

# MENATAP MASA DEPAN PENDIDIKAN ILMU HAYATI PASCA PANDEMI

TN Azhar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center RPC Innovation

Email: tauhid.nurazhar@gmail.com

## Abstrak

Sejak kasus pertama infeksi SARS COV-2 diumumkan pada 2 Maret 2020, sampai hari ini kita masih berkuat dengan berbagai program pengelolaan dan pencegahan dampak pandemi, yang hampir semuanya bertumpu pada pendekatan saintifik berbasis ilmu hayati. Belajar dari proses pengelolaan pandemi, dimana aspek prevensi melalui proses vaksinasi dan aspek kuratif melalui pengembangan berbagai model terapi anti virus, imunomodulasi, dan imunoterapi, serta berbagai terapi penunjang lainnya, kita mendapatkan banyak hikmah terkait dengan peran strategis ilmu hayati di masa depan. Pandemi mengajarkan akan arti pentingnya sinergi dan kolaborasi lintas disiplin dalam pengembangan berbagai produk yang digunakan dalam konteks pencegahan dan pengobatan. Kemajuan teknologi informasi dan komunikasi tak dapat dipungkiri telah menghasilkan platform kolaboratif yang terbangun dari konektivitas dan aksesibilitas. Demikian pula perkembangan bioteknologi dan teknik laboratorium yang terintegrasi dengan teknik komputasi telah menghadirkan pendekatan bioinformatika yang dapat menjadi piranti riset multiguna yang sangat bermanfaat, terutama di saat ada tuntutan untuk menghasilkan solusi secara cepat. Berbagai penemuan seperti piranti gene editing yang diperankan oleh CRISPR Cas9 sebagaimana temuan Jennifer A Doudna dan Emmanuelle Charpentier juga memiliki kontribusi besar dalam ranah ilmu hayati terapan di bidang medis, pertanian, peternakan, dan akuakultur. Mengacu pada dinamika yang berkembang dalam pemanfaatan ilmu hayati di masa pandemi, dan perkembangan keilmuan yang teramat pesat, dapat dipertimbangkan perancangan ulang sistem pendidikan ilmu hayati yang kelak dapat dijabarkan dalam bentuk kurikulum dan rencana pembelajaran untuk berbagai model dan tingkat pendidikan. Langkah strategis terkait perumusan sistem pendidikan ilmu hayati dapat diklasifikasikan dalam proses *refocusing*, *reinventing* dan *redesign*. Dimana diharapkan sistem pembelajaran ilmu hayati yang dirumuskan dapat mengakomodir berbagai tuntutan perkembangan zaman, khususnya pasca Pandemi, yang sangat volatil dan dinamis.

**Kata kunci:** bioinformatika, gene editing, pandemi, redesign, refocusing, reinventing, vaksin

## PENDAHULUAN

Pandemi yang mulai melanda Indonesia sejak kasus pertama resmi diumumkan pada 2 Maret 2020 telah membawa banyak perubahan dalam berbagai aspek kehidupan. Untuk mengatasi berbagai keterbatasan dalam pengelolaan pandemi yang disebabkan oleh patogen Sars CoV-2 yang penularannya bersifat *airborne* dibutuhkan beberapa strategi dengan genre multi level dan interdisipliner. Proses testing, tracing, dan treatment yang dikedepankan Pemerintah membutuhkan teknologi yang tepat, beserta ketersediaan dan rantai pasoknya. Demikian pula amat diperlukan kemandirian dalam proses produksi dikarenakan kebutuhan yang terjadi bersifat global sehingga terjadi kelangkaan terhadap alat test, obat, reagen, sampai vaksin.

Inisiatif inovatif dalam pengembangan obat, alat test, dan vaksin terjadi di hampir semua negara di dunia. Sebagai contoh dalam rangka mencari vaksin yang paling efektif

dengan indikator nilai sensitivitas dan spesifisitas terhadap antigen virus, yang diharapkan dapat membantu proses pengenalan, pembentukan memori, perikatan, dan mengaktifasi sistem imun spesifik seperti *Antibody Dependent Cell Cytotoxicity*, dilakukan berbagai terobosan termasuk melalui proses *reverse engineering*. Sebagai contoh, teknologi vaksin mRNA adalah hasil invensi peneliti Drew Weissman dan Katalin Kariko yang karena pandemi langsung digunakan oleh Moderna dan Pfizer untuk membuat vaksin Covid-19 yang efektif dan memiliki nilai proteksi tinggi. (Yu Ting, 2021). Tak hanya itu saja, berbagai inovasi dalam hal pengujian atau diagnostika, alat kesehatan, dan juga sediaan obat, gencar dilakukan sebagai bagian dari upaya mencari solusi paling optimal yang dapat dilakukan.

Pandemi telah mengajarkan banyak hal tentang pengembangan sistem riset terapan, kajian biosains seperti virologi dan mikrobiologi, yang beririsan dengan disiplin ilmu lain seperti epidemiologi, kedokteran klinik, dan sistem pengambilan keputusan atau kebijakan publik. Berangkat dari kondisi tersebut, pengembangan sistem pendidikan biologi atau ilmu hayati tampaknya perlu dilakukan agar dapat bersifat adaptif, berdayaguna tinggi, dan dapat menjadi dasar proses pencarian solusi secara saintifik. Tak kalah pentingnya adalah merancang kurikulum pendidikan ilmu hayati yang dapat mengakomodir dinamika perubahan dengan tetap mengedepankan bioetika dan *biosafety*, serta dapat mengembangkan *conformity assessment* mengingat akan banyak laboratorium berteknologi tinggi dengan genre fungsi campuran yang memerlukan standarisasi, akreditasi, dan kalibrasi untuk alat dan teknologi yang diinstalasi di dalamnya.

## **KAJIAN TERKAIT INOVASI BIOSAINS DI MASA PANDEMI**

Pandemi yang dipantik patogen berupa virus Sars CoV-2 telah memberikan dampak multidimensi yang terjadi secara global dan menghadirkan sebuah tatanan baru atau konstelasi sistem yang merupakan hasil transformasi adaptif dari peradaban yang mengalami perubahan. Tingginya tingkat virulensi dan mortalitas dari virus yang memiliki mekanisme penularan secara airborne ini telah mendorong inisiatif inovatif dalam platform kolaboratif yang menghasilkan akselerasi dalam pengembangan berbagai teknologi yang berdayaguna dalam proses tatalaksana pengelolaan pandemi yang terjadi.

Berbagai metoda diagnostik dikembangkan dari *platform* eksisting yang telah banyak digunakan seperti pemeriksaan RT-PCR. Sejalan dengan itu berkembang pula berbagai penerapan teknologi *avant garde* seperti *Surface Plasmon Resonance* dan identifikasi *volatile organic compound* melalui hidung elektronik (e-Nose) sebagai metoda diagnostik alternatif. Tentu tak hanya riset dan pengembangan sistem di ranah diagnostik saja yang berkembang pesat selama masa pandemi, teknologi di ranah preventif dan kuratif pun terus dikembangkan secara simultan secara multisenter dengan dukungan konektivitas yang dapat terjadi karena adanya infratraktur teknologi informasi yang memadai.

Desain obat dan vaksin terakselerasi dengan sangat luar biasa. Semua genre vaksin, mulai dari yang berjenis inactivated virus sampai vaksin berteknologi hayati garda depan seperti vaksin protein sub unit, mRNA, dan dendritik juga dikembangkan dalam tempo yang relatif sangat singkat. Jejaring kolaborasi yang dipantik tekanan kondisi dan situasi

yang membutuhkan kerjasama lintas sektoral bahkan lintas negara telah melahirkan model-model kerjasama baru dan integrasi berbagai disiplin ilmu dalam sebarang orkestrasi sinergi.

Integrasi lintas disiplin antara lain maujud dalam penerapan kecerdasan artifisial dalam konteks epidemiologi seperti prediksi ledakan kasus, pemetaan daerah rawan, sampai dengan analisis citra medik terpandu. Selain itu tentu saja penerapan kecerdasan artifisial telah memberi sumbangsih secara bermakna pada pengembangan riset obat, vaksin, dan identifikasi potensi khasiat bahan alam yang berbasis bioinformatika. Penelusuran dan pengujian secara *in silico* mendapat catudaya simulasi yang sangat luar biasa dari penerepaan kecerdasan artifisial yang dapat membantu pengenalan pola dan mengkaji hubungan sebab akibat secara regresi linier dan non linier.

Berdasar kajian di atas tampak adanya perseggeseran (shifting) pola riset dan bentuk kerjasama yang melahirkan berbagai media akselerator riset yang bersifat adaptif dan fleksibel terhadap tuntutan situasi dan kondisi, dalam hal ini kejadian pandemi.

## **KAJIAN KASUS DAN PENGALAMAN BERBASIS DATA**

Pengalaman tergabung dalam Task Force Riset dan Inovasi Teknologi untuk Covid-19 di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi RI yang bertransformasi menjadi Badan Riset dan Inovasi Nasional, telah memberikan banyak pengayaan terhadap wawasan penerapan teknologi biomedis dan bioteknologi untuk mengantisipasi dinamika berbagai kondisi di masa depan.

### **Pengembangan Metoda dan Alat Diagnostik**

Metoda diagnostik dan alat tes yang cepat dan akurat adalah salah satu elemen kunci dalam pengendalian wabah yang disepakati secara epidemiologi akan mengedepankan prinsip dasar 3 T: *testing, tracing*, dan *treatment* atau dalam bahasa Indonesia baku: tes atau uji, telusuri, dan terapi.

- a. Pengembangan rapid test antigen dengan metoda *lateral low* berprinsip *chromatographic immunoassay*, dimana target antigen untuk menjadi pemandu anti bodi melakukan perikatan diambil dari basis data protein virus Sars CoV-2 yang terdiri dari 16 non struktural protein dan 4 struktural protein, yang terdiri atas protein spike (S), envelope (E), membrane (M), dan nucleocapsid (N) (Cui dkk, 2019).
- b. Pengembangan kit RT-PCR mBioCoV-19 dengan desain primer yang saat ini menyasar gen Helicase dan RdRP pada virus Sars CoV-2 (Wan dkk, 2020).
- c. Pengembangan *Mobile Laboratory Biosafety Level-2+* dengan building automation system, sensor keamanan, dan instrumen laboratorium lengkap mulai dari ekstraktor RNA sampai unit thermal cycler. (Lubis dkk, 2021)
- d. Pengembangan sistem diagnostik citra medis dan sistem analisis resiko berbasis kecerdasan artifisial dengan menggunakan *machine learning* untuk membantu penegakan diagnosa dari citra foto *thorax* pasien *suspect* Covid, dan menggunakan *Knowledge Growing System* atau KGS untuk menganalisis faktor kerentanan dan resiko di tingkat populasi.

- e. Pengembangan metoda diagnostik virus berbasis prinsip *Surface Plasmon Resonance*. Dimana secara definisi *Surface Plasmon Resonance* adalah metoda uji sampel biologis dengan menggunakan sensor optik yang memanfaatkan gelombang plasmon permukaan untuk mengamati interaksi antara permukaan logam (emas, perak) dan material dielektrik atau antar biomolekul sebagai medium sensing.
- f. Pengumpulan data genom patogen dengan menggunakan metoda *Whole Genome Sequencing* yang disupport oleh teknologi Illumina. Data yang didapat adalah referensi penting dalam proses perancangan vaksin, obat, dan alat diagnostik yang tepat.
- g. Pengembangan Sistem Informasi Zoonosis dan *New Emerging Disease*, yaitu peta epidemiologi yang menggambarkan berbagai faktor yang berkontribusi terhadap potensi berkembangnya suatu penyakit dengan vektor hewan dan penyakit yang dipengaruhi kondisi lingkungan. Konsep dasar sistem informasi ini adalah prinsip *One Health Policy*.
- h. Pengembangan kit uji titer antibodi *Receptor Binding Domain* (RBD) dengan metoda semi kuantitatif berbasis *lateral flow immunoassay* (LFIA) yang dibutuhkan untuk menilai efektifitas vaksinasi dan *booster*; serta data paparan virus pada kelompok masyarakat tertentu (Riza , 2021).
- i. Pengembangan alat kesehatan untuk kondisi kedaruratan saluran nafas, *emergency ventilator* yang amat dibutuhkan sabagai alat bantu penunjang kehidupan, terutama di saat awal pandemi.
- j. Pengembangan *Direct Digital Radiography* sebagai alat bantu diagnostik berbasis citra yang dapat bersifat *mobile* dan dapat diintegrasikan dengan sistem analisa berbasis kecerdasan artifisial.
- k. Memfasilitasi edukasi terkait penggunaan teknologi plasma dingin (Zeta Green Undip) sebagai sterilisator ruangan.
- l. Pengembangan proses pengujian efektivitas sistem Bus *Biosmart* karya Undip dan Karoseri Laksana dengan menerapkan uji tantang mikroba dan evaluasi sistem sirkulasi udara melalui uji asap.
- m. Perancangan desain rumah sakit kereta api (Railway Hospital) dengan pendekatan *biological safety* dan menerapkan implementasi teknik biomedik secara terintegrasi.
- n. Penyiapan dataset mikroba untuk proses analisis berbasis sistem kecerdasan artifisial yang ditujukan untuk mencari berbagai potensi farmaseutikal dari sediaan yang dikumpulkan dari berbagai pelosok Nusantara. dataset yang bersumber dari 2900 lebih data koleksi tanaman obat Indonesia yang telah dikoleksi BPPT. Dataset ini telah dilengkapi dengan data kandungan senyawa fitokimia, struktur 2D (dua dimensi) dan struktur 3D (tiga dimensi), data SMILE, data hasil molecular docking atau data energi ikatan yang diperoleh dari penambatan molekul terhadap target reseptor antivirus Sars CoV-2, serta data fisikokimia dari masing masing senyawa tersebut. Dataset ini merupakan dataset *Artificial Intelligence* yang selanjutnya dapat menjadi data input untuk algoritma *machine learning* dan model aplikasi untuk membuat prediksi potensi senyawa dari tanaman obat untuk indikasi antivirus.

## **BELAJAR DARI PANDEMI**

Pandemi dan pengelolaannya serta dinamika yang terjadi di dalamnya membuka wawasan kita tentang perlunya pendekatan baru yang bersifat kolaboratif-integratif dalam mengonstruksi solusi yang komprehensif. Keterbatasan pada kapasitas laboratorium dan sumber daya, alat kesehatan, serta belum tersedianya vaksin dan obat di tahap-tahap awal Pandemi, mengingatkan kita akan arti pentingnya konsep *national health security*. Dimana ketahanan kesehatan berhubungan dengan kemandirian penguasaan teknologi berbasis riset dan ketersediaan sumberdaya yang dapat dioptimalkan utilitasnya saat dibutuhkan. Selain itu diperlukan model komunikasi lintas disiplin yang dapat mengintegrasikan berbagai kapasitas akademik sehingga menjadi perancah bagi terbangunnya platform kerjasama riset terapan lintas disiplin. Tidak hanya di ranah riset saja sebenarnya, melainkan juga di platform sistem pengambilan keputusan dalam pengelolaan Pandemi yang semestinya bersifat lintas sektoral dan dapat mengoptimasi segenap sumber daya yang tersedia.

Belajar dari kondisi Pandemi tersebut, pendekatan yang secara objektif dapat memberikan hasil terukur serta sesuai dengan sasaran adalah dengan menginisiasi sebuah ekosistem riset dan inovasi teknologi terpadu. Dimana peta jalan dan design thinking beralgoritma menuju solusi terintegrasi menjadi pandu dalam merancang berbagai kegiatan riset dan *reverse engineering* dalam rangka mengakselerasi terciptanya solusi dan alih teknologi. Peran *Sandbox* dan *Regulatory Sandbox* menjadi krusial, karena dapat menjadi tempat pengujian kelaikan dan compliance dari suatu produk inovasi secara cepat dengan tetap taat atas dan mengedepankan objektivitas penilaian sesuai dengan regulasi dan standar global yang menjadi acuan. *Sandboxing* beberapa produk inovasi unggulan adalah keniscayaan yang diperlukan agar pemenuhan kebutuhan yang sangat tinggi akan produk inovasi dapat terpenuhi dengan tetap mengedepankan aspek kelayakan, keamanan, dan keselamatan pengguna produk.

## **PERKEMBANGAN RUMPUN ILMU HAYATI DI MASA DEPAN**

Belajar dari pandemi dan berbagai upaya dalam mengelolanya, terlihat bahwa integrasi keilmuan adalah suatu keniscayaan di masa depan. Begitu pula tuntutan riil seiring dengan dinamika yang berkembang akan menempatkan ilmu hayati sebagai garda depan peradaban. Pasca Pandemi, patogen dan wabah akan menjadi pusat perhatian. Demikian juga upaya akuisisi pengetahuan baru dalam pengembangan vaksin dan obat akan memantik eksplorasi berkelanjutan di bidang bioteknologi dan teknik biomedik.

*Shifting* yang terjadi di ranah ilmu hayati banyak dipengaruhi oleh perkembangan di berbagai disiplin ilmu yang merupakan bagian dari elemen dalam ekosistem riset yang terintegrasi. Mulai dari peran komputasi dalam konteks bioinformatika sampai ilmu material dalam menunjang berbagai riset dalam ranah hayati adalah suatu keniscayaan yang bahkan sudah terjadi di saat pandemi. Khusus di bidang bioteknologi dan ilmu biomedik kegiatan seperti pemetaan secara menyeluruh dari genom serta pendekatan *multiomics* yang menyediakan berbagai level data yang sangat penting dalam merancang biomarker, genome editing, genetic modification, sampai desain struktur obat presisi akan

dapat dilakukan dan akan mendorong terjadinya triple shifting dalam jeda waktu singkat. Dimulai dari perubahan paradigma dalam orientasi pelayanan kesehatan berdasar symptom atau gejala yang bersifat generik, ke pendekatan berbasis riset translasional.

Pendekatan *translational medicine* mengedepankan pembuktian ilmiah dari berbagai hasil riset biologis dalam membangun suatu model penyakit. Data molekular didapatkan dari pemeriksaan multiomics dan dapat menghasilkan *molecular biomarkers* dan endotipe penyakit. Sedangkan pada shifting berikutnya ranah kajian sudah memasuki permodelan data terintegrasi yang meliputi hasil pemetaan genomik. Sementara secara paralel dalam ranah agrikultur dan mikrobiologi terdapat perkembangan yang sangat signifikan pasca penemuan teknik identifikasi DNA oleh trio Watson-Crick-Franklin.

Tentu perjalanan dalam mengeksplorasi berbagai aspek genetika makhluk hidup sudah dimulai jauh sebelum itu. Sudah sejak era Antonie Van Leeuwenhoek, Louis Pasteur, Edward Jenner, Gregor Mendel, Walther Flemming, dan berbagai terobosan di setiap tahapannya menghantarkan ilmu genetika berkembang sejauh ini. Tetapi memang milestone terjadi saat struktur DNA dapat dipetakan dan mekanisme gene editing melalui mekanisme gunting molekular CRISPR Cas9 ditemukan oleh Charpentier dan Doudna pada 2020. (Ledford H and Callaway E, 2020).

Pemetaan mikroba berbasis profil genetika telah membuka wawasan baru dan lahirnya konsep *holobiont*. Hubungan simbiotik antar makhluk hidup termasuk manusia mulai memasuki ranah baru dan peran interaksi serta distribusi fungsi membawa pemahaman baru tentang konsep hidup dan kehidupan. Saat ini dikenal definisi dan klasifikasi mikrobioma dan holobion mulai dari probiotik, prebiotik, simbiotik, postbiotik, nutribiotik, dan farmabiotik. Keseluruhan konsep tersebut menghadirkan konsep baru metagenomik. Seiring dengan berkembangnya pendekatan epigenetik dan nutrigenomik. Kemampuan dan kapasitas pemetaan gen melalui WGS dan NGS telah membawa banyak terobosan pada profiling genetik yang secara multi aspek juga memberi dampak signifikan pada berbagai pendekatan, termasuk di ranah genealogi dan paleoantropologi.

Penelitian asal-usul dengan haplotip maternal dan identifikasi haplogrup telah dapat menelusuri asal-usul genetika suatu populasi. Juga profil gen yang bertanggungjawab pada proses metabolisme dan sistem imunitas manusia. Maka pendekatan dalam ranah biomedik kesehatan bergeser menjadi precision medicine seperti yang telah digagas *Digital Transformation Office* atau DTO Kemenkes.

## **USULAN PENGEMBANGAN PENDIDIKAN RUMPUN ILMU HAYATI DI MASA DEPAN**

### ***Refocusing***

Pendekatan program pendidikan terintegrasi saat ini menjadi keniscayaan yang tercipta karena adanya dukungan teknologi, khususnya terkait dengan konektivitas dan pengelolaan data. Sebagaimana jamaknya pendidikan ilmu-ilmu dasar dari tingkat dasar sampai pascasarjana adalah bagian fundamental dari konstruksi ilmu pengetahuan yang bermuara pada lahirnya teori yang menjadi acuan atau referensi dan teknologi terapan

yang berdayaguna bagi masyarakat, lingkungan, dan berperan dalam membangun peradaban. Sebagai contoh pendekatan pangan fungsional, penataan kawasan berdasarkan biodiversitas, interaksi, dan keseimbangan fungsi dalam ekoregion, sampai penemuan metoda pengobatan presisi serta mekanisme prevensi dengan melakukan intervensi secara genetika adalah contoh nyata ilmu yang telah menjadi katalis perubahan.

Model pembelajaran berorientasi pada siswa, berbasis masalah, terintegrasi, mengakuisisi kondisi komunitas, sejak dini diperkenalkan pada konsep lintas disiplin yang bermanfaat dalam memberikan kemampuan mengembangkan berbagai inovasi, serta terstruktur sesuai dengan tahapan perkembangan secara psikologis. Untuk itu refocusing pendidikan ilmu hayati dapat diawali dengan perumusan tujuan pendidikan dengan mengacu kepada pendekatan lintas disiplin yang dapat mengakomodir model OBE (*outcome based education*) dan *integrated learning* yang berorientasi pada peningkatan atau amplifikasi kebermanaatan rumpun ilmu dalam konsep teoritik dan terapan. Untuk itu dapat dipertimbangkan untuk diterapkannya pemahaman tentang *design thinking* pada peserta didik di pendidikan ilmu hayati, yang bertujuan untuk membuka wawasan berpikir terkait pendekatan integratif lintas disiplin yang berorientasi pada solusi. (Riza, *et al.*, 2021).

Secara fundamental *design thinking* terdiri dari 3 elemen utama yaitu: *inspiration*, *ideation*, dan *implementation*. Inspirasi untuk mengembangkan kurikulum bisa didapatkan dari mengikuti perkembangan lintas disiplin antara lain melalui riset-riset kolaboratif, selain menambah wawasan kepustakaan. Belajar dari situasi pandemi yang membutuhkan pendekatan lintas disiplin untuk mengakselerasi pengembangan produk inovasi sebagai bagian dari solusi, maka wajar jika program pendidikan ilmu hayati di masa depan dapat mengakomodir tuntutan kebutuhan riil dan memasukkan berbagai topik pembelajaran dan riset yang bermuara pada pendekatan lintas disiplin.

Untuk menilai keberhasilan program pendidikan dengan genre akomodatif kolaboratif tersebut dapat diterapkan pendekatan *Design Research Science* dengan elemen artefak, model, dan proses penerapannya. Dimana artefak yang didapatkan dapat menjadi tolok ukur objektif dalam menilai keberhasilan suatu program saat dijalankan atau diterapkan.

### ***Reinventing***

Menemukan kembali esensi dari ilmu hayati yang telah mengalami dinamika perubahan dari era organisme tunggal sampai ke era genomik.

### ***Redesign***

Perlu pengembangan secara sistematis dalam mengintegrasikan irisan antar sub disiplin ilmu hayati seperti biologi molekuler, ekologi, neurobiologi, sampai biomaterial. Irisan sub disiplin akan beririsan dengan pendekatan lintas disiplin. Pendekatan seperti *neuromorphic engineering* atau *computing* adalah contoh nyata mimicking sistem elektronik yang mengacu kepada fungsionalitas jejaring biologis. Untuk itu diperlukan suatu pendekatan kurikulum yang memberi ruang untuk membangun platform integrasi antar disiplin yang dapat berjalan secara multi level.

Model pembelajaran *inquiry* dan kooperatif yang disintesakan dengan pendekatan

*project based* diharapkan akan dapat mengakomodir kebutuhan dalam pengintegrasian konten lintas disiplin, problem solving, dan melatih ketrampilan laboratorik berbasis kebutuhan riset, sehingga dapat menghasilkan peserta didik yang memiliki kemampuan komprehensif.

Konsep *cloud laboratory* dan kelas virtual diharapkan dapat menjadi implementasi proses *redesign* sistem dan model pembelajaran ilmu hayati di masa depan. Silabus dan RPS lintas disiplin membutuhkan ruang kelas virtual yang bersifat independen dengan mengakomodir filosofi *flexible learning arrangement*, dimana peserta didik dan narasumber, mentor, ataupun perseptor dapat berasal dari mana saja (*the freedom of learning*).

## KESIMPULAN

Pelajaran penting dari pandemi adalah terbukanya fakta perlunya pendekatan lintas disiplin dalam suatu ekosistem riset kolaboratif yang dapat mengkatalisa akselerasi proses invensi solusi. Baik itu yang bersifat penemuan baru ataupun produk substitusi dengan nilai tambah tertentu. Untuk itu diperlukan wawasan keilmuan baru yang idealnya didukung oleh sistem dan model pendidikan yang bersifat akomodatif dan adaptif terhadap dinamika perubahan yang menjadi tuntutan jaman. Perlu diperhatikan juga bahwa tantangan di masa yang akan datang akan banyak bersumber dari aspek hayati, dan tentu saja hanya dapat diselesaikan dengan pendekatan ilmu hayati yang juga tepat. Persoalan pandemi sedikit banyak diakibatkan oleh gangguan keseimbangan ekosistem seiring dengan masifnya alih guna dan fungsi peruntukan yang mendorong terjadinya perubahan karakter patogen, vektor, dan mekanik transmisinya. Belum lagi perubahan gaya hidup dan masalah pasokan kebutuhan pangan yang akan memerlukan pendekatan intensifikasi dan ekstensifikasi yang pada gilirannya akan membutuhkan penerapan ilmu hayati, mulai dari bioteknologi sampai ke bioetika. Untuk itu tentu diperlukan sistem pendidikan ilmu hayati yang mumpuni dan dapat berkontribusi optimal dalam upaya penyelesaian masalah kemanusiaan dan kesemestaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ding, Q. et al., (2013), *A TALEN genome-editing system for generating human stem cell-based disease models*, Cell Stem Cell 12, 238–251.
- Cui, J., F. Li, Z.-L. Shi, (2019), Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nat. Rev. Microbiol.* 17, 181–192.
- Lubis TA dkk., (2021), *Rancang Bangun dan Rekayasa Mobile Laboratory Biosafety Level (BSL) 2.*, BPPT Prees, Indonesia.
- Ledford H., and Callaway E., (2020), *Pioneers of revolutionary CRISPR gene editing win chemistry Nobel*, Nature.
- Marraffini, L.A., and E.J. Sontheimer., (2010), *CRISPR interference: RNA-directed adaptive immunity in bacteria and archaea*, Nature Rev. Genet, 11: 181–190.
- Riza H dkk., (2021), *Inovasi Teknologi Melawan COVID-19*, Tempo, Indonesia.
- Wan, Y., J. Shang, R. Graham, R. S. Baric, F. Li, (2020), *Receptor recognition by the novel coronavirus from Wuhan: An analysis based on decade-long structural studies of SARS coronavirus*. J. Virol. 94, e00127-20.
- Yu. Ting (2021), How Scientists (MED'87, GRS'87) and Developed the Revolutionary

mRNA Technology inside COVID Vaccines, Bostonia. US.

Zhang Y.Z. and E. C. Holmes, (2020), *A genomic perspective on the origin and emergence of SARS-CoV-2*. Cell 181, 223–227.