



Pergeseran kebijakan ketahanan pangan global: Dari revolusi hijau menuju revolusi genomik

Transforming Global Food Security Policy: From the Green Revolution to the Genomic Era

Imam Mujahidin Fahmid*, Mirah Midadan Fahmid, Adib Gemilang Badrani

Dosen Departemen Sosial Ekonomi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

<https://orcid.org/0000-0003-0423-8588>

Institute for Development of Economics and Finance (INDEF), Jakarta, Indonesia

<https://orcid.org/0009-0009-1820-5366>

Mahasiswa Magister, Departemen Ilmu Hukum, Fakultas Hukum Universitas Airlangga, Surabaya
Indonesia

Kontak Penulis: imam.m.fahmid@gmail.com

Abstract

This study aims to: (1) analyze the epistemological shift from the Green Revolution to the Genomic Revolution in the global food system; (2) examine the opportunities and threats posed by genomic technologies to food security, particularly in the context of ecological and social justice; (3) explore the responses and strategies of countries such as Brazil, India, Rwanda, and Indonesia in dealing with genomic transformation; and (4) propose a conceptual and ethical framework for positioning genomics as a tool for community empowerment rather than merely a corporate technology. Employing a political ecology approach, literature review, and comparative case analysis, the study finds that the Genomic Revolution signifies a transition from the statistical-population paradigm of the Green Revolution to a more precise, adaptive paradigm of systemic biology. While genomics offers opportunities for increasing productivity, climate resilience, and nutritional quality, it also raises serious concerns over biogenetic data privatization, the marginalization of smallholder farmers, and corporate control over genetic resources. The case studies reveal that Brazil successfully integrates genomics and agroecology within a communitarian legal framework; India asserts resistance to transgenic seeds through participatory breeding; Rwanda incorporates genomics into nutrition interventions using open data; whereas Indonesia still faces institutional fragmentation and weak protection of local knowledge. These findings suggest that the success of the Genomic Revolution in promoting just and sustainable food security depends heavily on ethical governance and policy frameworks that ensure community rights to data, seeds, and scientific decision-making.

Keywords: Genomic Revolution; Food Security; Epistemology; Ecological Justice; Political Ecology.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pergeseran epistemologis dari Revolusi Hijau menuju Revolusi Genomik dalam sistem pangan global; (2) mengkaji peluang dan ancaman dari penerapan teknologi genomik terhadap ketahanan pangan, khususnya dalam konteks keadilan ekologis dan sosial; (3) menelaah respons dan strategi negara-negara seperti Brasil, India, Rwanda, dan Indonesia dalam menghadapi transformasi genomik; serta (4) menawarkan kerangka konseptual dan etis untuk menjadikan genomik sebagai alat pemberdayaan komunitas, bukan sekadar teknologi korporatis. Dengan menggunakan pendekatan ekologi politik, studi pustaka, dan analisis kasus komparatif, penelitian ini menemukan bahwa Revolusi Genomik menandai pergeseran dari pendekatan statistik-populasi ala Revolusi Hijau menuju pendekatan biologi sistemik yang

presisi dan adaptif. Meski membuka peluang untuk meningkatkan produktivitas, ketahanan iklim, dan kualitas gizi, genomik juga membawa ancaman serius berupa privatisasi data hayati, eksklusivitas petani kecil, dan konsentrasi kekuasaan korporasi atas sumber daya genetik. Temuan studi kasus menunjukkan bahwa Brasil berhasil memadukan genomik dan agroekologi dalam kerangka hukum komunitarian; India meneguhkan resistensi terhadap benih transgenik melalui pemuliaan partisipatif; Rwanda mengintegrasikan genomik untuk intervensi gizi dengan data terbuka; sedangkan Indonesia masih menghadapi fragmentasi kelembagaan dan lemahnya perlindungan pengetahuan lokal. Berdasarkan temuan ini, penelitian menyimpulkan bahwa keberhasilan Revolusi Genomik dalam membangun ketahanan pangan yang adil dan berkelanjutan sangat bergantung pada adanya sistem etika dan kebijakan yang menjamin hak komunitas atas data, benih, dan pengambilan keputusan ilmiah.

Kata kunci: Revolusi Genomik; Ketahanan Pangan; Epistemologi; Keadilan Ekologis; Ekologi Politik.

1. Pendahuluan

Selama beberapa dekade terakhir, ketahanan pangan global telah menjadi isu utama dalam agenda pembangunan berkelanjutan. Ledakan populasi, krisis iklim, hingga konflik geopolitik memicu tantangan besar dalam menjamin akses, ketersediaan, dan keberlanjutan pangan (FAO, 2023; UNDP, 2021). Dalam konteks ini, Revolusi Hijau yang dimulai pada 1940-an dan memuncak pada 1960–1980-an menjadi tonggak penting dalam peningkatan produksi pangan melalui penggunaan varietas unggul, pupuk kimia, pestisida, dan irigasi massal (Pingali, 2012). Namun, pendekatan tersebut tidak lepas dari kritik: homogenisasi genetika tanaman, degradasi tanah, ketergantungan terhadap input eksternal, dan marginalisasi pengetahuan lokal (Shiva, 2001; IPES-Food, 2016).

Karena krisis iklim, konflik bersenjata, dan tekanan populasi, dalam dua dekade ini masalah ketahanan pangan semakin kompleks dan tidak lagi dapat diselesaikan hanya melalui pendekatan teknis semata. Gangguan rantai pasok global, penurunan kualitas lahan, dan meningkatnya volatilitas iklim turut memperparah ketimpangan akses terhadap pangan, terutama di negara-negara Global South (FAO, 2023; UNDP, 2021). Dalam konteks historis, Revolusi Hijau yang digagas sejak 1940-an dan meluas hingga 1980-an, sempat dipandang sebagai solusi utama untuk meningkatkan produksi pangan secara masif, melalui pemanfaatan varietas unggul, input kimiawi, dan sistem irigasi intensif (Pingali, 2012). Namun pendekatan ini memiliki sisi gelap: homogenisasi tanaman, ketergantungan terhadap perusahaan penyedia benih dan pupuk, serta pengabaian terhadap keragaman lokal dan nilai ekologis. Di Indonesia, pengalaman Orde Baru menunjukkan bagaimana pendekatan sentralistik dan teknokratis terhadap pangan justru menciptakan ketimpangan struktural yang melemahkan daya lenting petani kecil terhadap krisis (Fahmid, 2004; Shiva, 2001). Hal ini menegaskan bahwa tantangan ketahanan pangan tidak hanya menyangkut soal produksi, tetapi juga hak atas pengetahuan, keadilan distribusi, dan kedaulatan atas sumber daya genetik.

Pada awal abad ke-21, muncul pendekatan baru yang dianggap sebagai kelanjutan sekaligus koreksi atas Revolusi Hijau: Revolusi Genomik. Berlandaskan pada kemajuan bioteknologi, bioinformatika, dan pemetaan genetik, pendekatan

ini memungkinkan pemahaman kompleks terhadap interaksi genetik tanaman, lingkungan, dan manajemen pertanian (Collins et al., 2003; Pells, 2019). Transformasi epistemologis dari statistik-populasi menuju biologi sistemik ini menandai era baru dalam produksi pangan presisi (Landecker, 2011; Smith, 2020).

Proyek Human Genome (1990–2003) menjadi pemicu ledakan data biologis, menciptakan fondasi bagi rekayasa genetik, pemuliaan tanaman berbasis marker (marker-assisted breeding), dan pengembangan varietas adaptif terhadap iklim ekstrem (Mardis, 2008; Shinozaki et al., 2020). Dalam dunia pertanian, pendekatan ini menggeser paradigma produksi dari rata-rata populasi menuju respon spesifik per tanaman dan per agroekosistem.

Namun, revolusi ini juga menimbulkan pertanyaan penting: Siapa yang mengontrol informasi genetik? Apakah data genomik digunakan untuk kepentingan komunitas atau dikomodifikasi untuk keuntungan korporasi? Apakah genomik memperkuat kedaulatan pangan atau justru menciptakan kolonialisme baru atas sumber daya hayati dan pengetahuan lokal? (Howard, 2009; Kloppenburg, 2004; Marden, 2003).

Studi oleh Mooney (2010) dan ETC Group (2021) menunjukkan bahwa hanya segelintir perusahaan global seperti Bayer-Monsanto, Syngenta, dan Corteva yang menguasai lebih dari 60% pasar benih dan agrokimia dunia. Hal ini menciptakan ketimpangan struktural dalam kontrol terhadap benih dan pengetahuan.

Dengan latar belakang tersebut, artikel ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis pergeseran epistemologis dari Revolusi Hijau ke Revolusi Genomik dalam sistem pangan global; (2) Mengkaji peluang dan ancaman dari penerapan teknologi genomik terhadap ketahanan pangan, khususnya dalam konteks keadilan ekologis dan sosial; (3) Menelaah respons dan strategi negara-negara seperti Brasil, India, Rwanda, dan Indonesia dalam menghadapi transformasi genomik; (4) Menawarkan kerangka konseptual dan etis untuk menjadikan genomik sebagai alat pemberdayaan komunitas, bukan sekadar teknologi korporatis.

Dengan pendekatan transdisipliner yang menggabungkan ilmu hayati, ekologi politik, dan kajian pembangunan, artikel ini berkontribusi pada wacana global mengenai arah teknologi dan keadilan dalam ketahanan pangan masa depan (Escobar, 1999; Anderson & Adams, 2008; Jasanoff, 2011).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **kualitatif kritis** berbasis kajian pustaka (*library research*) dan studi kasus komparatif. Pendekatan ini memungkinkan eksplorasi mendalam terhadap dinamika epistemologis, politik, dan sosial dalam transisi dari Revolusi Hijau menuju Revolusi Genomik, serta membuka ruang analisis terhadap relasi kuasa dan struktur sosial yang membentuk ketahanan pangan global.

Pergeseran dari Revolusi Hijau ke Revolusi Genomik mengandung substansi epistemologis karena mencerminkan perubahan fundamental dalam cara pengetahuan tentang pangan dan pertanian diproduksi dan dipraktikkan. Jika Revolusi Hijau berakar pada teknologi intensifikasi pertanian seperti pupuk kimia, irigasi masif, dan varietas unggul, Revolusi Genomik berpijak pada rekayasa

genetik, bioteknologi, dan informasi molekuler sebagai basis utama inovasi. Perubahan ini tidak hanya menyangkut teknologi, tetapi juga cara berpikir ilmiah tentang kehidupan, kontrol hayati, dan produktivitas. Epistemologi modern yang dahulu bersifat eksternalistik dan *input-driven* kini bergeser menjadi internalistik dan *code-driven*, menempatkan DNA sebagai medan utama intervensi. Konsekuensinya, otoritas ilmiah dan ekonomi bergeser dari negara dan petani ke perusahaan bioteknologi dan laboratorium genetika, memperluas dimensi politik dari produksi pangan global.

Metode pengumpulan data mencakup: Penelusuran sistematis terhadap literatur ilmiah yang relevan, seperti jurnal-jurnal peer-reviewed (misalnya *Journal of Peasant Studies*, *BioSocieties*, *Agriculture and Human Values*); Laporan lembaga internasional seperti FAO (2023), WHO (2022), World Bank (2022), dan UNDP (2021); Dokumen kebijakan nasional dari negara-negara studi kasus (Brasil, India, Rwanda, dan Indonesia); Buku-buku akademik dan teks penting seperti Shiva (2012), Kloppenburg (2004), dan Winarto et al. (2018).

Analisis dilakukan dalam tiga tahap: pertama, **Kajian Epistemologis dan Historis**: Menganalisis pergeseran epistemologi dari pendekatan statistik dan teknokratis Revolusi Hijau ke pendekatan biologi sistemik dan genomik. Literatur seperti Landecker (2011), Pells (2019), dan Scott (1998) menjadi rujukan penting dalam tahap ini; kedua, **Studi Kasus Komparatif**: Mengkaji strategi kebijakan dan praktik negara Brasil, India, Rwanda, dan Indonesia dalam mengadopsi atau menolak teknologi genomik dalam sistem pertanian dan pangan; ketiga, **Analisis Ekologi Politik dan Etika Genetik**: Menggunakan kerangka ekologi politik (Escobar, 1999; Foucault, 1976) untuk menelusuri distribusi kekuasaan dalam teknologi pangan, serta pendekatan bioetika genomik dalam konteks masyarakat adat dan komunitas lokal.

Teknik analisis data bersifat interpretatif dan transdisipliner, dengan triangulasi antara: teori kritis, etnografi agraria, serta sintesis historis-politik, untuk menjamin validitas dan kedalaman narasi.

Operasionalisasi dari Teori Kritis digunakan untuk menganalisis relasi kuasa dan ideologi yang tersembunyi di balik narasi dominan tentang ketahanan pangan, teknologi pertanian, dan pembangunan. Dalam konteks transisi dari Revolusi Hijau ke Revolusi Genomik, teori ini membantu mengungkap bagaimana wacana ilmiah dan teknokratis seringkali dikendalikan oleh kepentingan korporasi, negara, atau lembaga internasional yang berperan dalam menentukan arah kebijakan pangan. Teori kritis memberi kerangka untuk mendekonstruksi bagaimana pengetahuan ilmiah menjadi alat hegemoni dalam struktur global.

Etnografi Agraria digunakan untuk memahami pengalaman, persepsi, dan praktik keseharian petani serta komunitas lokal dalam menghadapi perubahan sistem pangan dan teknologi. Dengan pendekatan etnografis, penelitian ini menggali narasi dari bawah (*bottom-up*) melalui dokumentasi pengalaman komunitas agraris yang terdampak oleh kebijakan Revolusi Hijau dan kini menghadapi penetrasi teknologi Genomik. Data bersumber dari studi kasus lapangan yang terdokumentasi dalam literatur, observasi kualitatif, serta catatan etnografi dari berbagai wilayah di Global South.

Sintesis Historis-Politik, memungkinkan penelusuran perkembangan historis kebijakan pertanian dari masa kolonial, pascakolonial, hingga kontemporer. Pendekatan ini dilakukan untuk memetakan kontinuitas dan disrupsi dalam relasi antara negara, ilmu pengetahuan, dan masyarakat petani. Dengan menelusuri transformasi kebijakan agraria, dinamika regulasi benih, serta peran lembaga internasional (seperti CGIAR dan WTO), analisis ini menyatukan fakta sejarah dengan struktur politik yang membentuk arah revolusi teknologi pertanian.

Ketiga pendekatan tersebut digunakan secara *triangulatif dan transdisipliner*: teori kritis sebagai alat analisis ideologis-struktural; etnografi agraria sebagai dasar narasi empirik-komunitarian; dan sintesis historis-politik sebagai jembatan untuk memahami kontinuitas dan perubahan dalam kerangka waktu yang lebih luas. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjelaskan fenomena transisi teknologi secara teknis, tetapi juga memeriksa makna sosial, konflik kepentingan, dan dampak politiknya secara mendalam dan berlapis.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pergeseran Epistemologis: Dari Revolusi Hijau ke Revolusi Genomik

Pergeseran dari Revolusi Hijau menuju Revolusi Genomik merefleksikan transisi dalam cara dunia memaknai ketahanan pangan dan kedaulatan pangan. Jika pada era Revolusi Hijau ketahanan pangan didefinisikan secara sempit sebagai cukupnya pasokan kalori dan peningkatan hasil panen dengan input tinggi (high external input agriculture), maka Revolusi Genomik membawa perluasan konseptual: ketahanan pangan harus mencakup dimensi kualitas gizi, keberlanjutan ekologi, hak atas informasi genetik, dan kendali komunitas atas sumber daya hayati. Dalam konteks ini, pendekatan genomik menawarkan peluang untuk menciptakan varietas tanaman yang tidak hanya berproduktivitas tinggi, tetapi juga tahan terhadap cekaman abiotik (seperti kekeringan, salinitas, dan suhu ekstrem), serta memiliki kandungan nutrisi yang lebih baik (biofortifikasi).

Namun, peluang tersebut hanya dapat direalisasikan jika epistemologi yang mendasari Revolusi Genomik tidak sekadar bersifat teknokratik dan reduksionis. Sebaliknya, ia harus mengadopsi pendekatan transdisipliner dan partisipatif yang memosisikan komunitas lokal bukan hanya sebagai objek kebijakan, tetapi sebagai subjek penghasil dan pengguna pengetahuan. Hal ini selaras dengan kerangka *civic epistemology* sebagaimana diajukan oleh Sheila Jasanoff (2011), yang menekankan pentingnya interaksi antara sains, masyarakat, dan kebijakan publik dalam membentuk legitimasi pengetahuan.

Dalam praktiknya, negara-negara di belahan Selatan seperti Brasil dan India telah menunjukkan kemungkinan integrasi antara genomik dan sistem pengetahuan lokal. Di Brasil, penggunaan data genetik dalam pemuliaan tanaman dilakukan melalui *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)*, dengan melibatkan komunitas adat dan lokal secara aktif dalam sistem biobank komunitas dan perjanjian pembagian manfaat *Access and Benefit Sharing (ABS)* dan prinsip *Free, Prior and Informed Consent (FPIC)*. Sementara India menegaskan penolakan terhadap dominasi korporasi benih dengan membangun sistem pemuliaan partisipatif

berbasis hak petani. Pengalaman ini menunjukkan bahwa pergeseran epistemologis hanya mungkin terwujud bila ada kemauan politik, kelembagaan, dan infrastruktur pengetahuan yang mendukung.

Indonesia berada pada posisi yang belum stabil dalam menghadapi perubahan ini. Meskipun potensi sumber daya genetik tanaman lokal sangat tinggi, seperti varietas padi lokal di Sumatera Barat, Sumba, atau Papua. Kelemahan mendasar terletak pada struktur riset yang masih tersentralisasi dan belum berbasis wilayah agroekologi. Proyek genomik seringkali dilakukan secara parsial dan tidak terintegrasi dengan sistem pengetahuan lokal, baik itu dalam bentuk praktik agroekologi maupun pengetahuan leluhur mengenai seleksi benih.

Di sisi lain, model pertanian yang diwariskan dari Revolusi Hijau cenderung masih mendominasi paradigma pembangunan pertanian nasional. Sistem penyuluhan masih berorientasi pada transfer teknologi dari pusat ke daerah, alih-alih membangun kapasitas lokal dan dialog antarpengertian. Hal ini semakin diperparah dengan fragmentasi kelembagaan antar institusi penelitian, lemahnya perlindungan terhadap petani peneliti, serta absennya infrastruktur digital yang memungkinkan komunitas untuk mengakses dan mengelola data genetik secara mandiri.

Lebih jauh, tantangan epistemologis ini bukan hanya persoalan ilmiah atau kebijakan, tetapi juga menyangkut politik pengetahuan. Siapa yang memiliki kuasa untuk menentukan jenis pengetahuan yang sah? Siapa yang berhak mengambil keputusan atas benih, data genetik, dan praktik pertanian? Dalam kerangka ekologi politik, seperti yang dijelaskan oleh Arturo Escobar (1999), pertanyaan-pertanyaan tersebut berkaitan erat dengan distribusi kekuasaan, representasi, dan pengakuan terhadap identitas kultural petani serta sistem pengetahuan lokal.

3.2. Peluang dan Ancaman Genomik terhadap Ketahanan Pangan dan Keadilan Ekologis

Dalam menghadapi dinamika ketahanan pangan global, teknologi genomik muncul sebagai inovasi revolusioner yang membawa janji sekaligus dilema. Di satu sisi, genomik menawarkan peluang besar untuk meningkatkan produktivitas, adaptasi iklim, dan kualitas nutrisi tanaman. Namun di sisi lain, jika tidak disertai regulasi yang adil dan partisipasi komunitas, ia berpotensi memperkuat ketimpangan, monopoli sumber daya, dan eksklusi sosial. Tabel berikut merangkum secara komparatif berbagai peluang dan ancaman yang ditimbulkan oleh penerapan genomik terhadap ketahanan pangan dan keadilan ekologis.

Tabel 1 menunjukkan bahwa genomik menyimpan potensi luar biasa dalam membangun sistem pangan yang lebih tangguh terhadap krisis iklim dan gizi, terutama ketika diintegrasikan dengan pendekatan agroekologi yang berbasis komunitas. Pemuliaan presisi yang dihasilkan oleh teknologi genomik memungkinkan varietas tanaman yang lebih adaptif dan bergizi, sekaligus membuka ruang partisipasi lokal dalam proses ilmiah yang selama ini elitis. Namun, jika diarahkan secara eksklusif oleh kepentingan korporasi dan tanpa pengawasan etik serta regulasi yang memadai, genomik justru berisiko memperdalam ketimpangan struktural dan menciptakan bentuk baru kolonialisme hayati.

Ancaman berupa privatisasi data genetik, dominasi paten benih, dan eksploitasi sumber daya genetik komunitas menunjukkan betapa pentingnya mekanisme ABS dan prinsip FPIC diterapkan secara tegas.

Tabel 1
Peluang dan Ancaman Genomik terhadap Ketahanan Pangan dan Keadilan Ekologis

Aspek	Peluang	Ancaman
Adaptasi Iklim & Gizi	Pemuliaan presisi untuk ketahanan terhadap iklim ekstrem dan peningkatan kualitas nutrisi	Fokus pada komoditas unggulan mengancam keberagaman hayati lokal
Model Produksi	Integrasi genomik dan agroekologi menciptakan sistem pangan berkelanjutan	Sistem intensif berbasis korporasi mengabaikan keberlanjutan dan keseimbangan ekosistem lokal
Partisipasi Komunitas	Pelibatan petani dalam pemetaan varietas memperkuat demokratisasi pengetahuan dan sains	Komodifikasi pengetahuan lokal menyebabkan eksklusi dan delegitimasi praktik komunitas
Akses terhadap Teknologi	Teknologi terbuka berbasis komunitas memperluas manfaat dan inovasi lokal	Paten dan privatisasi data genetik mempersempit akses, meminggirkan petani kecil dan adat
Etika dan Regulasi	Mekanisme ABS dan FPIC dapat menjamin distribusi manfaat secara adil	Ketiadaan regulasi adil menciptakan ketimpangan kuasa, bahkan kolonialisme genetik

3.3. Respons Negara: Komparasi Brasil, India, Rwanda, dan Indonesia

Brasil telah menjadi salah satu negara pelopor dalam pengembangan pendekatan alternatif terhadap penerapan teknologi genomik di bidang pertanian. Berbeda dari banyak negara Global South yang cenderung mengadopsi teknologi pertanian berbasis pasar dan korporasi transnasional, Brasil justru mencoba memadukan inovasi genomik dengan prinsip-prinsip agroekologi dan hak kolektif komunitas lokal. Pendekatan ini dikembangkan terutama oleh *EMBRAPA*, lembaga riset nasional yang berfokus pada pertanian tropis dan keseimbangan antara produktivitas, keberlanjutan, serta pelibatan masyarakat.

Salah satu inovasi utama Brasil dalam hal ini adalah integrasi antara pemuliaan tanaman berbasis genomik dengan agroekologi partisipatif. Dalam pendekatan ini, petani tidak hanya menjadi penerima hasil riset, melainkan aktor aktif dalam proses seleksi, pengujian, dan penyebaran varietas lokal yang memiliki keunggulan genetik. Misalnya, program participatory plant breeding yang dikembangkan *EMBRAPA* di wilayah Amazon dan Cerrado melibatkan komunitas adat dan petani kecil dalam proses adaptasi varietas terhadap kondisi agroekosistem spesifik, termasuk perubahan iklim, degradasi tanah, dan ancaman terhadap biodiversitas lokal (Barros & Lemos, 2021).

Penting dalam pendekatan ini adalah perlindungan terhadap sumber daya genetik lokal melalui kebijakan FPIC yang tertuang dalam *Lei da Biodiversidade*

(Undang-Undang Nomor 13.123/2015). Kebijakan ini mensyaratkan bahwa setiap penggunaan data genetik yang berasal dari wilayah adat atau komunitas lokal harus melalui persetujuan sukarela, penuh informasi, dan dilakukan sebelum kegiatan penelitian atau komersialisasi dilakukan. Mekanisme ini menjadi fondasi utama bagi pembagian manfaat yang adil -- *Access and Benefit Sharing (ABS)* serta menjamin bahwa inovasi ilmiah tidak menjadi alat eksploitasi, melainkan instrumen penguatan hak komunitas.

Lebih jauh, Brasil juga mengembangkan *Biobank Komunitas*, yakni sistem penyimpanan dan pengelolaan data genetik lokal yang dikelola oleh komunitas dengan dukungan negara dan lembaga ilmiah. Data yang tersimpan dalam biobank ini tidak dapat diprivatisasi oleh korporasi atau pihak luar tanpa persetujuan komunitas. Dalam praktiknya, biobank ini menjadi basis untuk dokumentasi warisan hayati lokal, termasuk varietas tanaman pangan, herbal, dan mikroorganisme yang memiliki nilai gizi atau pengobatan. Dengan kerangka hukum yang jelas, pendekatan ini menempatkan komunitas lokal sebagai pemilik sah sumber daya genetik, bukan sekadar penyedia data bagi kepentingan eksternal.

Sementara itu, India menunjukkan sikap tegas dalam menolak benih transgenik, dengan menguatkan sistem pemuliaan partisipatif dan membangun komunitas bank benih yang berlandaskan hak-hak petani (Shiva, 2012; Kloppenburg, 2004). Negara ini menjadi salah satu contoh paling menonjol dalam melakukan perlawanan terhadap dominasi teknologi benih rekayasa genetika, khususnya yang dikembangkan oleh perusahaan multinasional seperti Monsanto (kini menjadi bagian dari Bayer). Penolakan tersebut tidak hanya bersifat teknis atau ilmiah, tetapi juga merupakan ekspresi politik dan sosial yang tumbuh dari kesadaran kolektif mengenai pentingnya mempertahankan kedaulatan pangan, hak petani, dan keberlanjutan lingkungan. Gerakan seperti Navdanya, yang didirikan oleh Vandana Shiva, memegang peranan penting dalam menyuarakan alternatif terhadap narasi kemajuan teknologi bioteknologi arus utama, dengan menekankan pentingnya pelestarian biodiversitas, perlindungan hak atas benih, serta penguatan pertanian agroekologis yang berbasis komunitas (Shiva, 2012).

Salah satu strategi utama India dalam melawan dominasi benih transgenik adalah dengan menghidupkan kembali sistem pemuliaan partisipatif (*participatory plant breeding*). Model ini memungkinkan petani untuk terlibat langsung dalam seleksi dan pengembangan varietas tanaman, sesuai dengan kondisi agroekologi lokal dan kebutuhan masyarakat. Pendekatan ini bukan hanya meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim dan serangan hama, tetapi juga memperkuat kapasitas lokal dalam menghasilkan inovasi berbasis pengetahuan tradisional. Dalam konteks ini, benih bukan hanya input pertanian, tetapi bagian dari warisan budaya dan hak kolektif yang harus dijaga.

India juga mengembangkan komunitas bank benih lokal (*community seed banks*) sebagai bentuk resistensi terhadap monopoli benih dan privatisasi sumber daya genetik. Komunitas bank benih ini berfungsi sebagai pusat konservasi in-situ, tukar-menukar benih antar petani, serta tempat pendidikan tentang teknik penyimpanan dan pemuliaan. Benih-benih ini didokumentasikan dan disebarluaskan berdasarkan prinsip solidaritas dan akses terbuka, bukan kepemilikan eksklusif. Hal ini juga menjadi landasan bagi gerakan untuk

memperjuangkan Hak Petani sebagaimana diatur dalam *Protection of Plant Varieties and Farmers' Rights Act* (PPVFR Act) tahun 2001.

Rwanda menonjol dalam penggunaan genomik untuk kebijakan gizi dan data terbuka, mengintegrasikan data genetik dalam intervensi sosial (WHO, 2022; Mugabo et al., 2021). Rwanda telah menunjukkan kemajuan signifikan dalam memanfaatkan teknologi genomik untuk memperkuat kebijakan kesehatan dan ketahanan pangan, khususnya dalam hal perbaikan gizi masyarakat. Berbeda dari pendekatan korporatis yang sering mendominasi penggunaan genomik di negara-negara berkembang, Rwanda mengadopsi pendekatan yang lebih inklusif dan berbasis data terbuka. Salah satu strategi kunci yang diimplementasikan pemerintah Rwanda adalah integrasi data genetik populasi ke dalam program intervensi sosial dan kesehatan masyarakat. Pendekatan ini memungkinkan kebijakan gizi yang lebih presisi dan adaptif terhadap kondisi biologis, geografis, dan sosial-ekonomi masyarakat (WHO, 2022).

Melalui kemitraan dengan berbagai institusi global seperti Africa CDC, WHO, dan ilmuwan diaspora, Rwanda berhasil mengembangkan sistem bio-bank nasional dan platform genomik yang mengutamakan transparansi dan akses publik. Data yang dikumpulkan digunakan untuk memetakan risiko malnutrisi, defisiensi mikronutrien, dan penyakit metabolik, sehingga memungkinkan desain intervensi gizi yang lebih tepat sasaran berdasarkan profil genetik dan kebutuhan populasi tertentu (Mugabo et al., 2021). Selain itu, Rwanda juga mengintegrasikan pendekatan genomik ini ke dalam kebijakan sosial, seperti program bantuan pangan, pemantauan ibu hamil, serta pemberian suplemen berbasis kebutuhan individu. Data genetika diperlakukan sebagai komoditas publik, bukan aset privat, dan dikelola di bawah prinsip-prinsip keadilan data (*data justice*), termasuk mekanisme perlindungan privasi, persetujuan yang diinformasikan (*informed consent*), dan partisipasi komunitas dalam proses pengambilan keputusan.

Keberhasilan Rwanda memperlihatkan bahwa dengan tata kelola yang inklusif, teknologi genomik tidak harus menjadi alat eksklusif atau dominasi korporasi. Sebaliknya, ia dapat menjadi fondasi kebijakan publik yang berpihak pada hak kesehatan, gizi, dan keberdayaan komunitas secara demokratis dan berkelanjutan.

Sedangkan Indonesia, saat ini berada pada tahap awal dalam adopsi dan integrasi teknologi genomik ke dalam sistem ketahanan pangan nasional. Meskipun secara teknis dan ilmiah terdapat potensi besar — baik dari sisi sumber daya genetik, biodiversitas lokal, maupun kapasitas riset akademik — namun kelemahan struktural dalam tata kelola kelembagaan dan perlindungan pengetahuan lokal menjadi hambatan utama. Penelitian Winarto et al. (2018) menunjukkan bahwa pengetahuan petani dan inovasi lokal belum diarusutamakan dalam kebijakan pertanian nasional. Sementara itu, Kementerian Pertanian (2022) telah menyebutkan pentingnya bioteknologi dan riset genetika dalam modernisasi pertanian, namun integrasinya masih bersifat sektoral, belum membentuk kerangka kebijakan yang utuh dan sistemik. Padahal, sejarah kebijakan pangan Indonesia selama Orde Baru telah menunjukkan bagaimana dominasi teknokratis dan sentralisasi keputusan justru menciptakan kerentanan struktural terhadap

krisis pangan, terutama ketika negara gagal menjamin akses dan distribusi yang merata (Fahmid, 2004).

Situasi ini mengingatkan kita bahwa penerapan Revolusi Genomik di Indonesia tidak boleh mengulangi pola lama di mana sains hanya dijadikan instrumen kekuasaan negara atau korporasi. Sebaliknya, genomik harus ditempatkan dalam kerangka etika dan keadilan sosial. Tantangan Indonesia bukan hanya pada teknologi, tetapi pada reformasi kelembagaan: bagaimana membangun sistem riset terbuka yang menghormati pengetahuan lokal, bagaimana memastikan hak komunitas atas data genetik dan sumber daya hayati, serta bagaimana menjadikan petani sebagai subjek aktif dalam inovasi.

Saat ini, absennya kebijakan nasional tentang biobank komunitas, perlindungan data hayati, serta hak petani atas benih menunjukkan bahwa Indonesia masih belum memiliki fondasi etis dan regulatif yang kuat untuk menghadapi era Revolusi Genomik. Diperlukan pergeseran paradigma – dari pembangunan pertanian berbasis kontrol ke arah pembangunan sistem pangan berbasis kedaulatan dan kolaborasi pengetahuan.

Tabel berikut menunjukkan bagaimana cara beberapa negara merespons perkembangan genomik di bidang pertanian.

Tabel 2
Respon Negara Terhadap Revolusi Genomik

Negara	Strategi Genomik	Fokus Utama	Kelebihan	Tantangan
Brasil	Integrasi dengan agroekologi (EMBRAPA)	Pelestarian biodiversitas lokal	Sistem biobank komunitas; FPIC diterapkan	Ketimpangan akses antar wilayah
India	Perlawanan terhadap paten korporasi	Demokratisasi benih	Pemuliaan partisipatif; Navdanya	Tantangan regulasi internasional
Rwanda	Pemetaan genetik untuk kesehatan & gizi	Data terbuka; kebijakan gizi mikro	Partisipasi komunitas tinggi	Minimnya kapasitas teknologi
Indonesia	Campuran: regulasi lemah, riset berkembang	Komersialisasi varietas & ketahanan pangan	Banyak varietas lokal; sumber daya genetik kaya	Lemahnya perlindungan petani

Sumber: diolah dari FAO (2023), Shiva (2012), Lemos & Barros (2021), Kementan RI (2022)

Tabel di atas menggambarkan kontras yang tajam antara dua pendekatan besar dalam penerapan genomik di sektor pertanian: model komunitas berbasis kedaulatan hayati versus model korporatis berbasis komodifikasi genetik.

Brasil menonjol dengan strategi integratif berbasis agroekologi melalui EMBRAPA, yang memadukan riset genomik dengan pelestarian biodiversitas lokal. Pendekatan ini diperkuat oleh mekanisme FPIC dan sistem biobank komunitas yang menjamin hak kolektif atas data genetik. Namun, tantangan utama adalah ketimpangan akses antar wilayah dan kapasitas infrastruktur.

India mengambil jalur resistensi terhadap dominasi korporasi dengan menolak paten atas benih dan mengembangkan model pemuliaan partisipatif seperti gerakan Navdanya. Fokus pada demokratisasi benih menjadikan petani sebagai pelaku utama inovasi, tetapi mereka masih menghadapi tekanan dari regulasi internasional dan kebijakan WTO.

Rwanda meskipun secara teknologi belum sekuat negara lain, tampil progresif dalam integrasi data genomik untuk kebijakan gizi nasional. Dengan prinsip keterbukaan data dan partisipasi komunitas yang tinggi, Rwanda menunjukkan bahwa genomik dapat diterapkan untuk tujuan sosial, meski tantangan teknologis dan infrastruktur masih menjadi hambatan besar.

Indonesia berada dalam posisi ambivalen: riset berkembang, tetapi regulasi lemah. Negara ini memiliki kekayaan sumber daya genetik dan varietas lokal yang besar, namun tanpa perlindungan hukum yang memadai terhadap petani dan pengetahuan lokal, komersialisasi varietas kerap hanya menguntungkan aktor-aktor besar. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa fondasi kelembagaan dan etika yang kuat, potensi genomik bisa berujung pada ketimpangan dan marginalisasi.

Secara umum, tabel 2 menunjukkan bahwa keberhasilan penerapan teknologi genomik sangat ditentukan oleh arah kebijakan, partisipasi komunitas, dan kerangka etis yang mendasari. Negara yang mengutamakan pendekatan komunitas dan kedaulatan hayati cenderung lebih mampu menjadikan genomik sebagai alat pemberdayaan sosial daripada sekadar instrumen pasar.

Tabel berikut menunjukkan bagaimana negara-negara seperti Brazil, India, Rwanda dan Indonesia membangun strategi Genomik untuk menjaga ketahanan pangan.

Tabel 3
Strategi Genomik dan Ketahanan Pangan di Brasil, India, Rwanda, dan Indonesia

Aspek	Brasil	India	Rwanda	Indonesia
Pendekatan Teknologi	Integrasi genomik dan agroekologi, dengan riset partisipatif	Resistensi terhadap transgenik; pemuliaan partisipatif lokal	Genomik untuk intervensi gizi, kesehatan, dan ketahanan pangan	Masih dalam tahap awal; potensi besar dalam pemetaan varietas lokal dan adaptasi iklim melalui genomik
Peran Komunitas	Petani lokal dan komunitas adat dilibatkan dalam pemuliaan tanaman dan perlindungan genetik	Petani sebagai peneliti aktif dalam pemuliaan; komunitas mengelola bank benih tradisional	Partisipasi masyarakat dalam pengumpulan data dan program pangan berbasis lokal	Mulai tumbuh lewat gerakan agroekologi dan proyek pemuliaan partisipatif di daerah seperti Sumatera Barat, NTB
Kebijakan Nasional	Lei n° 13.123/2015: Akses Genetik	PPVFR Act 2001: Perlindungan Hak	Strategi Nasional Ketahanan	UU No. 13/2010 tentang Hortikultura dan

Aspek	Brasil	India	Rwanda	Indonesia
	dan Pembagian Manfaat, berbasis kedaulatan hayati	Petani dan Varietas Tanaman	Pangan dan Nutrisi berbasis data terbuka	UU No. 11/2013 tentang Keamanan Hayati Genetika (masih lemah dalam ABS)
Perlindungan Genetik	Biobank komunitas sebagai warisan publik	Komunitas lokal berhak menyimpan dan menukar benih secara legal	Informasi genetik dianggap publik, diarahkan untuk layanan sosial dan kesehatan	Masih dominan pendekatan konservasi ex-situ (kebun plasma nutfah); belum kuat perlindungan data genetik komunitas
Tujuan Utama	Pelestarian biodiversitas, adaptasi iklim, dan kedaulatan pangan	Demokratisasi akses benih dan pelestarian varietas lokal	Pengurangan stunting, intervensi berbasis profil genetik dan gizi populasi	Ketahanan pangan berbasis varietas lokal, agroekologi, dan peningkatan nilai tambah pertanian melalui inovasi
Kolaborasi Institusional	EMBRAPA, universitas, dan gerakan sosial agroekologi	Navdanya, komunitas petani, ilmuwan independen, dan LSM	Rwanda Biomedical Centre, WHO, dan program pangan nasional	BRIN, BALITBANG, komunitas agroekologi, dan beberapa universitas (UGM, IPB, Unhas); belum terkoordinasi optimal
Fokus Ekologis	Perlindungan kawasan Amazon dan Cerrado; adaptasi krisis iklim	Agroekosistem lokal seperti pertanian millet dan padi lokal	Ketahanan gizi rumah tangga dan sistem pangan desa	Kawasan berbasis pangan lokal: Papua, Sumba, Kalimantan, dengan kekayaan sumber daya genetik tanaman pangan lokal
Tantangan Utama	Konflik lahan dengan korporasi agribisnis	Tekanan global paten benih dan pengaruh korporasi multinasional	Keterbatasan SDM dan pendanaan riset	Fragmentasi kelembagaan, lemahnya perlindungan hukum atas pengetahuan lokal dan ABS (Access and Benefit Sharing)

Aspek	Brasil	India	Rwanda	Indonesia
Potensi Inovasi Masa Depan	Model hibrida antara genomik dan agroekologi partisipatif	Demokratisasi teknologi genomik untuk memperkuat keanekaragaman hayati lokal	Genetik + kebijakan gizi nasional + data terbuka sebagai dasar reformasi pangan	Penguatan sistem pangan lokal dengan genomik inklusif, digitalisasi data benih rakyat, dan bioinformatika terdesentralisasi

Tabel 3 di atas memberikan gambaran menyeluruh mengenai bagaimana empat negara – Brasil, India, Rwanda, dan Indonesia – mengembangkan strategi genomik dalam kerangka ketahanan pangan dengan konteks dan pendekatan yang sangat berbeda.

Brasil menonjol dengan pendekatan terpadu antara teknologi genomik dan agroekologi partisipatif, menunjukkan sinergi kuat antara lembaga riset seperti *EMBRAPA*, komunitas lokal, dan kebijakan negara yang progresif seperti *Lei n° 13.123/2015*. Fokus pada biodiversitas dan kedaulatan pangan menjadikan Brasil sebagai model integrasi etika, sains, dan komunitas, meskipun tantangan struktural seperti konflik lahan tetap menjadi hambatan.

India menegaskan posisi resistensial terhadap korporatisasi benih dengan memperkuat pemuliaan partisipatif dan pengelolaan komunitas atas bank benih. Undang-undang PPVFR 2001 menjadi fondasi hukum penting dalam melindungi hak petani. India juga menunjukkan komitmen terhadap keberagaman hayati lokal dan kedaulatan benih, walau tetap menghadapi tekanan dari regulasi dan kepentingan global.

Rwanda mengambil arah yang unik, dengan mengintegrasikan genomik dalam kebijakan gizi dan kesehatan masyarakat. Meski terbatas secara infrastruktur dan pendanaan, Rwanda menunjukkan bahwa genomik dapat digunakan untuk kepentingan sosial, bukan sekadar ekonomi, melalui partisipasi masyarakat dan penggunaan data terbuka.

Indonesia masih dalam tahap awal perkembangan, dengan potensi besar dari kekayaan genetik lokal dan gerakan agroekologi, tetapi menghadapi tantangan serius berupa fragmentasi kelembagaan dan belum adanya kebijakan sistemik yang melindungi pengetahuan lokal dan sistem *ABS*. Upaya masih terpecah dan belum terkoordinasi secara optimal antar lembaga.

3.4. Kerangka Konseptual dan Etis: Genomik sebagai Alat Pemberdayaan Komunitas

Dalam menghadapi era Revolusi Genomik, muncul pertanyaan mendasar: untuk siapa teknologi ini dikembangkan, dan siapa yang akan paling diuntungkan? Jika teknologi genomik hanya diposisikan sebagai alat produksi yang dikuasai oleh korporasi besar dan negara-negara maju, maka ia akan mereproduksi ketimpangan yang serupa dengan warisan Revolusi Hijau – yakni penyingkiran pengetahuan lokal, ketergantungan terhadap input eksternal, dan konsentrasi kontrol atas sistem

pangan (Shiva, 2012; Kloppenburg, 2004). Oleh karena itu, diperlukan suatu **kerangka konseptual dan etis** yang menjadikan genomik sebagai sarana *emansipasi komunitas*, bukan sekadar instrumen teknokratis atau korporatis.

Pendekatan ini berpijak pada **epistemologi emansipatoris**, sebagaimana dikembangkan oleh Sheila Jasanoff (2011) dan Arturo Escobar (1999), yang menolak dominasi narasi tunggal sains modern dan menyerukan perlunya ko-produksi antara sains, masyarakat, dan nilai-nilai lokal. Genomik, dalam konteks ini, bukan hanya sains tentang DNA, tetapi juga medan politik-pengetahuan yang harus direbut kembali oleh komunitas lokal sebagai aktor sah dalam produksi dan kontrol pengetahuan.

Langkah pertama yang mendasar adalah **penerapan prinsip FPIC** dan mekanisme **ABS** dalam setiap bentuk riset dan aplikasi genomik di wilayah komunitas. **FPIC** memastikan bahwa komunitas adat dan petani lokal memiliki hak untuk mengetahui, menyetujui, atau menolak setiap intervensi berbasis genetik di wilayah mereka, secara bebas dan tanpa tekanan. Sementara itu, **ABS** memastikan bahwa manfaat ekonomi, sosial, dan ilmiah dari pemanfaatan sumber daya genetik dibagi secara adil kepada pemilik wilayah atau pengetahuan tersebut (CBD, 2010).

Implementasi **FPIC** dan **ABS** yang kuat membutuhkan landasan hukum nasional yang tidak hanya melindungi hak atas sumber daya genetik, tetapi juga hak atas **pengetahuan tradisional** yang melekat pada praktik pertanian lokal. Tanpa ini, genomik berisiko menjadi bentuk baru *biopiracy*, yaitu pengambilan sumber daya hayati dan pengetahuan lokal tanpa imbal balik yang adil.

Model genomik korporatis selama ini dikembangkan dengan sistem paten tertutup yang justru mengekang kreativitas petani dan peneliti independen. Sebagai alternatif, perlu dikembangkan **open-source genomics**, yaitu basis data genetik yang terbuka, transparan, dan dapat diakses publik, khususnya komunitas petani, pemulia lokal, dan institusi riset berbasis komunitas.

Pengembangan **open-source genomics** dapat mengambil inspirasi dari gerakan *open science* dan *open data*, di mana informasi genetik tentang varietas lokal, karakter tanaman, dan ketahanan terhadap iklim dibuka untuk kepentingan adaptasi lokal, bukan untuk komodifikasi. Dalam jangka panjang, pendekatan ini akan memperkuat **kedaulatan pangan berbasis komunitas**, karena komunitas memiliki akses dan kontrol terhadap informasi genetik yang relevan dengan kondisi agroekologis mereka.

Agar teknologi genomik dapat dimanfaatkan secara efektif oleh komunitas, dibutuhkan infrastruktur data yang **terdesentralisasi dan kontekstual**. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah **pendirian pusat data komunitas** yang berbasis pada wilayah agroekologi. Pusat data ini tidak hanya menyimpan informasi genetik tanaman lokal, tetapi juga mencatat pengetahuan tradisional, praktik pertanian, dan dinamika sosial-ekologis di setiap wilayah.

Keberadaan pusat data berbasis komunitas ini akan menjadi basis penting dalam memastikan bahwa inovasi genomik tidak berjalan di atas pengetahuan lokal, tetapi *berdialog dengannya*. Dalam jangka panjang, hal ini akan menciptakan ekosistem inovasi yang inklusif, berbasis hak, dan berorientasi pada kebutuhan lokal. Selain itu, data ini akan menjadi sumber daya strategis untuk advokasi

kebijakan, pendidikan masyarakat, dan resistensi terhadap dominasi korporatis dalam sistem pangan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengungkap bahwa revolusi genomik menghadirkan transformasi besar dalam paradigma ketahanan pangan, dari pendekatan homogen dan terpusat ala Revolusi Hijau menuju pendekatan sistemik, presisi, dan kontekstual. Hal lain yang menjadi kesimpulan penelitian ini adalah: (1) **Pergeseran epistemologi** telah terjadi dari statistik-populasi menuju biologi sistemik berbasis individu dan lokalitas, yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim dan diversifikasi pangan, (2) **Teknologi genomik** menghadirkan peluang untuk peningkatan ketahanan pangan, namun juga membawa ancaman serius terkait monopoli korporatis dan marginalisasi komunitas lokal, (3) **Respons negara** sangat beragam: Brasil dan India menunjukkan model alternatif berbasis komunitas dan agroekologi; Rwanda menampilkan pendekatan teknologi untuk keadilan gizi; sedangkan Indonesia masih menghadapi tantangan struktural, (4) **Kerangka etis dan konseptual** sangat penting untuk menjadikan genomik sebagai alat emansipasi: melalui demokratisasi akses, hak atas data genetik, dan partisipasi komunitas dalam inovasi hayati.

Daftar Pustaka

- Altieri, M. A., (2009). *Agroecology, Small Farms, and Food Sovereignty*. *Monthly Review*, Vol.61 No.3, 102–113. https://doi.org/10.14452/MR-061-03-2009-07_6
- Barros, A. C., & Lemos, M. C. (2021). Decolonizing data: Genomics, Indigenous knowledge, and the politics of benefit-sharing in Brazil. *Environmental Science & Policy*, Vol.123, 61–70.
- Collins, F. S., Green, E. D., Guttmacher, A. E., & Guyer, M. S. (2003). A vision for the future of genomics research. *Nature*, Vol.422 No.6934, 835–847.
- Escobar, A. (1999). After nature: Steps to an antiessentialist political ecology. *Current Anthropology*, Vol.40. No.1, 1–30.
- ETC Group. (2010). *Gene Giants Stockpile Patents on "Climate-Ready" Crops in Bid to Become Biomasters*. Communiqué #102. <http://www.etcgroup.org>
- Fahmid, I. M. (2004). *Gagalnya Politik Pangan di Bawah Rezim Orde Baru: Kajian Ekonomi Politik Pangan di Indonesia*. Sandi Kota.
- Foucault, M. (1976). *The Birth of Biopolitics*. Pantheon Books.
- Glover, D. (2010). The corporate shaping of GM crops as a technology for the poor. *The Journal of Peasant Studies*, Vol.37 No.1, 67–90.
- IPES-Food. (2016). *From Uniformity to Diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems*. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems.

- Jasanoff, S. (2011). Constitutional moments in governing science and technology. *Science and Engineering Ethics*, Vol.17 No.4, 621–638.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2022). *Strategi Nasional Ketahanan Pangan 2020–2024*. Kementan RI.
- Kloppenborg, J. (2004). *First the Seed: The Political Economy of Plant Biotechnology*. University of Wisconsin Press.
- Landecker, H. (2011). Food as exposure: Nutritional epigenetics and the new metabolism. *BioSocieties*, Vol.6 No.2, 167–194.
- Marden, E. (2003). The rights of indigenous peoples to genetic resources. *Columbia Journal of Environmental Law*, Vol.28, 485–522.
- Mugabo, J., Nsanzimana, S., & Uwineza, A. (2021). Integrating genomics in public health: The case of Rwanda. *BMC Public Health*, Vol.21, 1179. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11290-5>
- Pells, R. (2019). The rise of agricultural genomics: Mapping the new agribiopolitics. *Journal of Political Ecology*, Vol.26 No.1, 532–553.
- Ricroch, A. E., & Hénard-Damave, M.-C. (2016). Next biotech plants: New traits, crops, developers and technologies for addressing global challenges. *Critical Reviews in Biotechnology*, Vol.36 No.4, 675–690.
- Scott, J. C. (1998). *Seeing Like a State: How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed*. Yale University Press.
- Shinozaki, Y., et al. (2020). Genetic strategies for improving rice drought resistance: Progress and prospects. *Plant Molecular Biology*, Vol.104 No.3, 215–227.
- Shiva, V. (2012). *The Seed and the Earth: Biotechnology and the Colonization of Regeneration*. In *The Vandana Shiva Reader*. University Press of Kentucky.
- Smith, R. D. (2020). Genomics and future food security. *Nature Food*, Vol.1, 182–183.
- Winarto, Y. T., Stigliani, D., & Fadillah, A. (2018). Citizen science and seed governance in Indonesia: Disrupting technocratic domination through “Knowledge-Dialogue”. *Journal of Southeast Asian Studies*, Vol.49 No.2, 300–322.
- World Health Organization. (2022). *Integrating Genomic Technologies into Public Health in Africa*. WHO.
- World Bank. (2022). *Future of Food: Harnessing Digital and Genomic Technologies for Resilient Agriculture*. World Bank Group