban. Jika jaringan atau air mani cukup tersedia, maka laboratorium forensik dapat menentukan jenis darah atau jenis

jaringan dengan menggunakan antibodi untuk menguji protein permukaan sel yang spesifik. Akan tetapi, pengujian seperti ini membutuhkan jaringan yang agak segar dalam jumlah relatif banyak. Selain itu, karena terdapat banyak orang dalam populasi dengan jenis darah atau jaringan yang sama, pendekatan ini hanya dapat mengarah ke seseorang tersangka; pendekatan ini tidak dapat memberikan bukti kuat tentang pelakunya.

Di lain pihak, pengujian DNA dapat mengidentifikasi pelaku dengan derajat kepastian yang jauh lebih tinggi, karena urutan DNA setiap orang itu unik (kecuali untuk kembar identik). Analisis RFLP dengan Southern blotting merupakan metode ampuh untuk pendeteksian kemiripan dan perbedaan sampel DNA dan hanya membutuhkan darah atau jaringan lain dalam jumlah yang sangat sedikit (kira-kira 1.000 sel). Misalnya, dalam kasus pembunuhan metode ini dapat digunakan untuk membandingkan sampel DNA dari tersangka, korban, dan sedikit darah yang dijumpai di TKP. Probe radioaktif menandai pita elektroforesik yang mengandung penanda RFLP tertentu. Biasanya ilmuwan forensik menguji kira-kira lima penanda; dengan kata lain hanya beberapa bagian DNA yang diuji. Akan tetapi, rangkaian penanda dari suatu individu yang demikian sedikitpun sudah dapat memberikan *Sidikjari DNA*, atau pola pita spesifik yang berguna untuk forensik karena

probabilitas bahwa dua orang (yang bukan kembar identik) akan memiliki rangkaian penanda RFLP yang tepat sama adalah sangat kecil.

**Urutan satelit yang paling bermanfaat untuk keperluan forensik ialah mikrosatelit yang panjangnya kira-kira 10-100 pasangan basa, yang memiliki unit berulang hanya beberapa pasangan basa, dan yang sangat bervariasi dari satu orang ke orang yang lain. Misalnya, satu individu dapat saja memiliki unit ACA yang berulang 65 kali pada satu lokus genom, 118 kali pada lokus kedua, dan seterusnya, sementara individu lain agaknya akan memiliki jumlah pengulangan yang berbeda pada lokus-lokus tersebut.**

Saat ini, sebagai ganti RFLP, variasi dalam panjang DNA satelit semakin banyak digunakan sebagai penanda untuk penyidikan DNA. DNA satelit terdiri atas urutan basa yang berulang secara tandem (berurut) di dalam genomnya. Urutan satelit yang paling bermanfaat untuk keperluan forensik ialah mikrosatelit yang panjangnya kira-kira 10-100 pasangan basa, yang memiliki unit berulang hanya beberapa pasangan

basa, dan yang sangat bervariasi dari satu orang ke orang yang lain. Misalnya, satu individu dapat saja memiliki unit ACA yang berulang 65 kali pada satu lokus genom, 118 kali pada lokus kedua, dan seterusnya, sementara individu lain agaknya akan memiliki jumlah pengulangan yang berbeda pada lokus-lokus tersebut. Lokus genetik polimorfik tersebut biasanya disebut *Pengulangan Tandem Sederhana* (STR-*Simple Tandem Repeat*). Fragmen restriksi yang mengandung STR bervariasi ukurannya di antara individu-individu karena perbedaan dalam panjang STR, bukannya disebabkan oleh perbedaan jumlah tempat restriksi di dalam daerah genom, seperti dalam analisis RFLP. Semakin banyak penanda yang diperiksa dalam suatu sampel DNA maka akan semakin unik sidikjari DNA menggambarkan satu individu.

PCR (*Polymerase Chain Reaction*) sering digunakan untuk secara selektif memperkuat STR tertentu atau penanda lain sebelum elektroforesis. Karena kekuatan selektifnya, PCR sangat bernilai apabila DNA-nya dalam keadaan buruk atau tersedia hanya dalam jumlah yang sangat kecil. Sampel jaringan sekecil 20 sel sudah mencukupi untuk PCR. Hasil amplifikasi PCR dapat dimanfaatkan sebagai data langsung (diagnostik) maupun tidak langsung untuk tahapan selanjutnya seperti sekuensing, kloning, perkembangan biologi, dan rekayasa genetik.

Bagaimanakah kehandalan sidikjari DNA ini? Sidikjari DNA seseorang akan benar-benar unik jika memang layak untuk melakukan analisis fragmen restriksi pada seluruh genom orang tersebut. Pada prakteknya, seperti yang telah dijelaskan, pengujian sidikjari DNA berfokus hanya pada kira-kira lima daerah yang sangat kecil dari suatu genom. Akan tetapi, daerah DNA yang dipilih merupakan daerah yang diketahui sangat bervariasi dari satu orang ke orang lainnya. Pada sebagian kasus forensik, probabilitas dua orang memiliki sidikjari DNA yang sama ialah antara satu dalam 100.000 hingga satu dalam satu miliar. Angka yang tepat tergantung pada jumlah penanda yang dibandingkan dan pada frekuensi penanda ini dalam populasinya. Informasi tentang bagaimana berbagai penanda yang sama berada dalam kelompok etnik yang berbeda adalah merupakan kuncinya karena frekuensi penanda ini dapat sangat berbeda dari frekuensi pada populasi itu secara keseluruhan. Data seperti itu, sekarang telah membuat para ilmuwan forensik dapat membuat perhitungan statistik yang sangat akurat. Dengan demikian, meskipun ada masalah-masalah yang timbul dari data statistik yang tidak mencukupi, kesalahan manusia (*human error*), atau bukti cacat, sidikjari DNA sekarang diterima sebagai bukti penguat oleh pakar hukum dan ilmuawan

sejenis. Banyak argumentasi mengatakan bahwa bukti DNA lebih handal daripada saksi mata dalam menempatkan tersangka pada TKP. Pengadilan pembunuhan O.J. Simpson pada tahun 1995 membuat sidikjari DNA menjadi istilah yang memasyarakat, dan jenis bukti ini akan memiliki dampak forensik yang meningkat.

#### 4) Penggunaan Teknologi DNA di bidang Lingkungan

Rekayasa genetik semakin banyak digunakan untuk pekerjaan yang berkaitan dengan lingkungan. Kemampuan mikroorganisme untuk mentransformasi bahan kimiawi sangat menakjubkan, dan para ilmuwan sekarang sedang merekayasa kemampuan metabolik ini ke dalam organisme yang akan membantu menanggulangi beberapa masalah lingkungan. Misalnya, banyak bakteri dapat mengekstraksi logam berat, seperti tembaga, timbal, dan nikel dari lingkungannya dan memasukkan logam-logam tersebut ke dalam senyawa seperti tembaga sulfat atau timbal sulfat, yang bisa dimanfaatkan. Mikroba yang direkayasa secara genetik mungkin menjadi penting dalam penambangan mineral (khususnya begitu cadangan bijihnya telah habis) dan pembersihan limbah tambang yang sangat toksik.

Keragaman metabolisme mikroba juga digunakan dalam menangani limbah dari sumber-sumber lain. Pabrik pengolahan air kotor mengandalkan kemampuan mikroba untuk mendegradasi berbagai senyawa organik menjadi bentuk nontoksik. Akan tetapi, peningkatan jumlah senyawa yang secara potensial berbahaya yang dilepas ke lingkungan tidak lagi bisa didegradasi oleh mikroba yang tersedia secara alamiah; hidrokarbon klorinasi merupakan contoh utamanya. Para ahli bioteknologi sedang mencoba merekayasa mikroba untuk mendegradasi senyawa-senyawa ini. Mikroba ini dapat digunakan dalam pabrik pengolahan air limbah atau digunakan oleh para manufaktur sebelum senyawa-senyawa itu dilepas ke lingkungannya.



Bidang penelitian yang terkait adalah pengidentifikasian dan perekayasa mikroba yang mempunyai kemampuan sebagai penawar limbah toksik tertentu. Misalnya, strain-strain bakteri telah dikembangkan, yang dapat mendegradasi sejumlah senyawa yang dilepas selama kebocoran minyak. Kemampuan untuk memindahkan gen-gen yang bertanggungjawab atas transformasi tersebut ke dalam organisme yang berbeda telah memberi kesempatan bagi pengembangan strain yang dapat bertahan-hidup pada kondisi yang keras yang muncul dari bencana lingkungan ini dan bahkan masih membantu menjadi penawar toksik limbahnya.

#### 5) Penggunaan Teknologi DNA di Bidang Pertanian

Para ilmuwan sedang bekerja untuk mempelajari lebih banyak tentang genom tumbuhan dan hewan yang penting bagi bidang pertanian, dan sedang menggunakan rekayasa genetik untuk meningkatkan produktivitas pertanian.

##### a) Peternakan

Selama lebih dari satu dasawarsa, hewan ternak telah diberi perlakuan dengan produk-produk yang dihasilkan dari metode DNA rekombinan. Produk-produk ini

mencakup vaksin-vaksin baru atau yang didesain-ulang, antibodi, dan hormon pertumbuhan. Misalnya, beberapa sapi perah disuntik dengan hormon pertumbuhan sapi (*BGH-Bovine Growth Hormone*) yang dibuat oleh *E. coli* untuk menaikkan produksi susu (vaksin ini biasanya meningkatkan sebanyak 10%). BGH juga meningkatkan perolehan bobot dalam daging

ternak. Sejauh ini BGH telah lulus dari semua uji keamanan dan BGH sekarang digunakan secara meluas dalam kelompok pabrik susu. Protein lain yang dibuat *E. coli* yang direkayasa dan bermanfaat untuk pertanian ialah enzim selulase yang berguna untuk menghidrolisis selulosa dan memungkinkan hampir semua bagian tumbuhan untuk digunakan sebagai pakan hewan.

Sejumlah organisme transgenik, organisme yang mengandung gen dari spesies lain, telah dikembangkan untuk potensi penggunaan di bidang pertanian. Hewan transgenik, termasuk ternak penghasil daging dan susu, babi, domba, dan beberapa spesies ikan yang dipelihara secara komersial, dihasilkan dengan menyuntikkan

DNA asing ke dalam nukleus sel telur atau embrio muda.

Misalnya rainbow trout dan salmon yang diberi gen hormon pertumbuhan asing hanya setahun telah mencapai suatu ukuran yang biasanya membutuhkan waktu pertumbuhan dua atau tiga tahun.

##### b) Rekayasa Genetik pada Tumbuhan

Dengan cara yang mencengangkan, tumbuhan sejauh ini

telah terbukti lebih mudah direkayasa daripada sebagean besar hewan. Untuk banyak spesies tumbuhan, tumbuhan dewasa dapat diregenerasi dari sel tunggal yang ditumbuhkan dalam kultur. Dengan demikian, manipulasi genetik dapat dilakukan pada sel tunggal yang kemudian dapat digunakan untuk meregenerasi organisme baru dengan sifat baru. Tumbuhan yang penting

**BGH juga meningkatkan perolehan bobot dalam daging ternak. Sejauh ini BGH telah lulus dari semua uji keamanan dan BGH sekarang digunakan secara meluas dalam kelompok pabrik susu. Protein lain yang dibuat *E. coli* yang direkayasa dan bermanfaat untuk pertanian ialah enzim selulase yang berguna untuk menghidrolisis selulosa dan memungkinkan hampir semua bagian tumbuhan untuk digunakan sebagai pakan hewan.**

secara komersial yang bisa tumbuh dari sel somatik tunggal meliputi kol, jeruk, wortel, alfafa, tomat, kentang, dan tembakau.

Vektor DNA biasa yang digunakan untuk memindahkan gen ke dalam tumbuhan adalah plasmid dari bakteri *Agrobacterium tumefaciens*. Di alam, *A. tumefaciens* menginfeksi tumbuhan dan menyebabkan tumor yang disebut Empedu Mahkota. Tumor ini dimasukkan oleh plasmid, yang disebut *Plasmid Ti* (Ti-singkatan *Tumor Inducing*). Plasmid Ti ini mengintegrasikan segmen DNA-nya, yang dikenal sebagai DNA T, ke dalam DNA kromosom sel tumbuhan inangnya. Untuk mendapatkan vektor, para peneliti bekerja dengan versi plasmid yang tidak menyebabkan penyakit.

Gen asing dapat diselipkan ke dalam plasmid Ti dengan menggunakan teknik DNA rekombinannya dikembalikan ke *Agrobacterium* yang kemudian dapat digunakan untuk menginfeksi sel tumbuhan yang ditumbuhkan di dalam kultur atau dimasukkan langsung ke dalam sel tumbuhan, dimana plasmid tersebut akan menyelipkan dirinya sendiri ke dalam kromosom tumbuhan tersebut. Kemudian, dengan memanfaatkan kemampuan sel-sel tersebut untuk meregenerasi keseluruhan tanaman, hal ini memungkinkan untuk menghasilkan tumbuhan yang mengandung dan mengekspresikan gen asing dan yang mewariskannya pada keturunannya.

Kelemahan utama penggunaan plasmid Ti sebagai vektor ialah bahwa hanya tanaman dikotil (tumbuhan berkeping dua) saja yang rentan terhadap infeksi *Agrobacterium*. Monokotil, termasuk rumput-rumputan yang penting bagi bidang pertanian seperti jagung dan gandum, tidak dapat diinfeksi oleh *Agrobacterium*. Untungnya, para ilmuwan dapat menggunakan teknik-teknik baru seperti elektroporasi dan tembakan DNA untuk memasukkan DNA ke dalam sel tumbuhan ini.

Rekayasa genetik secara cepat menggantikan program pembenihan tumbuhan tradisional, khususnya dalam kasus-kasus dimana sifat-sifat yang bermanfaat ditentukan oleh satu atau hanya beberapa gen. Diantara varietas tumbuhan yang direkayasa genetik saat ini dalam percobaan lapangan, lebih dari 40 % telah menerima gen untuk resistensi herbisida. Misalnya beberapa perusahaan telah mengembangkan strain kapas yang membawa gen bakteri yang akan membuat tanaman tersebut resisten terhadap herbisida yang digunakan banyak petani untuk mengontrol gulma. Gen ini seharusnya mempermudah untuk menumbuhkan tanaman budidaya, di lain pihak memastikan bahwa gulmanya telah dihancurkan. Di samping itu, sejumlah tanaman budidaya sedang direkayasa agar resisten terhadap patogen penginfeksi dan serangga hama. Menumbuhkan tanaman kebal serangga akan menurunkan perlunya memberikan insektisida kimiawi pada tanaman budidaya.

Buah yang pertama kali direkayasa genetik yang diterima FDA (*Food and Drug Administration*-sejenis POM di Amerika Serikat) untuk dikonsumsi manusia adalah tomat yang direkayasa dengan gen antisens yang memperlambat pematangan. Setelah mengklon gen tomat yang mengkode enzim yang bertanggungjawab atas pematangan, para peneliti mempersiapkan suatu gen yang untai cetaknya memiliki urutan basa yang komplementer dengan gen normal. Dengan kata lain, versi antisens gen tersebut. Ketika disambung ke dalam DNA tumbuhan tomat, gen antisens ditranskripsikan menjadi RNA yang komplementer dengan gen pematangan mRNA. RNA antisens terikat dengan mRNA normal yang menghalangi sintesis enzim tersebut. Tomat hasil rekayasa ini menghasilkan hanya sekitar 1 % dari jumlah normal enzim

dan jarang sekali matang sebelum sampai di pasar. Banyak tanaman budidaya akan segera dibuat lebih produktif oleh rekayasa genetik dengan cara membesarkan bagian-bagiannya yang bernilai dari segi pertanian, yaitu akar, bunga, daun, atau batang. Para peneliti juga sedang melangkah cepat ke arah peningkatan nilai pangan dari tumbuhan, seperti merekayasa biji-bijian untuk memproduksi protein penyimpanan yang mengandung campuran asam amino yang lebih sesuai dengan menu makanan manusia.

**c) Tantangan Fiksasi Nitrogen**

Mungkin potensi penggunaan yang paling memikat dari teknologi DNA di bidang pertanian adalah melibatkan fiksasi nitrogen, yaitu suatu proses melibatkan bakteri yang menguntungkan tumbuhan dan konsumennya. Fiksasi nitrogen adalah perubahan gas nitrogen atmosferik ( $N_2$ ) yang tidak dapat digunakan oleh tumbuhan, menjadi senyawa mengandung nitrogen yang dapat diserap oleh tumbuhan dari tanah dan digunakan untuk membuat molekul organik esensial, seperti asam amino dan nukleotida. Bakteri yang memfiksasi nitrogen ini hidup di tanah atau di dalam akar tumbuhan tertentu, seperti kacang dan alfalfa. Karena ketersediaan senyawa nitrogen yang sesuai serimh merupakan faktor pembatas pada pertumbuhan tanaman dan hasil panen, pertanian modern memanfaatkan secara ekstensif pupuk nitrogen hasil sintesis kimiawi untuk menambahkan fiksasi nitrogen oleh bakteri. Teknologi DNA menawarkan berbagai cara untuk menurunkan penggunaan pupuk yang mahal dan mencemari ini dengan meningkatkan kemampuan bakteri untuk melakukan fiksasi nitrogen. Pada masa mendatang memungkinkan juga untuk mendisain bakteri pemfiksasi nitrogen yang dapat hidup dalam jaringan tumbuhan yang membutuhkan nitrogen seperti pada jagung dan gandum. Tantangan terakhir ialah merekayasa

tanaman budidaya yang dapat memfiksasi nitrogen sendiri.

**6) Teknologi DNA memunculkan pertanyaan yang penting tentang keselamatan dan etika**

Segera setelah kekuatan potensialnya terlihat, teknologi DNA memunculkan pertanyaan-pertanyaan tentang kemungkinan timbulnya konsekuensi yang berbahaya. Kekhawatiran yang paling awal ialah bahwa manipulasi genetik dari mikroorganisme-mikroorganisme dapat menciptakan patogen baru yang berbahaya, yang mungkin saja keluar dari laboratorium. Dalam merespons kekhawatiran ini, para ilmuwan mengembangkan pendekatan pemantauan sendiri (*Self monitoring*), sautu sistem kehormatan dimana para peneliti akan menaati serangkaian petunjuk :sukarela dan pemaksaan diri” untuk memastikan keamanan. Pendekatan awal ini segera mengarah ke program pengaturan resmi yang ditangani oleh badan-badan federal. Saat ini, badan-badan pemerintah dan pengaturan di seluruh dunia sedang memikirkan bagaimana cara untuk meningkatkan revolusi industri, kedokteran, dan pertanian yang potensial yang ditimbulkan oleh bioteknologi, sementara di lain pihak memastikan bahwa baru itu aman. Di Amerika Serikat, FDA, the national Institute of Health Recombinant DNA advisory Comitee, the Departement of Agriculture (USDA), dan The Enviromental Protection Agency (EPA) bersama-sama bertanggungjawab atas penetapan kebijakan dan pengaturan perkembangan baru dalam rekayasa genetik.

Pada dasa warsa yang lalu, ratusan produk yang direkayasa genetik dan strain baru organisme telah dikembangkan. Banyak yang telah diuji secara ketat, dan ini, setidaknya memperlihatkan bahwa hanya sedikit atau tidak ada ancaman bagi manusia dan lingkungan. Pengujian-pengujian itu juga menguatkan

bahwa rekayasa genetik memiliki potensi yang sangat besar untuk meningkatkan kesehatan manusia dan meningkatkan produktivitas pertanian. Meskipun demikian, masalah keamanan masih merupakan pertanyaan penting. Manfaat terapi gen misalnya, harus diseimbangkan dengan perlunya memastikan bahwa vektor gen tersebut aman. Dalam kasus masalah lingkungan, kebocoran minyak misalnya, dan limbah kimiawi yang mengancam tanah, air, dan udara kita. Organisme yang direkayasa genetik dapat menjadi bagian dari cara penyelesaian, tetapi dampaknya sendiri pada lingkungan harus dipertimbangkan sebelum organisme itu digunakan secara luas.

Dengan produk-produk kedokteran baru, penyebab utama kekhawatiran ialah efek samping yang berbahaya baik jangka pendek maupun jangka panjang. Ratusan produk diagnostik, vaksin, dan obat hasil rekayasa genetik yang baru, termasuk beberapa yang didesain untuk merawat AIDS dan bentuk-bentuk kanker tertentu, sekarang ini sedang menunggu persetujuan pemerintah federal di Amerika Serikat. Sebelum FDA menyetujui produk baru untuk dipasarkan secara umum, bahan tersebut harus lulus uji ketat di dalam laboratorium hewan dan manusia.

Ada perdebatan sengit tentang produk pertanian yang direkayasa genetik, yang disebabkan oleh bahaya potensial dari mendatangkan organisme baru ke dalam lingkungan. Beberapa ilmuwan berargumentasi bahwa memproduksi organisme transgenik dengan penyambungan gen hanya merupakan perluasan dari perkawinan silang tradisional atau hibridisasi. Prosedur yang telah menghasilkan Tangelo (hibrid jeruk mandarin dan jeruk besar) dan Beefalo (hibrid lembu-kerbau). Karena tidak pernah ada tanaman panen atau hewan hibrida yang pernah diuji keamanannya sebelum dipasarkan, hal ini dijadikan argumen bahwa organisme yang

direkayasa genetik tidak perlu diperlakukan secara berbeda. Umumnya FDA telah berpendapat bahwa jika hasil rekayasa genetik tidak berbeda secara nyata dengan produk yang telah ada di pasar, tidak perlu diadakan pengujian.

Di pihak lain dari argumen tersebut terdapat terdapat para ilmuwan yang percaya bahwa menciptakan organisme transgenik dengan penyambungan gen dari bakteri atau hewan ke dalam tumbuhan, dan sebaliknya, secara radikal berbeda dari hibridisasi spesies tumbuhan atau hewan yang berkerabat dekat. Mereka takut bahwa makanan yang dihasilkan oleh penyambungan gen akan mengandung protein baru yang toksik atau menyebabkan alergi pada sebagian orang.

Pertimbangan lain ialah bahwa tanaman budidaya yang direkayasa genetik dapat memindahkan gen barunya ke kerabat dekatnya pada daerah liar di dekatnya. Rumput dan rumput-rumputan budidaya misalnya, biasa bertukar gen dengan kerabat liarnya melalui transfer serbuk sari; dan ada sedikit keraguan bahwa jika beberapa spesies menerima gen baru, spesies itu akan memindahkannya ke tumbuhan liar. Jika tanaman budidaya yang membawa gen untuk resistensi terhadap herbisida, penyakit alamiah, dan/atau hama serangga melakukan penyerbukan dengan tumbuhan liar, turunannya dapat menjadi "super gulma" yang sangat sulit untuk dikendalikan. Para peneliti sedang mencari cara untuk mencegah lepasnya gen tanaman hasil rekayasa ini. Di antara kemungkinannya ialah dengan cara mengisolasi tanaman budidaya dan merekayasa tanaman-tanaman sehingga tanaman itu tidak dapat melakukan hibridisasi.

Sebagaimana dengan teknologi baru, perkembangan dalam teknologi DNA memiliki konotasi tersirat yang bersifat etis. Memperoleh peta komplet dari genom manusia misalnya, akan membuka pintu untuk kemajuan nyata dalam terapi gen. Namun hal ini juga akan

Sebagaimana dengan teknologi baru, perkembangan dalam teknologi DNA memiliki konotasi tersirat yang bersifat etis. Memperoleh peta komplet dari genom manusia misalnya, akan membuka pintu untuk kemajuan nyata dalam terapi gen. Namun hal ini juga akan memunculkan pertanyaan etika yang penting. Siapa yang seharusnya berhak untuk mempelajari gen orang lain ?

memunculkan pertanyaan etika yang penting. Siapa yang seharusnya berhak untuk mempelajari gen orang lain ? Bagaimanakah informasi seperti ini seharusnya digunakan ? Apakah seharusnya genom seseorang dijadikan sebagai suatu faktor dalam menilai kesesuaian pekerjaan atau kelayakannya menjadi polis asuransi ? Pertimbangan etika, seperti juga kekhawatiran tentang potensi bahaya bagi lingkungan dan kesehatan, seperti akan memperlambat penggunaan produk bioteknologi baru. Selalu ada ancaman bahwa terlalu banyak aturan akan memadamkan penelitian dasar dan manfaat potensialnya. Akan tetapi, kemampuan rekayasa genetik, kemampuan kita untuk secara nyata dan cepat mengubah spesies yang telah berevolusi selama berabad-abad. Membutuhkan kerendahan hati dan kehati-hatian kita dalam membuat kemajuan.

#### Daftar Pustaka

Al-Qardhawy, Yusuf. 1998. *As-Sunnah sebagai sumber IPTEK dan Peradaban. Diskursus kontekstualisasi dan aktualisasi sunnah Nabi*

*SAW dalam IPTEKS dan peradaban.* Pustaka Al-Kautsar. Jakarta.

Beardsley, R. "Genes in the Not So Public Domain" *Scientific American*, April 1995.

Baiquni, A. 1992. *Sains dan teknologi dalam Islam.* Makalah seminar. Jakarta.

Campbell, Neil A, Reece, Jane B, dan Mitchell Lawrence G. 2002. *Biologi. Edisi kelima jilid I.* Penerbit Erlangga. Jakarta.

Darwis, A. 1998. *Pemanfaatan Bioteknologi maju untuk memacu perkembangan Agroindustrial di Indonesia.* Makalah seminar kongres Bioteknologi II. Pusat Bioteknologi Pertanian UMM. Malang.

Poste, G. 2000. What is Biotechnology: <http://www.Dback/proceeding/02/indeks.html>.

Rangel, Rafael and Aldao. 2000. *Biotechnology : The Science and The Impact.* *Electronic Journal of Biotechnology.* <http://www.dback/proceeding/02/indeks.html>.

Rasad, Asri. 1992. *Perkembangan IPTEKS di Dunia, khususnya di bidang Bioteknologi.* Makalah seminar, Jakarta.

Reivth, W.T. (ed). 1995. *Encyclopedia of Bioethics Revised Edition. Vol. I.* Simon and Schuster. Prentice Hall International. New York.

Ruskanda, Farid. 1992. *Pengembangan, pemanfaatan dan penyebaran IPTEKS dalam Sudut Pandang Syariat Islam,* Makalah Seminar. Jakarta.

*Penulis, adalah Staf pengajar Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Malang. Kini menjabat sebagai Sekretaris Pusat Pengembangan Bioteknologi di UMM, dan sekaligus sebagai Redaksi Pelaksana Jurnal Bestari.*