

PERSPEKTIF SISTEM PERTANIAN BIOINDUSTRI BERKELANJUTAN

Pantjar Simatupang

PENDAHULUAN

Sektor Pertanian Indonesia, khususnya produksi padi, pernah tumbuh akseleratif pada akhir 1970an pertengahan 1980an sebagai hasil dari massalisasi teknologi Revolusi Hijau. Puncaknya ditandai oleh pencapaian swasembada beras untuk pertama kalinya pada 1984. Sayangnya, akselerasi peningkatan produksi pangan tersebut tidak berlangsung cukup lama. Produksi padi mengalami perlambatan karena teknologi Revolusi Hijau menunjukkan gejala atau bahkan sudah mengalami regresi akibat *sindroma overintensifikasi*. Indonesia kembali menjadi negara pengimpor beras sejak akhir 1980an.

Pingali (2012) mengatakan bahwa periode Revolusi Hijau (generasi pertama) ialah 1965-1985. Penelitian Grassini, Eskridge, and Cassman (2013) menunjukkan bahwa tren produktivitas padi, jagung dan gandum menunjukkan tren pertumbuhan menurun sejak akhir dekade 1990an. Tren produktivitas padi di Indonesia mengalami penurunan pada paruh kedua dekade 1980an. Fenomena inilah barangkali yang menjadi alasan utama kenapa swasembada beras yang diraih Indonesia pada 1984 tidak bertahan cukup lama. Peningkatan pendapatan petani dan pemantapan ketahanan pangan masih akan tetap menjadi tantangan utama pembangunan pertanian hingga beberapa tahun mendatang.

Oleh karena itu Indonesia, dan juga negara-negara berkembang lainnya, kini sangat membutuhkan terobosan (revolusi) teknologi baru pasca Revolusi Hijau (Pingali, 2013). Teknologi baru tersebut haruslah dapat meningkatkan pendapatan petani secara signifikan, meningkatkan ketahanan pangan nasional secara berkelanjutan, inklusif bagi petani gurem, dan ramah lingkungan. Selain itu, peningkatan kualitas hidup petani hanya dapat diwujudkan apabila tekanan tenaga kerja pada sektor pertanian dapat dikurangi. Untuk itu, struktur perekonomian Indonesia perlu pula ditransformasi sehingga menjadi berimbang.

Revolusi teknologi baru yang terintegrasi dengan transformasi struktur perekonomian makro itu haruslah disusun dalam perspektif panjang. Untuk itulah Kementerian Pertanian telah menyusun dokumen Strategi Induk Pembangunan Pertanian 2015-2045 (SIPP 2015-2045). Gagasan utama SIPP 2015-2045 ialah membangun Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan (Kementerian Pertanian, 2014). Kementerian Pertanian telah menetapkan untuk menggunakan konsep tersebut mulai tahun 2015. Para dekan Fakultas Pertanian yang tergabung dalam Forum

Komunikasi Perguruan Tinggi Pertanian Indonesia telah bersepakat untuk menjadikan konsep tersebut sebagai bagian dari kurikulum pengajaran di lembaga masing-masing.

Dokumen SIPP 2015-2045 memang telah diterbitkan oleh Kementerian Pertanian. Dokumen tersebut dapat diakses bebas pada situs Kementerian Pertanian. Namun banyak pihak mengatakan bahwa dokumen tersebut masih terlalu sulit untuk dipahami. Dokumen tersebut juga dipandang terlalu umum, tidak mudah menerjemahkannya menjadi program atau tindak aksi operasional. Tulisan ini dimaksudkan untuk menjelaskan konsep Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan tersebut.

SISTEM PERTANIAN-BIOINDUSTRI BERKELANJUTAN

Sebagai sebuah sistem, Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan dapat digambarkan oleh enam karakteristik berikut. *Pertama*, memiliki batas-batas (*boundaries*) yakni, apa saja yang termasuk dalam Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan dan ruang lingkup lingkungan di mana beroperasi. Batas Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan bervariasi mulai dari tingkat usahatani, atau bahkan lebih kecil lagi hamparan usahatani, gabungan kelompok tani, kluster atau kawasan pengembangan, kawasan ekologis (lansekap), pulau, hingga Negara. Oleh karena itu, rencana pengembangan Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan dapat dijadikan sebagai bagian integral dari rencana tata ruang pembangunan suatu wilayah, baik berdasarkan administrasi usaha atau pemerintahan maupun berdasarkan ekosistem. Sejalan dengan itu, kawasan pengembangan pertanian yang dicanangkan Kementerian Pertanian haruslah disertai dengan penetapan batas wilayah secara tegas.

Kedua, memiliki komponen. Dalam kelompok besar, Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan terdiri dari tiga komponen yakni, sub-sistem pertanian, sub-sistem bioindustri, dan sub-sistem konsumsi. Masing-masing sub-sistem dapat memiliki satu atau lebih sub-komponen. Sub-sistem pertanian berfungsi untuk menghasilkan biomassa primer untuk selanjutnya diolah dalam sub-sistem bioindustri. Sub-sistem konsumsi mencakup manusia yang berperan sebagai konsumen akhir, yang menjadi pihak yang menikmati output dari sistem.

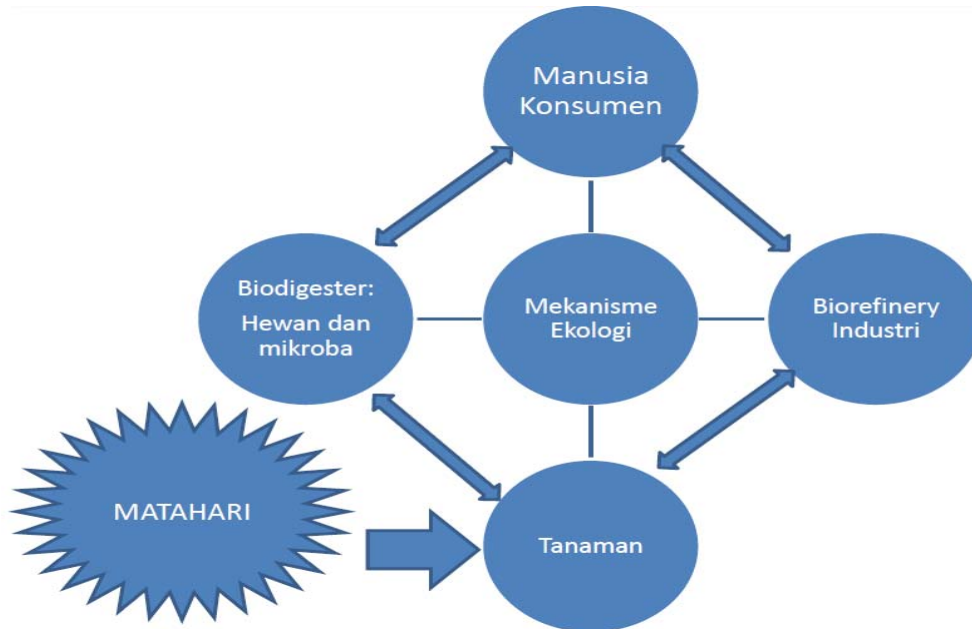
Ketiga, setiap komponen memiliki fungsi (*ceruk* atau *niche*) tersendiri dan berinteraksi satu sama lain. Kelengkapan komponen, kinerja fungsional setiap komponen, dan keharmonisan interaksi antar komponen merupakan penentu kinerja sistem keseluruhan. Dalam perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan, komponen sistem dan fungsinya terrefleksikan dalam perancangan sub-sistem pertanian dan sub-sistem bioindustri. Media interaksi antar komponen mencakup aliran materi, utamanya biomassa, zat kimia, air, dan energi. Interaksi antar komponen diatur melalui mekanisme ekologis.

Keempat, input, eksternal dan internal. Input eksternal adalah materi, energi, dan teknologi yang berasal dari luar sistem yang dipergunakan di dalam sistem. Input internal adalah materi, energi, dan teknologi yang berada atau dihasilkan di dalam sistem. Perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan berpandangan untuk sebesar-besarnya mengandalkan input internal, dan input eksternal yang tersedia tak terbatas (seperti energi matahari, air hujan, udara dan materi yang dikandungnya). Penggunaan input eksternal yang tersedia terbatas (seperti energi fosil, pupuk kimia, pestisida kimia, air irigasi) digunakan seminimal mungkin (secara bijaksana). Dengan demikian, Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan berorientasi mandiri dalam input.

Kelima, produk dan produk ikutan atau output dari sistem. Output Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan ialah produk dan produk ikutan sub-sistem pertanian dan atau hasil olahannya dalam sub-sistem bioindustri. Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan berorientasi pada maksimisasi output yang bermanfaat bagi manusia (bernilai ekonomi) dan lingkungan, dengan dampak negatif yang minimal terhadap kelestarian sumber daya alam dan kualitas lingkungan. Produk-produk yang bermanfaat langsung secara ekonomi mencakup pangan, pakan, energi dan bioproduk. Selain produk ekonomi privat, produksi jasa lingkungan (privat maupun publik) juga termasuk output yang dikehendaki dari Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan.

Dengan demikian, pemikiran sistemik dari perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan ialah bagaimana memperoleh sebesar-besarnya energi elektro magnetik matahari yang tersedia melimpah di Indonesia sebagai kawasan tropik melalui pertanian. Tumbuhan adalah organisme yang mampu mentransformasi energi elektromagnetik matahari menjadi energi kimiawi dalam biomasanya dengan menggunakan air, karbon dioksida dan zat hara melalui proses fotosintesa. Biomassa tanaman itulah selanjutnya menjadi sumber energi atau makanan bagi organisme lainnya dalam komponen sub-sistem pertanian.

Selain diproses dalam jejaring rantai makanan sub-sistem pertanian, sebagian biomassa dialirkan ke sub-sistem bioindustri untuk diolah menjadi beragam produk pangan, pakan, energi, pupuk, pestisida dan bioproduk bernilai tinggi lainnya. Pakan, pupuk, pestisida dan energi selanjutnya di daur ulang ke sub-sistem pertanian. Dengan demikian terciptalah suatu sistem siklus tertutup antara sub-sistem pertanian, sub-sistem bioindustri. Sketsa umum Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa umum Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan

Berkelanjutan

Berkelanjutan adalah indikator kinerja dari Sistem Pertanian-Bioindustri yang dibangun. Indikator kinerja inilah yang dijadikan sebagai landasan dalam perancangan Sistem Pertanian-Bioindustri. Secara semantik, berkelanjutan berarti berlangsung terus-menerus ke masa mendatang dalam jangka waktu takterhingga. Untuk suatu usaha berbasis sumber daya alam, seperti pertanian, berkelanjutan mensyaratkan bahwa usaha yang dilakukan senantiasa menguntungkan secara finansial (ekonomi), diterima dan bermanfaat bagi masyarakat (secara sosial), dan mempertahankan kelestarian sumber daya agroekosistem (ramah lingkungan). Dengan demikian, berkelanjutan memiliki tiga dimensi atau persyaratan: keberlanjutan ekonomi, keberlanjutan sosial-budaya dan keberlanjutan lingkungan. Ketiga persyaratan ini harus terpenuhi secara bersamaan.

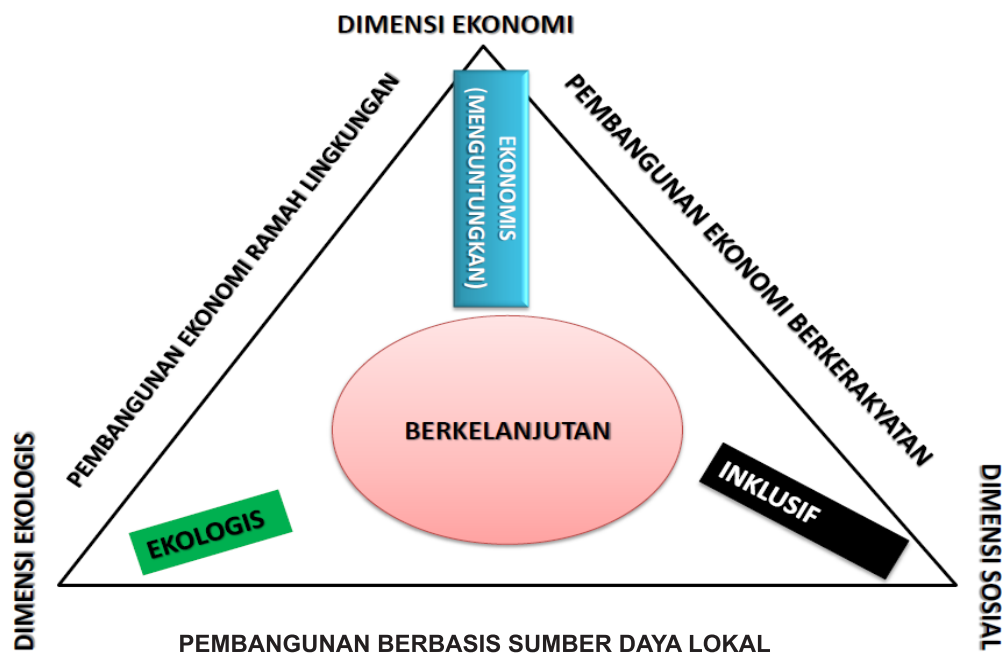
Berkelanjutan secara ekonomi mensyaratkan bahwa usaha yang dilakukan memiliki daya saing dan menguntungkan secara finansial. Keberlanjutan secara ekonomi juga menjadi persyaratan pertumbuh-kembangan perusahaan yang menghasilkan beragam produk bernilai tambah tinggi, yang berarti pula persyaratan untuk memacu pertumbuhan ekonomi dengan laju yang cukup tinggi dalam rangka meningkatkan kesejahteraan rakyat.

Berkelanjutan secara sosial-budaya mensyaratkan bahwa bidang usaha tersebut sesuai dengan norma-norma sosial, termasuk nilai-nilai etika, kepercayaan, adat-istiadat, agama, serta kesempatan berusaha dan lapangan kerja bersifat terbuka, dapat diakses oleh dan manfaatnya dapat diperoleh seluruh rakyat secara merata. Dengan perkataan lain, bidang usaha tersebut bersifat inklusif.

Berkelanjutan secara ekologis berarti bahwa usaha-usaha yang dilakukan menimbulkan dampak minimal terhadap lingkungan sehingga daya dukung produksi dan kenyamanan lingkungan hidup ekosistem yang menjadi basis sistem pertanian-bioindustri berkelanjutan tidak mengalami penurunan nyata, atau bahkan dapat ditingkatkan, di masa mendatang dalam waktu tak terhingga. Secara grafis, berkelanjutan digambarkan oleh interseksi dari dimensi ekonomi, sosial dan lingkungan (Gambar 2).

Dengan demikian, dalam konteks Indonesia, kisi-kisi normatif pembangunan sistem pertanian-bioindustri berkelanjutan ialah:

1. berbasis sumber daya alam dan sumber daya sosial lokal: berkelanjutan secara sosial dan lingkungan. Usaha yang dikembangkan memanfaatkan sumber daya alam secara lestari serta sesuai dengan budaya lokal dan untuk sebesar-besarnya kesejahteraan petani rumah tangga dan masyarakat lokal,



Gambar 2. Konsep Berkelanjutan

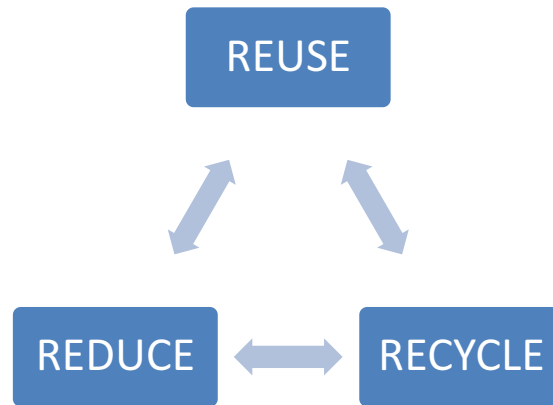
2. ekonomi berkerakyatan: berkelanjutan secara sosial dan ekonomi. Usaha yang dikembangkan sesuai untuk usaha pertanian rakyat yang dominan di Indonesia, dan menguntungkan secara finansial,
3. ekonomi ramah lingkungan (ekonomi hijau): berkelanjutan secara ekonomi dan lingkungan.
4. Prinsip dasar proses produksi yang dipandang sesuai untuk mewujudkan sistem pertanian-bioindustri berkelanjutan itu ialah:
5. mengurangi input eksternal tanpa berdampak pada pengurangan, atau bahkan dapat meningkatkan produksi (*Reduce*),
6. menggunakan ulang sisa proses atau hasil ikutan produksi (*Reuse*),
7. mendaur ulang produk akhir, sisa dan atau bekas pakai produk akhir (*Recycle*).

Prinsip pertama merupakan kunci untuk peningkatan efisiensi dan nilai tambah ekonomi. Penggunaan lebih sedikit input berarti bahwa proses produksi lebih murah atau lebih efisien. Dengan penggunaan input atau ongkos produksi yang lebih kecil namun menghasilkan produksi yang lebih besar berarti suatu keberhasilan dalam meningkatkan nilai tambah ekonomi atau laba usaha. Kiranya dimaklumi bahwa prinsip kedua dan ketiga juga bermanfaat dalam perluasan bidang usaha dan peningkatan nilai tambah ekonomi.

Prinsip kedua memang bermanfaat juga untuk peningkatan nilai tambah ekonomi. Namun dalam perspektif kelestarian sumber daya alam dan lingkungan, prinsip kedua terutama dimaksudkan untuk mengurangi eksternalitas negatif terhadap lingkungan. Prinsip kedua mengubah eksternalitas negatif (limbah) menjadi manfaat ekonomi sehingga, Prinsip pertama dan kedua juga berperan dalam mengurangi eksternalitas negatif.

Prinsip ketiga terutama dimaksudkan untuk menciptakan siklus bio-geo-kimia tertutup dalam rangka mengurangi kebocoran hara. Prinsip ketiga inilah penentu keberlanjutan jangka panjang kemandirian dalam menghasilkan *feedstock* atau input primer. Prinsip ketiga juga berperan dalam mengurangi penggunaan input (prinsip pertama) dan pemanfaatan sisa atau limbah proses produksi (prinsip kedua).

Jelaslah kiranya bahwa ketiga prinsip 3-R saling bersinergi (Gabar 3). Namun demikian, kiranya dicatat bahwa prinsip 3-R hanya menekankan pada aspek ekonomi dan lingkungan, aspek sosial-budaya belum termasuk secara eksplisit. Oleh karena, konsep berkelanjutan menurut perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan didasarkan pada prinsip 3-R Plus Inklusif atau 3R-I.



Gambar 3. Sinergi 3-R

Sistem Pertanian

Pertanian pada hakekatnya ialah kegiatan budidaya yang sengaja dilakukan untuk menghasilkan biomassa dan atau mengolah biomassa menjadi bahan pangan, pakan, energi dan beragam bioproduct bernilai tinggi serta jasa lingkungan yang berguna untuk kelangsungan hidup manusia yang sehat dan sejahtera. Kata kuncinya ialah menghasilkan dan atau mengolah biomassa. Dalam hal ini tidak dipersoalkan jenis makhluk hidup yang dibudidayakan. Pertanian pada dasarnya adalah proses produksi biomassa dari segala jenis organisme yang terdiri dari lima kerajaan (*kingdom*) yakni (Wayne's Word, 1998):

1. *Monera*: Organisme satu sel yang tidak memiliki *nucleus*, termasuk bakteri murni (*eubacteria*) dan *cyanobacteria* (*blue-green algae*),
2. *Protista*: Organisme memiliki sel, termasuk *protozoa* satu sel dan *algae* satu sel atau multi-sel,
3. *Fungi*: Termasuk berbagai jenis jamur,
4. Tanaman: Termasuk tanaman biomassa, tanaman khusus energi, serta tanaman pangan, hortikultura, perkebunan, dan tanaman obat konvensional,
5. Hewan: Termasuk cacing, serangga, moluska, serta ikan dan ternak yang konvensional.

Pengertian di atas di satu sisi konsisten dengan pengertian pertanian modern sebagai: *Agriculture is the art and science of growing plants and raising animals for food, other human needs or economic gain.* (Bareja, 2008). Dalam definisi ini tidak ada pembatasan mengenai jenis tanaman dan hewan yang dibudidayakan. Kata kunci pertanian ialah kemahiran dan kreativitas (seni) dan penerapan ilmu dalam praktek

budidaya tanaman dan hewan yang berguna untuk pangan, kebutuhan manusia lainnya atau nilai tambah ekonomi. Jenis tumbuhan dan hewan yang dibudidayakan tidak dibatasi. Budidaya cacing, serangga, moluska dan segala macam hewan atau tanaman non-konvensional lainnya tercakup dalam arti pertanian modern. Namun demikian, organisme yang dibudidayakan masih terbatas pada tanaman dan hewan. Sebagaimana diketahui, budidaya jamur sudah lama dikenal sebagai salah satu jenis usaha pertanian yang cukup penting. Jamur memiliki kerajaan sendiri, tidak termasuk kerajaan tanaman maupun kerajaan hewan. Perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan berpandangan bahwa budidaya mikroorganisme, bahkan organisme satu sel pun, termasuk *monera*, *protista* dan *fungi* (bakteri, *algae*, baktteri, jamur, kapang) termasuk dalam definisi pertanian.

Pertanian lazimnya dimaknai sebagai terjemahan dari bahasa Inggris *agriculture*. Kata *culture* dalam *agriculture* mengandung dua makna (Munck, 1990). *Pertama*, *culture* diartikan sebagai budaya sosial (makna orisinal). Dengan makna ini, pertanian berfungsi sebagai bagian dari kebudayaan yang direfleksikan dalam tradisi bercocok tanam, budaya pangan, warisan keunikan geografis (varietas tanaman, cita rasa hasil pertanian, panorama alam, kenyamanan lingkungan hidup). *Kedua*, pertanian dapat pula diartikan sebagai budidaya organisme. Jenis organisme yang dibudidayakan tidak dibatasi, mencakup kelima kerajaan: tanaman, hewan, *fungi*, *protista* (*algae*) dan *monera* (bakteri). Dengan makna ini, pertanian berfungsi untuk menghasilkan komoditas yang bernilai ekonomi, yaitu biomassa yang dapat bermanfaat langsung sebagai bahan pangan, pakan, atau sebagai bahan baku bioindustri untuk menghasilkan pangan, pakan, energi dan beragam bioproduk.

Perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan berpandangan bahwa sebagai budidaya organisme, pertanian tidak saja menghasilkan komoditas, tetapi juga berfungsi dalam menghasilkan jasa ekologi¹. Budidaya serangga, seperti lebah madu berfungsi dalam pollinasi tanaman. Budidaya tanaman juga berfungsi dalam menjaga kelestarian sumber daya air. Sistem pertanian dapat direkayasa sedemikian rupa sehingga menciptakan siklus bio-geo-kimia yang tertutup sehingga berperan dalam menjaga kelestarian sumber daya alam dan lingkungan. Dengan demikian, pertanian memiliki tiga fungsi yakni fungsi ekonomi, fungsi sosial-budaya dan fungsi ekologis. Oleh karena itulah, sistem pertanian harus dikembangkan berdasarkan prinsip berkelanjutan dengan dimensi ekonomi, sosial dan ekologis, seperti diuraikan pada bagian berikut.

Perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan berpandangan bahwa pertanian adalah upaya manusia dalam mengelola ekosistem dan skalanya sehingga dapat menghasilkan produk-produk yang lebih bermanfaat untuk peningkatan kesejahteraannya. Pertanian adalah ekosistem buatan manusia yang disebut agroekosistem. Ilmu dan teknologi yang berkaitan dengan perancangan dan pengelolaan pertanian berbasis prinsip-prinsip ekosistem disebut agroekologi.

¹ Uraian tentang jasa ekologis dapat dibaca pada Millenium Ecosystem Management (2005)

Pertanian yang dirancang berdasarkan prinsip ekologi disebut sistem pertanian ekologis atau sistem agroekologi.

Pemikiran baru, bahwa pertanian adalah pengelolaan ekosistem dan skalanya, membuka gagasan dan harapan baru mengenai kontribusi pertanian. Dengan paradigma lama, pertanian hanya berkontribusi dalam penyediaan pangan, serat, bahan bakar dan energi (sebagian dari jasa provisi ekosistem), dan dilaksanakan dengan tidak harus berdasarkan prinsip ekosistem, atau bahkan cenderung mengganggu fungsi ekosistem sehingga tidak berkelanjutan. Praktek pertanian konvensional, termasuk yang berbasis pada teknologi Revolusi Hijau, berdampak buruk terhadap lingkungan sehingga perlu disesuaikan.

Dalam perspektif praksis, agroekologi didefinisikan sebagai koherensi seluruh dan setiap hal yang membuat sistem pertanian dapat dirancang sebagai perangkat untuk memanfaatkan fungsionalitas yang disediakan oleh ekosistem, mengurangi tekanan pada lingkungan hidup dan melindungi sumber daya alam.

Walaupun beragam, definisi agroekologi memiliki beberapa kesamaan prinsip dasar dalam rangka merekonsiliasi tantangan *triple trade-off* keberlanjutan sosial, ekonomi dan lingkungan (Schaller, 2013):

1. Memanfaatkan fungsi ekosistem semaksimal mungkin,
2. Maksimisasi biodiversitas fungsional melalui pertanaman campuran, diversifikasi antar petakan dan pergiliran tanaman, serta diversifikasi usahatani (komplementaritas usahatani tanaman, ternak, ikan, serangga, dsb),
3. Memperkuat regulasi biologis melalui penataan rantai makanan di dalam ekosistem. Untuk pengendalian hama-penyakit tanaman misalnya, disarankan untuk menggunakan bilangan ganjil (3,5,7 dsb) dalam menentukan jumlah level rantai makanan. Untuk tiga level rantai makanan, misalnya, promosi rantai makanan level pertama (tumbuhan) dapat dilakukan dengan membatasi keberadaan level kedua (predator) dengan menggunakan level ketiga (serangga bermanfaat).

Dengan lebih rinci, Altieri (2012) menjabarkan prinsip dasar sistem pertanian ekologis sebagai berikut:

1. Daur ulang biomassa, dengan maksud optimasi dekomposisi bahan organik dan siklus nutrisi,
2. Memperkuat sistem imun dari sistem pertanian melalui penguatan biodiversitas fungsional, musuh alami, antagonis, dsb,
3. Menyediakan kondisi lahan yang baik untuk pertumbuhan tanaman, khususnya dengan mengelola zat organik dan memperkuat aktivitas biologi tanah,
4. Meminimumkan kehilangan energi, air, zat hara, dan sumber daya genetik dengan memperkuat konservasi dan regenerasi lahan, air, dan agro-biodiversitas,

5. Meningkatkan diversitas spesies dan sumber daya genetik di dalam agroekosistem menurut waktu pada level usahatani dan kawasan lansekap,
6. Memperkuat interaksi dan sinergi bermanfaat diantara sesama komponen agro-biodiversitas, sehingga dengan demikian mempromosikan fungsi-fungsi dan proses-proses ekologis utama.

Berdasarkan tujuannya, sistem pertanian ekologis dapat dibedakan menjadi sistem pertanian konservatif ekologis dan sistem pertanian intensif ekologis. Sistem pertanian konservatif ekologis berorientasi pada kelestarian sumber daya alam dan lingkungan, dan proses produksinya mengandalkan pada input internal agroekosistem. Sistem pertanian intensif ekologis berorientasi untuk menghasilkan nilai tambah usahatani sebesar mungkin, termasuk dengan cara menggunggungkan input eksternal, namun dengan dampak minimal terhadap kelestarian sumber daya alam dan lingkungan. Sistem pertanian intensif ekologis tidak efektif untuk peningkatan pendapatan petani dan memacu pertumbuhan pertanian secara agregat sehingga kurang sesuai untuk Indonesia hingga beberapa tahun ke depan. Model ini mungkin cocok bagi negara-negara yang sudah maju. Pertanian intensif ekologis adalah rekaya biosistem. Sebagai sebuah sistem, arsitektur pertanian intensif ekologis dirancang dalam dua tahapan. Pertama, penetapan batas-batas lokasi serta karakteristik sumber daya dan lingkungan strategis sosial ekonomi tapakan lokasi pengembangan sistem pertanian intensif ekologis tersebut. Batas-batas tapakan, karakteristik sumber daya dan lingkungan strategis tapakan merupakan penentu skala pengembangan dan alternatif struktur biosistem yang layak dikembangkan di lokasi tersebut. Dalam batas inilah biosistem direkayasa serhingga berkelanjutan secara ekonomi, sosial dan lingkungan. Kiranya dicatat bahwa skala pengembangan terutama ditentukan oleh status penguasaan tapakan pengembangan.

Skala pengembangan sistem pertanian intensif ekologis dapat mencakup satu perusahaan (usaha pertanian rakyat, perusahaan besar pertanian), komunitas usaha (kelompok perusahaan, termasuk kelompok tani, kemitraan petani rakyat dan perusahaan besar pertanian), kawasan pengembangan khusus (klaster, zona pembangunan), kawasan ekologis atau lansekap.

Aspek atau langkah kedua dalam perekayasaan sistem pertanian intensif ekologis ialah rekayasa arsitektur struktur organisme di lokasi pengembangan. Struktur dimaksud mencakup jenis dan populasi setiap spesies dan atau varietas (variasi genetik dalam satau species) sesuai dengan fungsi ekologis masing-masing sehingga terjalin interrelasi harmonis dalam mewujudkan ciri-ciri tersebut di atas.

Secara umum, bauran biodiversitas sistem pertanian ekologis tersebut disebut organisme sekawan (*companion organisms*). Fungsi-fungsi ekologis setiap jenis organisme dalam rumpun organisme sekawan tersebut mencakup:

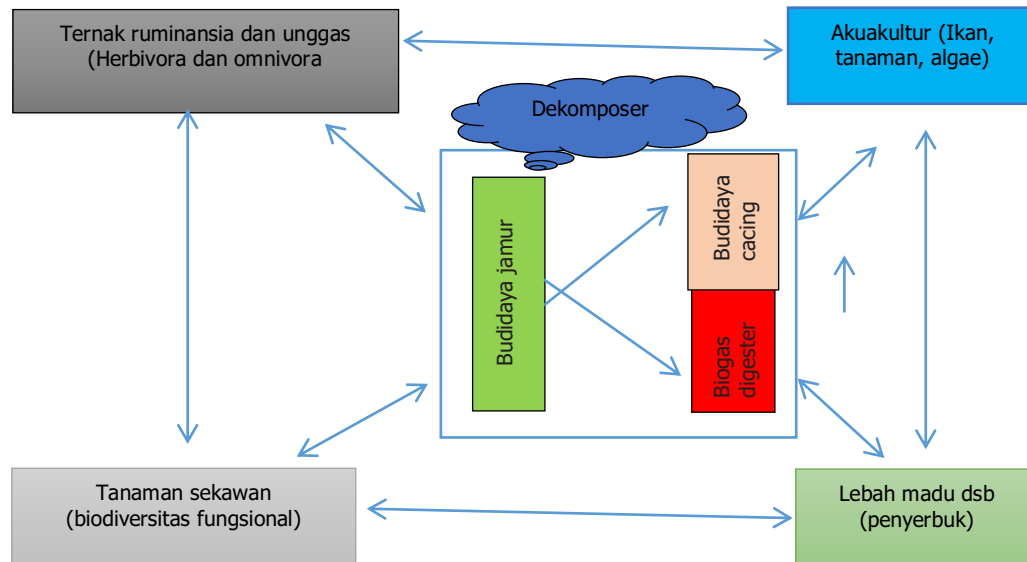
1. Pemanfaatan optimal ruang budidaya: Organisme dapat dibudiyakan secara bersama-sama karena mereka tidak saling bersaing atau bahkan sinergis karena berbeda dalam kebutuhan lahan, hara, air dan matahari, berbeda kedalaman perakaran, berbeda ketinggian, berbeda musim tanam, dsb,

2. Pengendalian hama: Organisme yang bermanfaat dalam pengendalian hama-penyakit, misalnya karena bersifat penarik (*pest attractor*) atau pemerangkap hama (*pest trap*), penjauh (*pest repellent*),
3. Pendukung pollinasi: Organisme yang berkontribusi dalam peningkatan penyerbukan melalui serangga atau organisme lain, termasuk lebah madu dan serangga lainnya serta tanaman penarik serangga,
4. Hewan herbivora dan omnivora (ternak dan ikan): Ternak ruminansia, unggas,
5. Organisme dekomposer: Jamur, cacing, lalat, dsb untuk media budidaya dan sekaligus mengurai sisa dan limbah biomassa hasil pertanian menjadi bahan pangan, pakan dan pupuk yang selanjutnya dipergunakan dalam budidaya tumbuhan,
6. Sinergi habitat: Integrasi budidaya berbasis lahan dan berbasis air (akuakultur) dalam rangka membangun rantai pangan (*food chain*) antar organisme budidaya serta daur ulang bahan organik, air dan hara.

Sketsa rancangan umum sistem pertanian intensif ekologis dapat dilihat pada Gambar 4. Komponen utama ialah budidaya tanaman darat, peternakan ruminansia dan unggas, akuakultur dan budidaya lebah madu. Struktur tanaman darat maupun tanaman air merupakan organisme sekawan yang dirancang berdasarkan fungsi biodiversitas. Biomassa primer dihasilkan oleh tanaman yang mencakup pangan, pakan dan produk-produk dagangan lainnya. Sisa dan limbah biomassa di dekomposisi melalui budidaya jamur, biodigester gas, dan budidaya cacing untuk menghasilkan jamur bernilai tinggi, pakan, dan pupuk.

Peternakan lebah berfungsi untuk membantu penyerbukan tanaman serta menghasilkan madu dan produk ikutannya yang bernilai tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa sejumlah tanaman, khususnya yang termasuk tanaman buah dan sayur, sangat tergantung pada penyerbukan oleh serangga. Penyerbukan oleh serangga dapat meningkatkan secara nyata produktivitas tanaman, mutu hasil, dan efisiensi pemanfaatan zat hara dan air. Berbeda dengan di Indonesia, usaha jasa penyerbukan lebah sudah lama berkembang di banyak negara. Sistem integrasi tanaman-ternak lebah juga sudah dikembangkan di negara-negara Afrika.

Simpul utama yang berperan sebagai penjamin terciptanya siklus hara dalam ekosistem ialah dekomposer yang dapat mencakup budidaya jamur, biogas digester dan budidaya cacing. Budidaya jamur berfungsi sentral dalam mendekomposisi serat sambil menghasilkan jamur bernilai komersial tinggi. Limbah budidaya jamur dapat dimanfaatkan untuk pakan ternak dan ikan atau diolah lebih lanjut melalui digester biogas dan budidaya cacing untuk menghasilkan pupuk dan pakan. Limbah biogas juga dapat dimanfaatkan untuk pupuk dan media budidaya cacing untuk menghasilkan pakan dan pupuk.



Gambar 4. Sketsa arsitektur umum sistem pertanian intensif ekologis

Kiranya dicatat bahwa sistem pertanian intensif ekologis hanya mencakup komponen usaha budidaya, atau komponen pertanian, tidak mencakup komponen bioindustri. Sistem pertanian intensif ekologis merupakan varian parsial dari sistem pertanian-bioindustri berkelanjutan yang diuraikan pada bagian berikut. Oleh karena tidak ada bioindustri, hasil pertanian dijual dalam bentuk bahan mentah atau biomassa primer. Sejumlah besar zat hara terbawa keluar bersamaan dengan penjualan atau transportasi hasil pertanian. Zat hara yang dapat didaur ulang terbatas pada sisa dan limbah yang tidak dapat dijual langsung. Namun demikian, pengembangan sistem pertanian intensif ekologis merupakan langkah awal menuju pengembangan sistem pertanian-bioindustri berkelanjutan, khususnya dalam skala kawasan yang cukup luas. Arsitektur dasar seperti pada Gambar 1, lebih baik dijadikan sebagai acuan dalam perancangan sistem usahatani perorangan atau perusahaan berskala kecil.

BIOINDUSTRI

Bioindustri adalah segala fasilitas atau usaha pengolahan yang menggunakan biomassa sebagai bahan baku atau yang menggunakan mikroorganisme atau enzim biologis (*bioenzim*) yang diekstraksi atau disintesa dari organisme pada satu atau lebih tahapan pengolahannya untuk menghasilkan pangan, pakan, energi dan berbagai macam bioproduk. Biomassa yang digunakan sebagai bahan baku pengolahan disebut *feedstock*. Teknik pengolahan yang menggunakan mikroorganisme dan atau biologis disebut proses pengolahan biologis (*bioprocessing*). Proses pengolahan mencakup

ekstraksi, pemurnian, dan konversi. Dengan demikian, kata kunci penanda bioindustri ialah penggunaan biomassa sebagai input (*feedstock*), dan atau penggunaan bioprosesing dalam pengolahan.

Bioindustri tidak sama dengan agroindustri yang sudah lebih luas dan lebih dulu dikenal masyarakat. Agroindustri termasuk dalam bioindustri. Dari segi cakupan bahan baku atau *feedstock*, bioindustri lebih luas dari agroindustri. Agroindustri konvensional hanya menggunakan hasil pertanian sebagai bahan baku, sementara bioindustri menggunakan segala jenis biomassa, biomassa pertanian hanya salah satu jenis *feedstock* bioindustri. Bioindustri juga menggunakan limbah organik pabrik, rumah potong hewan, pasar, rumah makan, dan rumah tangga.

Dari segi pemanfaatan hasil pertanian, bioindustri berorientasi pada pemanfaatan sebesar-besarnya seluruh biomassa hasil pertanian (*agrobiomassa*) sedangkan agroindustri konvensional hanya mengolah sebagian saja dari hasil pertanian. Dengan demikian, bioindustri merupakan kunci untuk meningkatkan nilai tambah hasil pertanian.

Dari segi tujuan, bioindustri senantiasa berorientasi pada nilai tambah sebesar-besarnya dengan menghasilkan beragam produk bernilai tinggi dari *feedstock* biomassa yang digunakan dan dengan dampak lingkungan sekecil-kecilnya. Selain itu, bioindustri berdasarkan pada prinsip berkelanjutan seperti yang akan diuraikan berikut ini. Produksi beragam bernilai tambah tinggi dan dampak lingkungan minimal dapat diwujudkan dengan menerapkan konsep biokilang.

Cakupan jenis fasilitas pengolahan bioindustri sangatlah luas. Agroindustri tradisional seperti pabrik pengolahan tahu, pabrik tepung tapioka, juga termasuk bioindustri. Usaha pembuatan tape merupakan salah satu bioindustri sederhana yang menggunakan biomassa (ubikayu, beras) sebagai bahan baku dan bioprosesing (fermentasi) dalam proses pengolahannya. Biodigester yang menggunakan limbah untuk menghasilkan biogas melalui bioprosesing juga termasuk bioindustri tradisional.

Fasilitas yang mengintegrasikan peralatan dan proses pengolahan biomassa untuk menghasilkan satu atau lebih produk disebut biokilang (*biorefinery*). Konsep biokilang pada prinsipnya sama seperti kilang minyak yang berbasis pada bahan baku fosil. Penciri utama biokilang ialah pengintegrasian lebih dari satu proses pengolahan biomassa untuk menghasilkan lebih dari satu produk akhir.

Biodigester yang menggunakan limbah pertanian untuk menghasilkan biogas saja tidak termasuk definisi biokilang. Namun biodigester yang menghasilkan biogas dan pupuk organik merupakan contoh sederhana biokilang. Pabrik tahu yang hanya menghasilkan tahu saja tidak termasuk biokilang. Namun pabrik tahu yang diintegrasikan dengan biodigester untuk menghasilkan biogas dengan menggunakan limbah pabrik tahu, termasuk salah satu jenis biokilang.

Bioindustri berkelanjutan ialah bioindustri yang memenuhi syarat-syarat kegiatan ekonomi berkelanjutan pada umumnya sebagaimana diuraikan diatas. Ciri utama bioindustri berkelanjutan ialah menerapkan prinsi 3 R: *Reduce* (kurangi), *Reuse*

proses pengolahan kembali atau menggunakan kembali sisa dan limbah dari proses pengolahan lainnya. Sebagai contoh, ongkok sisa pengolahan ubikayu segar menjadi pati dapat diolah menjadi bahan pakan atau biogas. *Ketiga*, biokilang dapat menghasilkan produk yang dapat digunakan sebagai input dalam menghasilkan *feedstock*. Sebagai contoh, sisa dan limbah proses pengolahan ubikayu menjadi pati, termasuk produk ikutan biodigester, dapat diolah menjadi pupuk yang digunakan sebagai input pada usahatani ubikayu.

Oleh karena sifat khusus itulah maka biokilang umumnya dipahami atau didefinisikan secara intrinsik bersifat berkelanjutan. Dengan perspektif ini, biokilang didefinisikan sebagai fasilitas yang mengintegrasikan peralatan dan proses pengolahan biomassa menjadi beragam produk pangan, pakan, energi dan bioproduk secara berkelanjutan. Adanya fasilitas produksi input didalam biokilang yang digunakan sebagai input dalam proses produksi *feedstock* merupakan kunci penciptaan daur ulang hara lahan pertanian. Oleh karena itu pulalah biokilang menjadi komponen esensial dari Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan.

Perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan bahwa bioindustri dibangun dengan prinsip dasar berikut:

1. Memanfaatkan seluruh dan setiap jenis biomassa hasil pertanian. Biomassa dimaksud mencakup seluruh biomassa tanaman (*whole crop*), hewan, dan limbah pertanian. Dengan demikian, pengembangan bioindustri diarahkan untuk perluasan industri pengolahan hasil pertanian (*industry widening*),
2. Berorientasi pada perolehan nilai tambah sebesar-besarnya. Bioindustri tidak berhenti pada pengolahan primer (tahap pertama) tetapi juga berlanjut hingga tahapan (tahap sekunder, tersier, dst) untuk menghasilkan produk akhir spesifik guna, seperti makanan dan obat khusus yang bernilai tinggi. Dengan demikian, pengembangan bioindustri diarahkan untuk pendalaman industri pengolahan hasil pertanian (*industry deepening*),
3. Mandiri atau bahkan surplus energi. Biomassa dapat ditransformasi menjadi energi. Sumber energi prioritas ialah limbah proses pengolahan,
4. Memprioritaskan produksi bahan pangan. Jika terjadi *trade off* antara pangan-pakan-energi-bioproduk maka pilihan pertama ialah pada pangan.

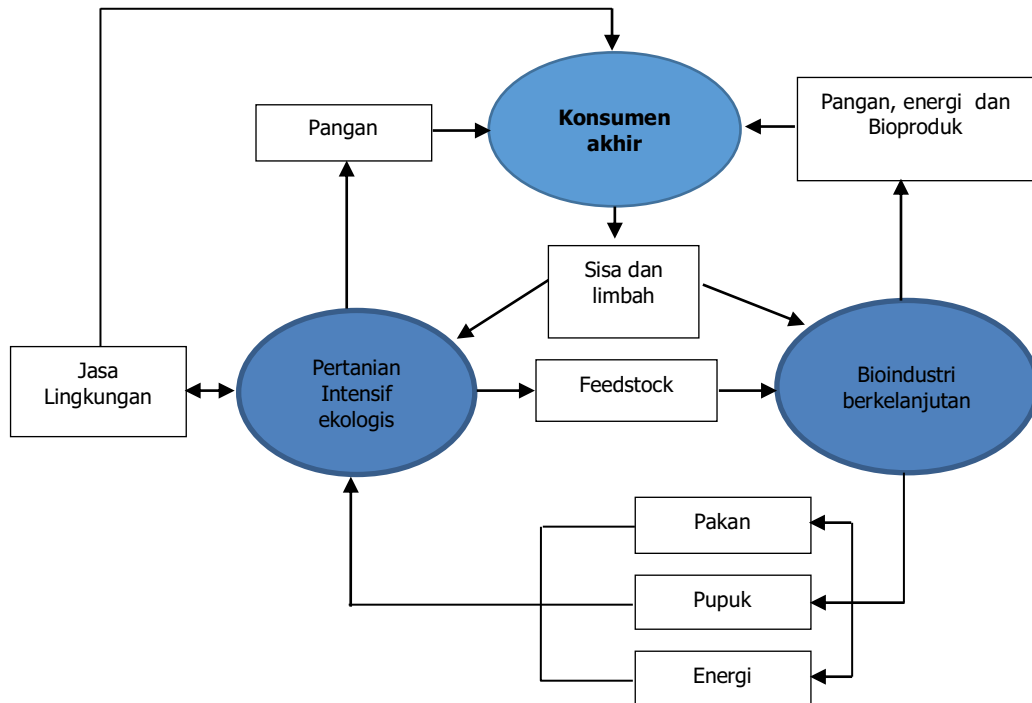
SISTEM INTEGRASI PERTANIAN-BIOINDUSTRI

Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan pada dasarnya ialah integrasi sistem pertanian intensif ekologis (Gambar 4) dengan sistem bioindustri ekologis (Gambar 5). Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan membangun eksplisit interkoneksi antara pertanian yang menghasilkan biomassa, industri pengolah biomassa, pengelolaan limbah, pemanfaatan air, pembangkitan energi, dan pelestarian hara tanah sehingga suatu biosistem terpadu berkelanjutan. Sebagai suatu biosistem,

Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan adalah sistem pendukung kehidupan berbasis aliran dinamis dari materi dan energi dimana limbah dan produk ikutan dari suatu proses menjadi input bagi proses lainnya. Dengan cara demikian maka pangan, pakan, energi dan bioproduk dapat dihasilkan maksimal dengan input hara, air, energi dan sumber daya lain yang minimal, menjaga kelestarian daya dukung dan jasa lingkungan agroekosistem, serta meningkatkan kualitas lingkungan hidup (Kementerian Pertanian, 2014).

Sketsa arsitektur Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan ditampilkan pada Gambar 6. Karakteristik utamanya ialah interrelasi sirkulasi tertutup. Selain menyediakan pangan dan jasa ekologis yang dapat dikonsumsi langsung konsumen akhir, blok pertanian juga menyediakan bahan baku (*feedstock*) bagi blok bioindustri. Aliran kembali dari blok bioindustri ke pertanian mencakup pakan, pupuk dan energi. Produk akhir blok pertanian dan bioindustri disalurkan ke konsumen sementara sisa dan limbahnya di alirkan kembali ke blok pertanian dan blok bioindustri. Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan dirancang dengan ciri-ciri:

1. Meminimalkan penggunaan input dengan menggunakan ulang dan mendaur ulang limbah atau produk ikutan setiap proses kegiatan produksi di dalam sistem,
2. Menjaga aliran materi, khususnya zat hara dan air, sedapat mungkin selalu berada di dalam sistem,
3. Memperlakukan proses produksi dan konsumsi sebagai suatu proses siklus kontinu, bukan proses linier,
4. Mendekatkan dan memperketat konektivitas produksi dan konsumsi untuk meminimumkan kebocoran materi, energi, biaya transportasi, dsb,
5. Memaksimumkan efisiensi proses konversi alami (dekomposisi mikroba dan kaitan rantai pangan) serta retensi hara dan air.



Gambar 6. Arsitektur Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan

PENUTUP

Perspektif Sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan menekankan beberapa perubahan pemikiran mendasar mengenai pertanian. Pertama, perubahan organisme pertanian, dari sebelumnya terbatas tumbuhan dan hewan penghasil komoditas pangan, pakan, dan bahan baku industri menjadi seluruh organisme, termasuk *monera* (algae), *Protista* (bakteri) dan *fungi* (jamur) mikro organis serta hewan non-pangan dan non-bahan baku industri konvensional, seperti cacing, belatung (lalat) penghasil pangan dan biomassa yang bias digunakan *feedstock* bioindustri untuk menghasilkan beragam pangan, pakan, energi dan bioproduk bernilai tambah tinggi, atau dapat digunakan untuk memproses *feedstock* (bioprocessing). Definisi organisme pertanian tidak dibatasi oleh jenis biologisnya tetapi oleh manfaatnya. Oleh karena itu, cakupan mandat komoditas pertanian sebaiknya disesuaikan dari tertutup dan tersekat pada beberapa jenis makroorganisme tanaman dan hewan (tanaman pangan, hortikultura, perkebunan, peternakan konvensional).

Kedua, pertanian bukanlah suatu gangguan terhadap ekosistem melainkan suatu rekayasa ekosistem (agroekosistem) berdasarkan ilmu pengetahuan (agroekologi) yang berorientasi pada penggunaan input eksternal minimal untuk menghasilkan nilai tambah maksimal dengan dampak minimal terhadap kelestarian sumber daya alam dan lingkungan. Untuk itu, pertanian dirancang dengan struktur hayati dengan diversitas hayati fungsional yang tinggi dalam rangka mewujudkan interaksi yang harmonis dan sinergis dalam meningkatkan output yang mencakup bahan pangan, pakan energi, biomassa *feedstock* bioindustri bernilai tinggi dan jasa lingkungan. Dengan demikian paket teknologi pertanian haruslah disesuaikan dari paket monokultur menjadi paket sistem pertanian intensif ekologis.

Ketiga, industri pengolahan pertanian tidak terbatas pada pengolahan sebagian hasil pertanian (misalnya mengolah gabah jadi beras, tepung beras) seperti yang dikenal sebagai agroindustri konvensional, tetapi mencakup pengolahan seluruh biomassa hasil usahatani (misalnya untuk padi tidak mengolah gabah menjadi beras turunannya tetapi juga mengolah sekam menjadi energi, kulit gabah menjadi minyak padi, serta memanfaatkan jerami menjadi media jamur, yang selanjutnya diolah menjadi biogas, pupuk dan media budidaya cacing. Oleh karena itu, cakupan tugas dan tanggung jawab Kementerian sebaiknya diperluas sehingga mencakup pengolahan seluruh biomassa dan limbah hasil pertanian.

Keempat, keterkaitan antara pertanian dan industri pengolahan hasilnya tidak terbatas melalui media materi input-output yang bersifat linier, tetapi juga melalui media energi, dan fungsi ekologis yang bersifat sirkuler. Perspektif sistem Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan berpandangan bahwa integrasi sistem pertanian dan industri pengolahan hasil-hasilnya mestilah dibangun sebagai satu kesatuan rekayasa biosistem. Oleh karena itu, pendekatan pengembangan maupun penelitian pertanian sebaiknya diubah dari pendekatan komoditas ke pendekatan rekayasa biosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Altieri, M. A. 2012. The scaling up of Agroecology: Spreading the Hope for Food Sovereignty and Resilience. SOCLA Rio+20 Position Paper
- Bareja, B.G. 2010. Classification of Agricultural Crops. Crops Review. [http://www.cropsreview.com/Classifications of Agricultural Crops.pdf](http://www.cropsreview.com/Classifications%20of%20Agricultural%20Crops.pdf) ; Diunduh pada 20 juli 2014.
- Bareja, B.G. 2010. So, What is Agriculture? What is the Definition of Agriculture? <http://www.cropsreview.com/what-is-agriculture.html>; 20 juli 2014.
- Grassini, P., K.M.Eskridge, and K.G. Cassman. 2013. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trend. Nature Communication, December: 1-11

- Heong, K.L. 2012. Three planks in ecological engineering for rice pest management. <http://ricehoppers.net/2012/05/three-planks-for-ecological-engineering-for-rice-pest-management/>; Di unduh pada 7 Juni 2014
- Kementerian Pertanian. 2014. Strategi Induk Pembangunan Pertanian 2015-2045: Pertanian-Bioindustri Berkelanjutan, Solusi Pembangunan Indonesia Masa Depan. Biro Perencanaan, Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Millenium Ecosystem Management. 2005. Ecosystem and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, D.C.
- Munck, L. 1990. From Biotechnology to Agriculture, from Biorefineries to Agri-industry: An outline of options for cooperation. In L. Munck and R. Rexen (Eds). *Agricultural Refineries_a bridge from farm to industry*. Department of Biotechnology, Carlsberg Research Centre, Copenhagen, Denmark. Pp.1-29.
- Pingali, Prabhu (2012) "Green Revolution: impacts, limits, and the path ahead". *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)*, Vol. 109, no. 31, July: 123022-12308.
- Pingali, Prabhu (2013) "Green Revolution 2.0 : Addressing the Persistent Challenges of Food and Nutrition Security." Public Lecture, Oregon State University Outreach in Biotechnology, <http://oregonstate.edu/orb/fft/2013/Green-Revolution-2-0> , diakses pada 16 Juni 2014
- Schaller, N. 2013. Agroecology: Different Definitions, Common Principles. Analysis No. 52. Centre for Studies and Strategic Foresight. France.
- Wayne's Word. 1998. The Five Kingdoms Of Life. <http://waynesword.palomar.edu/trfeb98.htm>; Diunduh pada 11 Juni 2014.
- Winarto, Y.T., R. Ariefiansyah and James J. Fox. 2013. Indonesia experiments with sesame in ecological engineering in Indramayu Regency, West Java. <http://ricehoppers.net/2013/08/indonesia-experiments-with-sesame-in-ecological-engineering-in-indramayu-regency-west-java/>; Diunduh pada 29 Agustus 2013.