

BOOK CHAPTER

STEM (SCIENCE, TECHNOLOGY ENGINEERING, AND MATHEMATIC) DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI



Dr. Marheny Lukitasari, S.P., M.Pd
Dr. Waris, M.Kes
Dr. drh. Cicilia Novi Primiani, M.Pd
Mohammad Arfi Setiawan, S.Si., M.Pd
Wachidatul Linda Yuhanna, S.Pd., M.Si
Trio Ageng Prayitno, S.Pd., M.Pd
Nuril Hidayati, S.Pd., M.Pd
Hardani, S.Pd., M.Si
Pujiati, S.Si., M.Si

STEM (SCIENCE, TECHNOLOGY ENGINEERING, AND MATHEMATIC)
DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI

Dr. Marheny Lukitasari, S.P., M.Pd, dkk

Penerbit UNIPMA Press

Universitas PGRI Madiun
Jl. Setiabudi No. 85 Madiun Jawa Timur 63118
E-Mail: upress@unipma.ac.id
Website: kwu.unipma.ac.id

ISBN 978-623-6318-55-3



9 786236 318553



BOOK CHAPTER

STEM DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI

Dr. Marheny Lukitasari, S.P., M.Pd.

Dr. Waris, M.Kes.

Dr. drh. Cicilia Novi Primiani, M.Pd.

Mohammad Arfi Setiawan, S.Si., M.Pd.

Wachidatul Linda Yuhanna, S.Pd., M.Si.

Trio Ageng Prayitno, S.Pd., M.Pd.

Nuril Hidayati, S.Pd., M.Pd.

Hardani, S.Pd., M.Si.

Pujiati, S.Si., M.Si.

Editor: Dr. Akhmad Sukri, M.Pd.



UNIPMAPress
WE GOT IT

BOOK CHAPTER

STEM DALAM PEMBELAJARAN BIOLOGI

Penulis:

Marheny Lukitasari, Waris, Cicilia Novi Primiani,
Mohammad Arfi Setiawan, Wachidatul Linda Yuhanna,
Trio Ageng Prayitno, Nuril Hidayati, Hardani, Pujiati

Editor:

Dr. Akhmad Sukri, M.Pd.

Perancang Sampul:

Zainal Arifin, S.Pd.

Penata Letak:

Tim Kreatif UNIPMA Press

Cetakan Pertama, Januari 2022

Diterbitkan Oleh:

UNIPMA Press Universitas PGRI Madiun
Jl. Setiabudi No. 85 Madiun Jawa Timur 63118
E-Mail: upress@unipma.ac.id
Website: kwu.unipma.ac.id
Anggota IKAPI: No. 207/Anggota Luar Biasa/JTI/2018

ISBN: 978-623-6318-55-3

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang
All right reserved

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, yang telah menganugerahkan RahmatNya, sehingga *book chapter* telah dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan buku ini merupakan hasil penulisan oleh tim penulis yang berasal dari berbagai Perguruan Tinggi. Tim penulis buku ini terdiri dari penulis kolaborasi dan penulis tunggal, dengan rumpun ilmu biologi dan pendidikan biologi. Tim penulis berasal dari Universitas PGRI Madiun, Universitas PGRI Argopuro Jember, IKIP Budi Utomo Malang, dan Politeknik Medica Farma Husada Mataram. Buku ini berisi tentang kumpulan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis. Tim penulis mempunyai pengalaman di bidangnya yang telah dituangkan dalam penelitiannya.

Book chapter ini merupakan pembahasan mengenai pengembangan kearifan lokal yang diaplikasikan dalam pembelajaran. Buku ini dilengkapi dengan uraian data-data hasil penelitian yang telah dikemas dalam kegiatan pembelajaran. Kegiatan pembelajaran diimplementasikan dari hasil penelitian sebagai pembelajaran berbasis pengetahuan, teknologi, dan seni yang sering disebut sebagai STEM (*Science, Technology Engineering, and Mathematic*). Pembelajaran berbasis STEM dikemas secara menyeluruh, berkaitan satu sama lain sebagai pola pemecahan masalah.

Pembelajaran STEAM mempunyai beberapa manfaat, sehingga konsep pembelajaran STEAM menjadi penting pada metode pembelajaran ini, manfaat tersebut adalah: 1) Mengajarkan berpikir kritis, 2) Membantu menghilangkan penghambatan ide-ide, 3) Fokus pada proses yang membantu mengarah pada inovasi, 4) Mengajarkan kekuatan dari observasi dari lingkungan sekitar. Buku ini dapat digunakan sebagai bahan referensi pembelajaran bagi mahasiswa dan sebagai referensi bagi dosen dan peneliti yang akan mengembangkan penelitian selanjutnya.

Madiun, 15 Desember 2021
Editor

PENDAHULUAN

Pembelajaran berbasis potensi kearifan lokal salah satu implementasi apresiasi terhadap potensi lokal. Penggalian dan pemanfaatan potensi lokal memang sangatlah perlu dilakukan untuk memberikan bekal kepada generasi penerus bangsa. Lingkungan alam sekitar merupakan sumber belajar kontekstual yang mudah dipahami. Mengenalkan potensi kearifan lokal pada generasi muda, dapat mengembangkan potensi dan kepercayaan diri serta kebanggaan pada tanah air Indonesia. Peserta didik baik siswa maupun mahasiswa dapat lebih aktif dalam mengembangkan kompetensi yang dimiliki, baik pengetahuan, sikap, maupun keterampilan. Hal inilah sebagai karakter dalam pembangunan bangsa yang berkelanjutan.

Pembahasan dalam *book chapter* ini meliputi 7 bagian yang merupakan kumpulan naskah dari penulis dengan bidang keahlian dalam rumpun biologi dan pendidikan biologi. Setiap bab disajikan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh masing-masing penulis. Penelitian yang dilakukan masing-masing tim penulis merupakan eksplorasi kearifan lokal. Data hasil penelitian dikembangkan dalam pembelajaran dengan konsep *Science, Technology Engineering, and Mathematic* (STEM). Pembelajaran STEM merupakan platform yang dapat dipergunakan untuk mendorong keterampilan berpikir kritis mahasiswa.

Bagian 1 membahas mengenai pembelajaran botani tumbuhan rendah yang meliputi prinsip taksonomi, sistem klasifikasi, identifikasi, pergiliran keturunan, cara perkembangbiakan dan deskripsi tentang penggolongan penamaan ilmiah pada tumbuhan rendah (*Cryptogamae*) serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Bahasan dalam *Cryptogamae* meliputi: algae, fungi, *lichenes*, lumut, dan tumbuhan paku dengan keterkaitannya dalam bidang pendidikan, nilai praktis, ekonomis dan kewirausahaan. Pembelajaran botani tumbuhan rendah dikemas dalam pembelajaran berbasis proyek. Pembelajaran proyek secara nyata berdampak pada meningkatnya kemampuan berpikir kritis mahasiswa.

Bagian 2 menjelaskan mengenai hasil penelitian penggunaan teratogen diazepam terhadap malformasi kongenital fetus (*cleft lip dan cleft palate*), dengan objek penelitian hewan coba tikus (*Rattus norvegicus*). Hasil penelitian menunjukkan adanya malformasi kongenital, anomali kongenital, dan cacat lahir. Hasil penelitian ini dikemas dalam pembelajaran dengan pendekatan STEM yang menekankan keterampilan berpikir tingkat tinggi

atau *Higher Order of Thinking Skill (HOTS)* dan merupakan pembelajaran yang menerapkan model *Problem Based Learning (PBL)* atau *Project based Learning (PjBL)*.

Bagian 3 pada buku ini membahas keberagaman senyawa isoflavon yang ditemukan pada tumbuhan Leguminoceae. Tumbuhan legume merupakan kelompok tumbuhan kacang-kacangan dengan banyak spesies yang data dijumpai. Potensi senyawa isoflavon menyerupai hormon estrogen. Hasil penelitian ini dapat diimplementasikan dalam pembelajaran pada matakuliah Fisiologi Hewan atau Embriologi Hewan. Tumbuhan legume dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar, sehingga karakteristik tumbuhan legume serta manfaatnya dapat dikenal secara luas. Pengembangan sumber belajar berbasis penelitian (*discovery inquiry*) kearifan lokal tumbuhan legume merupakan upaya meningkatkan berpikir kritis dan pengembangan konsep metodologis.

Bagian 4 membahas mengenai pembelajaran pada perkuliahan Zoologi Vertebrata sampai saat ini pada masa pandemi Covid-19 dengan pembelajaran daring adanya permasalahan yang meliputi 4 aspek yaitu pemenuhan infrastruktur, pemenuhan bahan ajar, model pembelajaran dan media pembelajaran. Kebutuhan belajar mahasiswa menjadi prioritas utama yaitu buku referensi, internet dan kuota, buku panduan praktikum, kamus nama ilmiah, bahan ajar dan *e-learning*. Pada bab empat ini membahas adanya solusi dalam permasalahan pembelajaran Zoologi Vertebrata secara daring, dengan adanya integrasi buku ajar dengan penggunaan platform *e-learning*. Inovasi ini dapat membantu mahasiswa belajar dan memenuhi *learning outcome* yang diharapkan. Buku ajar Zoologi Vertebrata diintegrasikan dengan platform eL-ZOOTA.

Bagian 5 menjelaskan hasil penelitian tumbuhan zodia (*Evodia suaveolens*) merupakan tumbuhan asli Indonesia dari Papua. Hasil penelitian potensi tumbuhan ini telah dibuktikan adanya keragaman minyak atsiri, flavonoid, alkaloid, saponin dan tannin. Keragaman senyawa kimia ini telah dibuktikan mampu melakukan penghambatan terhadap bakteri *P. aeruginosa* yang ditunjukkan adanya diameter zona hambatan. Tumbuhan zodia sebagai tumbuhan asli Papua kurang banyak dikenal oleh siswa atau mahasiswa. Salah satu cara pengenalannya melalui pembelajaran khususnya di Perguruan Tinggi, terutama pada matakuliah Botani, Fisiologi Tumbuhan maupun Mikrobiologi. Desain pembelajaran hasil penelitian tumbuhan zodia dapat dilakukan dengan pemecahan kasus (*case method*) mestimulasi peserta didik untuk memecahkan sebuah kasus, menemukan solusi masalah, membuat rancangan solusi yang direkomendasikan, menguji

rancangan solusi yang telah ditetapkan, dan memberikan keputusan solusi yang tepat atas kasus yang ditemukan.

Bagian 6 merupakan penjelasan hasil observasi berbagai senyawa bioaktif tumbuhan endemik Nusa Tenggara Barat (NTB). Berbagai tumbuhan yang berhasil diobservasi antara lain adalah garu (*Dysoxylum densiflorum*), kurut (*Dysoxylum caulostachyon*), klokos udang (*Syzigium javanica*), klicung (*Dyospyros macrophylla*), buaq odak (*Planchonella notida*), babadotan (*Ageratum conyzoides*), *centella asiatica*, daun dewa (*Gynura procumbens*), sembung (*Blumea balsamifera*), pecut kuda (*Stachytarpheta jamaicensis*), kanyeling (*Phyllanthus* sp.). Keragaman tumbuhan endemik NTB ini dapat dikemas sebagai sumber belajar Botani dan Fisiologi Tumbuhan. Siswa dan mahasiswa kurang mengenal dan memahami karakteristik tumbuhan endemik NTB, sehingga pengenalan dalam pembelajaran sangatlah diperlukan, dalam usaha pelestariannya.

Bagian 7 menjelaskan tentang teknologi mikroba dalam pengembangan desa, pada bagian ini juga dibahas secara detail terkait potensi-potensi mikroba yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan maupun menggali potensi sumber daya alam yang ada di desa antara lain teknologi mikroba dalam pembuatan biogas, pupuk kompos, biofertilizer, biopestisida microbial, teknologi mikroba untuk pangan maupun aplikasi mikroba dalam mengatasi permasalahan polutan yang ada di lingkungan seperti senyawa pestisida, hidrokarbon dari minyak bumi, plastik dan logam berat. Selanjutnya bab ini juga membahas bagaimana proyek pengembangan desa ini dapat dijadikan sumber belajar oleh mahasiswa melalui pendekatan STEM.

DAFTAR ISI

- Bagian 1 Implementasi Sains Teknologi Engineering dan Matematika (STEM) untuk Melatih Kemampuan 4C (*Critical thinking, Creativity, Collaboration* dan *Communication*) Mahasiswa pada Perkuliahan Botani Tumbuhan Rendah_1
- Bagian 2 Efek Teratogenik Diazepam terhadap Fetus sebagai Sumber Belajar Berbasis STEAM_10
- Bagian 3 Senyawa Isoflavon Tumbuhan Leguminoceae sebagai Sumber Belajar Berbasis Kearifan Lokal_23
- Bagian 4 Potensi Buku Ajar Terintegrasi *e-Learning Zoologi Vertebrata (eL-ZOOTA)* di masa Pandemi Covid19_41
- Bagian 5 Potensi Senyawa Aktif Tumbuhan Zodia (*Evodia suaveolens*) Sebagai Sumber Belajar Mahasiswa Berbasis Kearifan Lokal_50
- Bagian 6 Bioaktif Senyawa Bahan Alam Endemik Nusa Tenggara Barat_68
- Bagian 7 Teknologi Mikroba Dalam Pengembangan Desa Sebagai Sumber Belajar Berbasis STEM_79

Bagian 1

Implementasi Sains Teknologi Engineering dan Matematika (STEM) untuk Melatih Kemampuan 4C (*Critical thinking, Creativity, Collaboration* dan *Communication*) Mahasiswa pada Perkuliahan Botani Tumbuhan Rendah

Marheny Lukitasari

Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas PGRI Madiun

lukitasari@unipma.ac.id

Abstrak. Pembelajaran berbasis Sains Teknologi Engineering dan Matematika (STEM) memiliki ciri adanya integrasi disiplin ilmu dasar (sains) dengan teknologi, teknik (engineering) serta matematika. Dalam pelaksanaannya diterapkan dengan pembelajaran berbasis project untuk membuat mahasiswa memiliki keterampilan abad 21 yaitu *critical thinking, creativity, collaboration, communication* (4C). Pada mata kuliah botani tumbuhan rendah diterapkan model STEM dengan strategi pembelajaran berbasis project. Secara berkelompok mahasiswa merencanakan project dengan ketentuan bahan utama yang dipergunakan adalah dari jenis-jenis tumbuhan rendah dan menunjukkan integrasi ciri STEM pada setiap prosesnya. Project yang direncanakan dipresentasikan, diberikan saran oleh dosen dan kelompok lain, direvisi, dilaksanakan, dilaporkan kemajuan proyek setiap minggunya dan dipamerkan hasil yang didapatkan. Kegiatan dilaksanakan selama satu semester oleh 37 mahasiswa yang terbagi menjadi 7 kelompok. Hasil proyek pada masing-masing kelompok memunculkan kreatifitas dengan bahan dasar utama dari tumbuhan rendah. Produk tersebut adalah 1) salep dari lumut hati, 2) POC dari campuran tumbuhan paku, 3) hiasan dari tumbuhan paku, 4) pakan ternak ayam dengan campuran azolla, 5) teh celup semanggi untuk meredakan batuk, dan 6) pemanfaatan alga hijau *chlorella sp* sebagai pakan ikan

Kata kunci: Pembelajaran STEM, Botani Tumbuhan Rendah, *critical thinking, creativity, collaboration, communication* (4C)

Pendahuluan

Pembelajaran sains teknologi engineering dan matematika (STEM) merupakan platform yang dapat dipergunakan untuk mendorong keterampilan berpikir kritis mahasiswa. (Riley, 2014) menunjukkan bahwa implementasi STEM dalam pembelajaran dilakukan dengan menghubungkan antara dua atau lebih materi yang diseleksi untuk disusun dan dilakukan dalam pembelajaran secara observasi, inkuiri atau pemecahan masalah. Hal ini berarti bahwa guru atau dosen perlu mempertimbangkan materi yang diajarkan untuk kemudian mengkaitkannya dengan mata pelajaran atau mata kuliah yang lain sehingga konsep STEM dalam pelaksanaan pembelajaran terpenuhi. Pada dasarnya penerapan STEM dapat diterapkan di semua jenjang dan di semua mata pelajaran atau mata kuliah dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan adaptasi peserta didik di abad 21.

Mata kuliah botani tumbuhan rendah merupakan mata kuliah wajib di jurusan Pendidikan Biologi dan Biologi. Mata kuliah ini mempelajari jenis-jenis tumbuhan rendah yang memiliki ciri dengan cara perkembangbiakan yang tersembunyi (*cryptogamae*). Meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam perkuliahan tanaman rendah tersebut dilakukan dengan praktikum melalui pengamatan secara langsung dari tumbuhan rendah yang ada di lingkungan sekitar. Mahasiswa melakukan pengamatan secara langsung, mengidentifikasi, menuliskan ciri-ciri yang ditemui dan menentukan klasifikasi dari tumbuhan yang ditemui tersebut (Shofiyati, 2019). Secara umum penggunaan metode *discovery* dan atau dengan pengamatan langsung pada jenis tumbuhan rendah yang ditemui tersebut memang mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam hal mengidentifikasi berdasarkan ciri-ciri yang ditemui. Namun di sisi lain kompetensi yang terkait dengan kemampuan abad 21 yaitu *critical thinking*, *creativity*, *collaboration* dan *communication* (4C) mungkin belum terakomodasi dengan baik (Selman & Jaedun, 2020). Hal ini dikarenakan ada kecenderungan bahwa mahasiswa hanya mengulang pengetahuan (ciri-ciri tumbuhan yang ditemui) yang sudah diketahui sebelumnya. Kondisi tersebut menjadi rendahnya kemampuan 4C khususnya di bagian berpikir kritis (*critical thinking*) dan kreatifitas (*creativity*).

Meningkatkan dan mengajak mahasiswa untuk mencapai kompetensi abad 21 merupakan kewajiban dosen dalam kegiatan perkuliahan. Sebagai peserta didik dewasa dan berada di perguruan tinggi maka mahasiswa wajib memiliki kemampuan berpikir kritis dan kreatif sehingga akan menjadi orang-orang yang mampu memecahkan masalah di lingkungan sekitarnya. Mendesain dan merancang kegiatan pembelajaran dengan tujuan peningkatan 4C tersebut membutuhkan pemikiran dan upaya keras dari

dosen. Hal ini dikarenakan dosen sebagai fasilitator utama perlu mempersiapkan dengan baik agar STEM yang dilaksanakan memiliki kekuatan untuk mencapai kompetensi seperti diharapkan (Osadchy et al., 2019). Prinsip mengaktifkan mahasiswa dengan memikirkan ketercapaian 4C tersebut dapat dilakukan dengan menerapkan STEM dalam kegiatan perkuliahan. Pendekatan STEM yang mengusung serta mengkolaborasikan beberapa kemampuan sekaligus menjadi sangat relevan untuk mendorong mahasiswa mencapai kompetensi abad 21 melalui peningkatan kemampuan 4C. Tujuan kegiatan adalah menerapkan STEM pada perkuliahan Botani Tumbuhan Rendah untuk melatih Kemampuan 4C mahasiswa.

Kemampuan abad 21 (4C; *Critical thinking, Creativity, Collaboration* dan *Communication*) pada Pembelajaran Biologi

Keterampilan abad 21 menjadi topik pembahasan yang populer di banyak bidang termasuk Pendidikan. Integrasi teknologi yang sangat pesat di awal abad 21 dan terus menanjak secara signifikan membutuhkan adaptasi untuk generasi yang hidup di era tersebut. (Turiman et al., 2012) yang menyatakan bahwa keterampilan abad 21 memiliki empat domain utama yaitu literasi digital, berpikir inventif (kreatif), komunikasi serta efektifitas yang tinggi bagi peserta didik. Secara definitif kemampuan 4C termasuk keterampilan abad 21 yang perlu dilatihkan kepada peserta didik. Berpikir kritis merupakan kemampuan dalam hal menalar, memahami untuk kemudian mengambil keputusan setelah melalui proses analisa berpikir. Kreatifitas memiliki kedekatan dengan inovasi yang merupakan kemampuan untuk menghasilkan gagasan baru atau ide dalam rangka menyelesaikan suatu permasalahan atau bertujuan meningkatkan kualitas kehidupan. Kolaborasi merupakan kemampuan dalam bekerja sama melalui penghargaan terhadap hasil pemikiran orang lain yang mungkin berbeda perspektif dengan dirinya. Sedangkan komunikasi menjadi bagian penting dari keterampilan abad 21 karena menuntut individu untuk mengungkapkan alur berpikirnya dengan landasan yang kuat untuk dijadikan bukti.

Integrasi keterampilan abad 21 perlu diterjemahkan dalam perencanaan pembelajaran sebagai tujuan pembelajaran. Dalam pembelajaran Biologi di perguruan tinggi rencana perkuliahan semester (RPS) perlu disesuaikan dengan memasukkan komponen berpikir kreatif dan kritis, melakukan kolaborasi, mengembangkan inovasi serta mengkomunikasikannya (Arsad et al., 2011). Penggunaan metode pembelajaran konstruktivistik direkomendasikan untuk mengakomodasi pencapaian keterampilan abad 21 tersebut. Aktifitas mahasiswa menjadi

faktor utama sehingga dosen perlu memikirkan strategi pembelajaran yang akan dipergunakan dalam RPS dengan metode pembelajaran yang sesuai. Penerapan 4C sebagai tujuan dalam penyusunan RPS atau RPP bagi guru menjadi hal mutlak untuk dicantumkan sehingga mahasiswa atau siswa memiliki keterampilan abad 21 setelah melaksanakan proses pembelajaran (Selman & Jaedun, 2020).

Pembelajaran STEM dan Implementasinya dalam Pembelajaran

Pembelajaran dengan pendekatan sains, teknologi, engineering dan matematika (STEM) merupakan satu strategi pembelajaran yang menjanjikan untuk membentuk konsep berpikir kritis dan kreatif bagi peserta didik. Pembelajaran STEM menciptakan kondisi berorientasi sains yang seimbang dan harmonis dengan modernisasi dan dinamika kehidupan manusia (Osadchy et al., 2019). Pada dasarnya STEM adalah kombinasi dari disiplin ilmu dasar yaitu sains yang terdiri dari Biologi, Fisika dan Kimia, teknologi, teknik serta matematika dengan logika, robotika, hukum, gender bahkan ekologi. Penerapan pembelajaran yang dilaksanakan untuk STEM biasanya dilaksanakan dengan strategi berbasis project.

Menjadikan STEM sebagai landasan dalam menunjang pelaksanaan pembelajaran yang berkualitas untuk meningkatkan kemampuan 4C mahasiswa dapat dijadikan sebagai budaya. Dengan landasan berbagai disiplin ilmu tersebut sekaligus melatih kemampuan untuk berkomunikasi secara ilmiah dalam komunitas belajarnya. Dukungan lembaga pendidikan juga menjadi bagian penting untuk membiasakan penggunaan STEM bagi dosen dan atau guru. Penerapan STEM dalam kegiatan pembelajaran bisa diawali dengan langkah-langkah sederhana. Beberapa hal yang perlu dipikirkan oleh guru atau dosen untuk memulai dan melaksanakan STEM adalah sebagai berikut: 1) memikirkan suatu tema atau bagian pada mata pelajaran yang sekiranya siap dan dapat dilaksanakan (menambah ide dari sumber seperti internet dan melakukan identifikasi permasalahan sekitar untuk membantu menyusun perencanaan kegiatan), 2) mulai dari hal yang kecil atau sederhana terlebih dahulu dan menggunakan peralatan yang ada di sekitar dan mudah didapatkan (seperti misal sedotan untuk mengganti pipa atau pegangan es krim sebagai pengganti kayu), 3) pergunakan teknologi, meskipun sederhana dalam pelaksanaan project, 4) dorong mahasiswa atau siswa untuk melaksanakan dengan menyenangkan melalui variasi percobaan yang memungkinkan, 5) menyibukkan mahasiswa atau siswa dengan teknologi, peralatan dan sumber informasi yang beragam dan 6)

Menyusun tantangan berupa permasalahan yang bisa memunculkan ide untuk dipecahkan.

Pembelajaran STEM pada Mata Kuliah Botani Tumbuhan Rendah

Mata kuliah Botani Tumbuhan Rendah memiliki deskripsi dan tujuan untuk mahasiswa memahami tentang prinsip-prinsip taksonomi, sistem klasifikasi, identifikasi, pergiliran keturunan, cara perkembangbiakan dan deskripsi tentang penggolongan penamaan ilmiah pada tumbuhan rendah (*Cryptogamae*) serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Bahasan dalam *Cryptogamae* meliputi: algae, fungi, *lichenes*, lumut, dan tumbuhan paku dengan keterkaitannya dalam bidang pendidikan, nilai praktis, ekonomis dan kewirausahaan. Dengan jumlah mahasiswa 32 orang terbagi menjadi 7 kelompok yang sudah dikondisikan sejak awal perkuliahan. Kegiatan perkuliahan dilaksanakan secara *blended learning* (BL) dengan memanfaatkan platform *e-learning* universitas (eLMA / eLearning UNIPMA). Selama satu semester dengan 16 kali pertemuan materi tersebut dilaksanakan dengan menggunakan pembelajaran proyek yang berbasis STEM, seperti tampak dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Sebaran Tatap Muka Botani Tumbuhan Rendah dengan strategi Project berbasis STEM

TATAP MUKA	METODE	KEGIATAN
1	Offline	Pendahuluan dan overview botani tumbuhan rendah
2	Offline	Klasifikasi, spesies dan manfaat dari tumbuhan schizophyta, alga, thallophyta
3	Online	Klasifikasi spesies dan manfaat dari tumbuhan spesies bryophyta, jamur
4	Online	Klasifikasi spesies dan manfaat dari tumbuhan spesies lichens, pteridophyta
5	Offline	Identifikasi permasalahan berdasarkan situasi dan issue saat ini
6	Online	Penyampaian presentasi rencana project berbasis STEM
7	Offline	Revisi perencanaan project
8	Offline	Pelaporan progress report project 1 dan revisi
9	Online	Pelaporan progress report project 1 dan revisi
10	Online	Pelaporan progress report project 2 dan revisi
11	Offline	Pelaporan progress report project 2 dan revisi
12	Offline	Pelaporan progress report project 3 dan revisi
13	Online	Pelaporan progress report project 4 dan revisi

14	Offline	Pelaporan akhir project BTR dan persiapan publikasi
15	Online	Publikasi hasil project
16	Offline	Evaluasi kegiatan selama satu semester

Tabel 1 menunjukkan rancangan kegiatan yang dilaksanakan selama satu semester dalam perkuliahan botani tumbuhan rendah. Dalam penyusunan rencana proyek dosen menetapkan bahwa kelompok mahasiswa perlu memperhatikan komponen sains, teknologi, engineering dan matematika (STEM). Secara keseluruhan hasil yang didapatkan dari pengerjaan kelompok dapat dicermati pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Tema Project berbasis STEM oleh Kelompok Mahasiswa

Kelompok	Tema Project	Komponen STEM
1	Salep dari lumut hati,	S Proses kimia, fisika dan biologi dari bahan-bahan yang dipergunakan untuk membuat salep
		T Sistem metode pengubahan bentuk bahan menjadi salep
		E Proses rekayasa tumbuhan paku menjadi salep
		M Perhitungan setiap komponen bahan sehingga menjadi salep
2	POC dari campuran tumbuhan paku,	S Proses kimia, fisika dan biologi dari bahan-bahan yang dipergunakan untuk membuat POC
		T Sistem metode pengubahan bentuk bahan menjadi POC
		E Proses rekayasa tumbuhan paku menjadi POC
		M Perhitungan setiap komponen bahan sehingga menjadi POC
3	Hiasan dari tumbuhan paku,	S Proses kimia, fisika dan biologi dari bahan-bahan yang dipergunakan untuk membuat hiasan
		T Sistem metode pengubahan bentuk bahan menjadi hiasan
		E Proses rekayasa tumbuhan paku menjadi hiasan
		M Perhitungan setiap komponen bahan sehingga menjadi hiasan

4	Pakan ternak ayam dengan campuran azolla,	S	Proses kimia, fisika dan biologi dari bahan-bahan yang dipergunakan untuk membuat pakan ayam
		T	Sistem metode pengubahan bentuk bahan menjadi pakan ayam
		E	Proses rekayasa tumbuhan paku menjadi pakan ayam
		M	Perhitungan setiap komponen bahan sehingga menjadi pakan ayam
5	Teh celup semanggi untuk meredakan batuk,	S	Proses dalam pengeringan semanggi dan bahan lain dijelaskan secara kimia dan biologi
		T	Penggunaan peralatan (oven) dalam proses pengeringan merupakan teknologi yang dipergunakan
		E	Proses rekayasa tumbuhan paku menjadi teh celup
		M	Perhitungan perbandingan jumlah dari keseluruhan bahan
6	Pemanfaatan alga hijau chlorella sp sebagai pakan ikan	S	Proses kimia, fisika dan biologi dari bahan-bahan yang dipergunakan untuk membuat pakan ikan
		T	Sistem metode pengubahan bentuk bahan menjadi pakan ikan
		E	Proses rekayasa tumbuhan paku menjadi pakan ikan
		M	Perhitungan setiap komponen bahan sehingga menjadi pakan ikan

Tabel 2 menjelaskan komponen STEM yang dapat dimunculkan dari setiap project yang dilakukan oleh masing-masing kelompok. Masing-masing kelompok melakukan identifikasi STEM dengan cara berdiskusi untuk kemudian diunggah pada platform eLMA sehingga kelompok lainnya bisa memberikan masukan saran dan argumentasinya. Hal tersebut membantu mahasiswa untuk mengkritisi project yang disampaikan oleh masing-masing kelompok. (Lukitasari et al., 2018) menunjukkan dalam hasil penelitiannya bahwa model proyek secara nyata berdampak pada meningkatnya kemampuan berpikir kritis mahasiswa. Tahapan dalam pembelajaran proyek yang dapat diawali dari identifikasi masalah serta memikirkan pemecahan masalah maupun dengan tujuan untuk peningkatan kualitas kehidupan mendorong mahasiswa mampu secara aktif memunculkan ide kreatifnya. Dalam (Mills, 2003) ditunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek (PjBL)

dan juga pembelajaran berbasis masalah (PBL) merupakan bagian penting untuk lulusan di bidang teknik, yang sesuai dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan industri.

Kelompok yang terbentuk pada mata kuliah botani tumbuhan rendah (BTR) selama satu semester memiliki langkah dan tahapan yang jelas untuk mendorong keberhasilan project yang direncanakan. Keberhasilan penerapan STEM membutuhkan perencanaan karena menjadi hal yang fundamental dalam melaksanakan proyek. Argumentasi terhadap setiap tahapan yang dilakukan juga menjadi indikator bahwa mahasiswa memikirkan ide kreatif dan kritis untuk menghasilkan proyek yang sesuai dengan ketentuan.

Kesimpulan

Mengintegrasikan STEM dalam pembelajaran dapat dilakukan dengan menerapkan *Project Based Learning* (PjBL) atau pembelajaran berbasis project. Dalam merumuskan STEM disampaikan oleh mahasiswa bahwa komponen engineering menjadi bagian yang tersulit untuk diidentifikasi. Hasil penerapan pembelajaran proyek berbasis STEM yang dilakukan secara berkelompok didapatkan enam tema yaitu 1) salep dari lumut hati, 2) POC dari campuran tumbuhan paku, 3) hiasan dari tumbuhan paku, 4) pakan ternak ayam dengan campuran azolla, 5) teh celup semanggi untuk meredakan batuk, dan 6) pemanfaatan alga hijau *chlorella sp* sebagai pakan ikan. Secara keseluruhan proyek berjalan dengan baik dan hingga pertengahan semester sudah pada tahap pelaporan kegiatan.

Daftar Pustaka

- Arsad, N. M., Osman, K., & Soh, T. M. T. (2011). Instrument development for 21st century skills in Biology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 1470–1474. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.312>
- Lukitasari, M., Handhika, J., & Murtafiah, W. (2018). Higher order thinking skills : using e-portfolio in project- based learning. *Journal of Physics*, 983, 1–7
- Mills, J. E. (2003). Engineering Education-Is Problem Based or Project-Based Learning The Answer? *Australasian Journal of Engineering Education*, June, 308–313
- Osadchyi, V., Valko, N., & Kushnir, N. (2019). Determining the level of readiness of teachers to implementation of stem-education in ukraine. *CEUR Workshop Proceedings*, 2393, 144–155
- Riley, D. M. (2014). What's wrong with evidence? Epistemological roots and

- pedagogical implications of “evidence-based practice” in STEM education. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 15(18), 1–9. <https://doi.org/10.18260/1-2--23306>
- Selman, Y. F., & Jaedun, A. (2020). Evaluation of The Implementation of 4C Skills in Indonesian Subject at Senior High Schools. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 9(2), 244–257. <https://doi.org/10.23887/jpi-undiksha.v9i2.23459>
- Shofiyati, A. (2019). *Identifikasi Tumbuhan Di Lingkungan Sekolah Untuk Pengembangan Modul Pembelajaran Model Discovery Learning* [Pasca Sarjana Universitas Negeri Semarang]. [http://lib.unnes.ac.id/39856/1/UPLOAD TESIS AIDA SHOFIYANTI.pdf](http://lib.unnes.ac.id/39856/1/UPLOAD%20TESIS%20AIDA%20SHOFIYANTI.pdf)
- Turiman, P., Omar, J., Daud, A. M., & Osman, K. (2012). Fostering the 21st Century Skills through Scientific Literacy and Science Process Skills. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 59, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.253>

Bagian 2

Efek Teratogenik Diazepam terhadap Fetus sebagai Sumber Belajar Berbasis STEM

Waris

Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas PGRI Argopuro Jember
Email: dwaris668@gmail.com

Abstrak. Malformasi kongenital dapat terjadi karena faktor lingkungan, faktor genetik, dan konsumsi obat. Faktor genetik menyebabkan malformasi kongenital karena adanya mutasi kromosom. Jika mutasi terjadi pada kromosom seks, maka malformasi tersebut dapat diturunkan kepada keturunannya, tetapi jika mutasi terjadi pada kromosom autosomal, maka malformasi tersebut terjadi hanya pada individu itu sendiri. Mengonsumsi obat-obatan yang termasuk golongan depresan SSP oleh ibu-ibu yang sedang hamil juga dapat menyebabkan malformasi kongenital. Periode perkembangan embrio yang sangat rentan akan terjadinya malformasi kongenital yaitu pada periode gastrulasi, karena pada periode ini sedang terjadi perkembangan organogenesis. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek teratogenik diazepam terhadap malformasi kongenital fetus (*cleft lip dan cleft palate*). Objek penelitian menggunakan tikus (*Rattus norvegicus*). Metode penelitian menggunakan rancangan acak kelompok dengan variasi frekuensi (F) pemberian diazepam per oral dengan dosis terapi 0,252 mg, dan variasi waktu (T) pemberian diazepam perhari peroral dengan dosis terapi 0,252 mg. Analisis data hasil penelitian menggunakan analisis statistik Anava faktorial, dan jika terdapat perbedaan yang bermakna maka dilangsungkan dengan uji-t. Hasil analisis ANAVA dua jalur pada data hasil penelitian pada faktor variasi frekuensi (F) perlakuan per hari dan variasi waktu (T) pemberian diazepam pada masa bunting tertentu memberikan efek teratogenik yang bermakna. Juga adanya efek teratogenik dari interaksi antara variasi frekuensi dengan variasi waktu perlakuan. Melalui Uji-t dapat diketahui pula bahwa adanya perbedaan yang bermakna antar kelompok perlakuan pada variasi frekuensi dan antar kelompok perlakuan pada variasi waktu. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sumber belajar dengan pendekatan STEAM.

Kata kunci: malformasi kongenital, teratogenik diazepam, STEAM

Malformasi Kongenital

Malformasi kongenital, anomali kongenital, dan cacat lahir adalah istilah yang sama maknanya, yang digunakan untuk menerangkan kelainan struktural, perilaku, faal, dan kelainan metabolik yang terdapat pada waktu lahir.

Beberapa faktor risiko yang berperan dalam timbulnya kelainan kongenital menurut Mitayani Purwoko (2019) adalah nutrisi, konsumsi obat, usia orang tua dan lingkungan. Sedangkan menurut T.W. Sadler dan Joko Suyono, (1999) sebagai Faktor penyebab dari malformasi kongenital adalah:

- Faktor genetik, seperti kelainan kromosom dan gen-gen mutan (15%);
- Faktor lingkungan (10%);
- Gabungan antara pengaruh lingkungan dengan genetik (20-25 %);
- Belum diketahui (40-60%).

Malformasi kongenital yang disebabkan oleh perubahan kromosom dapat terjadi pada perubahan kromosom autosomal (kromosom tubuh) maupun pada kromosom seks. Jika terjadi perubahan pada kromosom tubuh, maka perubahan itu hanya akan terjadi pada individu itu sendiri dan tidak diturunkan kepada turunannya. Jika yang terjadi perubahan pada kromosom seks, maka perubahan itu akan diturunkan kepada keturunannya (Corebima, 2000).

Terjadinya malformasi kongenital pada prinsipnya tergantung pada faktor periode perkembangan embrio yang bersamaan dengan peristiwa primer, yaitu periode kritis dan periode sensitif. Periode kritis adalah tahap tertentu perkembangan embrio dimana sistem morfogenetik sangat mudah terkena pengaruh luar. Sedangkan periode sensitif adalah tahap tertentu perkembangan embrio dimana sel-sel yang sedang berdiferensiasi sangat sensitif terhadap bahan toksik tertentu. Tahap kritis untuk timbulnya cacat pada umumnya terjadi selama periode organogenesis (Bambang Rahino S., 1986).

Perkembangan embrio yang sangat rentan terjadinya malformasi kongenital yaitu pada tahap diferensiasi yang terjadi pada minggu ketiga pada manusia dan hari ke 5-8 pada tikus (Karl Theiler: 1983). Pada tahap ini sering disebut juga tahap **gastrulasi**, yaitu proses yang membentuk ketiga lapisan germinal pada embrio (ektoderm, mesoderm, dan entoderm). Dari masing-masing lapisan ini akan berkembang seluruh jaringan akan membentuk tubuh organisme beserta organ-organnya.

Lapisan **ektoderm** membentuk organ dan struktur-struktur yang memelihara hubungan dengan dunia luar: (a) susunan saraf pusat; (b) sistem saraf tepi; (c) epitel sensorik telinga, hidung, mata; dan lidah; (d) kulit,

termasuk rambut dan kuku; dan (e) kelenjar hipofisis, kelenjar mammae, dan kelenjar keringat serta email gigi. Lapisan **mesoderm** membentuk sistem pembuluh, yaitu jantung, pembuluh nadi, pembuluh balik, pembuluh getah bening, dan semua sel darah dan sel getah bening. Disamping itu ia membentuk sistem kemih kelamin: ginjal, gonad, dan saluran-salurannya (tetapi tidak termasuk kandung kemih). Akhirnya limpa dan kortek adrenal juga merupakan derivat mesoderm. Lapisan **entoderm** menghasilkan lapisan epitel saluran pencernaan, saluran pernafasan, dan kandung kemih. Lapisan ini juga membentuk parenkim tiroid, kelenjar paratiroid, hati, dan kelenjar pankreas. Akhirnya lapisan *epitel kavum timpani* dan *tuba eustachius* juga berasal dari entoderm.

Dari keterangan di atas, jelas bahwa sebagian besar organ dan sistem organ terbentuk pada periode minggu ke-3 hingga ke-8 pada manusia. Oleh karena itu, masa ini disebut masa awal organogenesis dan sangat penting untuk perkembangan normal. Populasi-populasi sel induk membangun setiap sel primordia, dan interaksi-interaksi ini sangat peka terhadap gangguan pengaruh genetik dan pengaruh lingkungan. Dengan demikian, masa ini adalah masa terjadinya kebanyakan cacat lahir struktural yang tampak nyata.

Efek Teratogenik Diazepam

Diazepam merupakan salah satu turunan dari benzodiazepam yang merupakan golongan obat hipnotik-sedatif. Hipnotik-sedatif merupakan golongan obat depresan susunan saraf pusat (SSP) yang relatif tidak selektif, mulai dari yang ringan yaitu yang menyebabkan tenang atau kantuk, menidurkan, hingga yang berat yaitu hilangnya kesadaran, keadaan anestesi, koma dan mati, bergantung pada dosis (Anthony .Trevor & Walter L.Way, 1995; Metta Sinta SW & Tony Handoko SK, 1995).

Diazepam termasuk obat yang teratogenik yaitu mempunyai kemampuan untuk menimbulkan kelainan bawaan pada bayi (kongenital), termasuk malformasi dan kelainan fungsional minor maupun mayor (Lukman Hakim, 1999, Bambang Rahino S., 1986). Efek teratogenik yang paling lazim ialah abortus spontan, malformasi bawaan, perlambatan pertumbuhan janin dan perkembangan mental, *karsinogenesis* dan *mutagenesis* (Lukman Hakim, 1999). Adapun faktor penyebab teratogenesis adalah: 20% karena faktor genetik, 10% faktor kromosom, 70% faktor lingkungan termasuk makanan, obat-obatan, infeksi dan sebagainya (Bambang Rahino S., 1986).

Penggunaan diazepam dengan frekuensi yang semakin banyak dapat mengakibatkan kelainan kongenital yang semakin tinggi pula. Hal ini

disebabkan karena waktu paruh diazepam yang cukup lama yaitu 20-50 jam, sehingga apabila penggunaan diazepam dalam variasi frekuensi yang semakin tinggi akan mengakibatkan terakumulasi diazepam di dalam plasma darah juga semakin tinggi. Seperti hasil penelitian yang ditulis oleh Risto Erkkola dan Jussi Kanto (1972) yang menggunakan dua kelompok perlakuan yang masing-masing kelompok terdiri dari 3 orang pasien. Kelompok pertama di beri perlakuan dengan diazepam 10 mg selama 2 kali sehari, sedangkan kelompok kedua diberi perlakuan dengan diazepam 10 mg sebanyak 4 kali sehari. Dari hasil pengamatannya menunjukkan konsentrasi diazepam pada kelompok pertama sebesar 491 ng per ml plasma, sedangkan pada kelompok kedua sebesar 601 ng per ml plasma.

Semakin lama seseorang mengkonsumsi diazepam selama masa hamil, maka akan semakin banyak pula periode organogenesis yang terkena dampaknya, sehingga dimungkinkan akan semakin tinggi pula kelainan kongenital yang ditimbulkan oleh obat tersebut. Seperti hasil penelitian Peter Tyrer, David Rutherford dan Tony Hugett, (1983) yang menunjukkan bahwa semakin lama seseorang mengkonsumsi diazepam, maka akan semakin tinggi pula menunjukkan gejala putus obat (*withdrawal symptoms*). Jika diazepam dikonsumsi oleh wanita hamil dapat mengakibatkan kelainan kongenital (Thomas H. Shepard, 1986). Dari data-data retrospektif diketahui bahwa penggunaan diazepam pada ibu-ibu selama kehamilannya menunjukkan 417 anak-anak dengan berbagai kelainan kongenital (Czeizel, 1988). Dalam hal yang berbeda penggunaan diazepam pada ibu-ibu selama kehamilan trimester pertama dengan frekuensi 3 kali tercatat 1427 anak-anak dengan variasi kelainan kongenital (Bracken & Holford, 1981). Tidak dipublikasikan hasil studi dengan ibu-ibu yang menggunakan diazepam selama kehamilan trimester pertama tercatat 611 anak-anak dengan *cleft lip* dengan atau tanpa *cleft palate* atau hanya *cleft palate* (Rosenberg et al., 1983). Penggunaan diazepam pada ibu-ibu selama kehamilannya menunjukkan 417 anak-anak dengan berbagai kelainan kongenital (Czeizel, 1988).

Efek lain yang ditimbulkan oleh diazepam selain sedative dan hipnotik adalah: anestesi, efek Antikonvulsan, relaksasi Otot, efek atas fungsi respiratorius dan kardiovaskular, efek pada saluran cerna, (Metta Sinta SW & Tony Handoko SK, 1995). Efek teratogenesis dilaporkan menyebabkan *deformasi fetus* setelah menggunakan diazepam selama kehamilan trimester pertama (Mohamed Izham, 2001; Lukman Hakim, 2001). Dari hasil penelitian retrospektif tercatat adanya peningkatan yang signifikan dalam insiden *cleft palate* dan *cleft lip dan palate* pada ibu-ibu yang mengkonsumsi diazepam

semasa kehamilan trimester pertamanya (Antonio Addis, at.al, 2000; Saxen and Saxen, 1975). Dalam hal yang berbeda penggunaan diazepam pada ibu-ibu selama kehamilan trimester pertama dengan frekuensi 3 kali tercatat 1427 anak-anak dengan variasi kelainan kongenital (Bracken & Holford, 1981). Penggunaan diazepam pada wanita hamil dengan diazepam selama trimester ketiga mengakibatkan *apnea*, *hypotonia*, dan *hypothermia* pada kelahiran pertamanya (Gillberg, 1977; Speight, 1977; Laegreid et al., 1992a). Sedangkan pada mencit, tikus dan kucing menyebabkan abnormalitas fungsi dan biokimia pada sistem saraf pusat dalam kelahirannya (Weber, 1985; Kellog et al., 1993; Rodrigue-Zafra et al., 1993; Perez-Laso et al., 1994).

Efek teratogenik diazepam terhadap malformasi kongenital (*cleft lip* dan *cleft palate*) dapat dilakukan penelitian pada hewan coba yaitu tikus (*Rattus norvegicus*) dengan rancangan penelitian sebagai berikut:

1. Variasi frekuensi (F) pemberian diazepam peroral dengan dosis terapi 0,252 mg yang terdiri dari 4 tingkat yaitu :
 - F0 : Kontrol
 - F1 : satu kali sehari/pagi
 - F2 : dua kali sehari/pagi dan siang
 - F3 : tiga kali sehari/pagi,siang dan sore
2. Variasi waktu (T) pemberian diazepam perhari peroral dengan dosis terapi 0,252 mg yang terdiri dari 3 kategori waktu yaitu :
 - T1 : pada hari ke 6,7 dan 8 masa bunting
 - T2 : pada hari ke 6,7,8,9,10,11 masa bunting
 - T3 : pada hari ke 6,7,8,9,10,11,12,13 dan 14 masa bunting

Prosedur pengumpulan datanya adalah: tikus betina yang berumur 5 minggu ditempatkan dalam kandang tanpa perlakuan untuk beradaptasi sampai umur 7-8 minggu. Jika diketahui sedang mengalami siklus estrus, maka dikawinkan dengan menempatkan tikus jantan 1 ekor untuk 4 ekor betina. Setelah terjadi perkawinan yang ditandai dengan adanya *vaginal plug* atau dengan hapusan vagina akan tampak sel-sel epitel yang bertanduk atau dengan adanya spermatozoa, tikus dipindahkan pada kelompok masing-masing sesuai dengan rancangan penelitian. Adanya tanda *vaginal plug* atau adanya spermatozoa pada hapusan vagina dihitung sebagai hari pertama masa bunting. Pada masa bunting tertentu perlakuan diberikan kepada masing-masing tikus pada kelompok sesuai dengan rancangan penelitian, peroral dengan menggunakan disposable syringe/jarum injeksi yang ujungnya dibulatkan. Untuk kontrol dengan frekuensi nol hanya diberi aquadest pada saat perlakuan. Masa bunting tikus adalah 20-22 hari, maka pada hari ke 19 masa bunting dilakukan pembedahan pada induk tikus untuk

dilakukan pengamatan tentang: jumlah resorpsi, jumlah anak yang mengalami kelainan kongenital.

Berdasarkan hasil analisis data penelitian tentang jumlah resorpsi janin tikus dapat diketahui sebagaimana tampak pada Tabel 1.

Tabel 1: Rangkuman ANAVA Dua Jalur Tentang Jumlah Resorpsi

Sumber	JK	DK	RK	F	P
Antar F	11.400	3	3.800	19.000	2.917E-08
Antar T	3.633	2	1.817	9.083	4.513E-04
Inter FT	3.300	6	0.550	2.750	0.0223
Dalam	9.600	48	0.200		
Total	27.933	59			

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan $\alpha = 0.05$, nilai-nilai F tabel berturut-turut adalah:

$$F_{A(3;48;0,05)} = 2,60; \quad F_{B(2;48;0,05)} = 3,00; \quad F_{C(6;48;0,05)} = 2,10$$

Sedangkan nilai-nilai F hitung seperti tertera pada tabel 1 adalah:

$$F_A = 19.000; \quad F_B = 9.083; \quad F_C = 2.750. \text{ Maka dapat dikatakan bahwa:}$$

- Antar F atau antar frekuensi pemberian diazepam perhari pada masa bunting ada perbedaan yang sangat bermakna.
- Antar T atau antar variasi waktu pemberian diazepam pada masa bunting ada perbedaan yang sangat bermakna.
- Interaksi antara F dan T yaitu antara frekuensi pemberian diazepam perhari dengan variasi waktu pada masa bunting terdapat perbedaan yang bermakna.

Sedangkan hasil analisis Uji-t adalah sebagai berikut:

Dalam hal jumlah resorpsi janin tikus, pada variasi frekuensi perlakuan menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna antar variasi frekuensi (F) pada variasi waktu (T1, T2 dan T3). Ada perbedaan yang bermakna antar variasi waktu (T) pada perlakuan variasi frekuensi (F0 dan F3), sedangkan pada variasi frekuensi (F1 dan F2) tidak ada perbedaan yang bermakna antar variasi waktu perlakuan. Juga terdapat perbedaan yang bermakna pada interaksi antara interaksi variasi frekuensi dengan variasi waktu. Hasil analisis data penelitian tentang persentase kelainan kongenital (*cleft lip* dan *cleft palate*) anak tikus tampak pada tabel 2.

Tabel 2: Rangkuman ANAVA Dua Jalur Tentang Persentase Kelainan Kongenital (*cleft lip* dan *cleft palate*) Pada Anak Tikus

Sumber	JK	DK	RK	F	P
Antar F	3190.601	3	1063.534	37.086	1.530E-12
Antar T	499.338	2	249.669	8.706	5.943E-04
Inter FT	408.839	6	68.140	2.376	.0433
Dalam	1376.534	48	28.678		
Total	5475.312	59			

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan $\alpha = 0.05$, nilai-nilai F tabel berturut-turut adalah:

$$F_{A(3;48;0,05)} = 2,60; \quad F_{B(2;48;0,05)} = 3,00; \quad F_{C(6;48;0,05)} = 2,10$$

Sedangkan nilai-nilai F hitung seperti tertera pada tabel 2 adalah:

$$F_A = 37.086; \quad F_B = 8.706; \quad F_C = 2.376. \text{ Maka dapat dikatakan bahwa:}$$

Dari tabel tersebut di atas dapat diketahui bahwa:

- Antar F atau antar frekuensi pemberian diazepam perhari pada masa bunting ada perbedaan yang sangat bermakna.
- Antar T atau antar variasi waktu pemberian diazepam pada masa bunting ada perbedaan yang sangat bermakna.
- Interaksi antara F dan T yaitu antara frekuensi pemberian diazepam perhari dengan variasi waktu pada masa bunting terdapat perbedaan yang bermakna.

Sedangkan hasil analisis uji-t adalah:

Dalam hal persentase kelainan kongenital (*cleft lip* dan *cleft palate*) janin tikus, pada variasi frekuensi perlakuan menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna antar variasi frekuensi (F) pada variasi waktu (T1, T2 dan T3). Ada perbedaan yang bermakna antar variasi waktu (T) pada perlakuan variasi frekuensi (F0 dan F2), sedangkan pada variasi frekuensi (F1 dan F3) tidak ada perbedaan yang bermakna antar variasi waktu perlakuan. Juga terdapat perbedaan yang bermakna pada interaksi antara interaksi variasi frekuensi dengan variasi waktu.

Timbulnya efek teratogenik diazepam yang diberikan peroral pada dosis terapi dengan variasi frekuensi (F) perlakuan perhari dengan variasi waktu (T) perlakuan pada masa bunting dikarenakan: hasil metabolisme diazepam di dalam tubuh induk akan diperoleh bahan metabolit aktif yang dapat menimbulkan terjadinya perubahan-perubahan kondisi sel embrio dan dapat pula mempengaruhi perubahan-perubahan genetik, sehingga embrio tidak dapat tumbuh dan mengalami kematian di dalam kandungan. Sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa kelainan kongenital dapat disebabkan

oleh interaksi beberapa faktor, baik antara beberapa gen atau pun antara faktor genetik dan lingkungan (Bambang Rahino. S, 1986).

Metabolit aktif yang dihasilkan di dalam tubuh induk tikus, juga dapat mengakibatkan supresor terhadap susunan saraf pusat dan menghambat neuron induk tikus itu sendiri. Dengan tersupresornya susunan saraf pusat dan terinhibisinya neuron induk tikus akan menghambat proses produksi *growth hormon* dari plasenta untuk embrio, dengan demikian pertumbuhan embrio juga akan terganggu. Selain itu dengan terinhibisinya neuron pada induk tikus dapat mengakibatkan proses transfer materi yang berupa zat makanan dari induk ke dalam tubuh embrio terganggu bahkan bisa terhenti, maka dengan demikian dapat menimbulkan pertumbuhan tubuh embrio terhambat.

Diazepam dan GABA yang aktif akan berikatan dengan reseptor GABA. Pengikatan ini akan mengakibatkan pembukaan kanal Cl^- . Dengan membukanya kanal Cl^- memungkinkan masuknya Cl^- ke dalam sel, sehingga dapat menghambat neuron dari SPP janin yang semestinya sudah dapat berfungsi. Tetapi dengan terinhibisinya neuron tersebut maka proses produksi hormon-hormon pertumbuhan janin dapat terganggu yang akhirnya akan mengganggu pula pertumbuhan janin itu sendiri.

Selain itu, di dalam sel Cl^- akan berikatan dengan ion H^+ sebagai hasil penguraian dari HCO_3^- sehingga terbentuk HCl dan CO_3^{2-} , dengan terbentuknya HCl maka mengakibatkan keasaman yang tinggi di dalam sel. Dengan keasaman yang tinggi dapat menimbulkan membran sel tidak mudah tereksitasi dan potensial elektrolit yang tinggi. Hal ini mengakibatkan kerja sel untuk menghasilkan hormon-hormon pertumbuhan dapat terganggu, maka proses pertumbuhan juga dapat terganggu. Bahkan dengan keasaman yang tinggi dan potensial elektrolit yang tinggi dapat mengakibatkan nekrosis.

Metabolit aktif yang merembes ke dalam embrio melalui plasenta kemudian terakumulasi di dalam tubuh embrio dan bersifat toksik. Karena pada trimester pertama masa kehamilan merupakan periode kritis yaitu periode yang sangat mudah terpengaruh oleh faktor eksteren, maka bahan teratogen yang bersifat toksik tadi akan mempengaruhi pertumbuhan embrio, bahkan dapat mengakibatkan kematian janin. Sesuai dengan teori bahwa banyak faktor atau teratogen yang dapat mempengaruhi pertumbuhan janin, akan tetapi akibatnya tidak perlu berupa kelainan yang mencolok. Pada keadaan tertentu bahan teratogen dapat demikian beracun atau dapat mempengaruhi susunan alat-alat vital janin demikian beratnya, sehingga menimbulkan kematian atau resorpsi. Resorpsi pun kadang-kadang demikian sempurna sehingga yang tampak hanya plasenta saja (Bambang Rahino S, 1986).

Didalam kehamilan tidak ada periode yang aman dalam perkembangan embrio. Walaupun periode yang paling rentan adalah pada periode tri mester pertama, tetapi pada periode-periode berikutnya juga masih memungkinkan terjadinya gangguan pada pertumbuhan dan perkembangan embrio, karena terjadinya gangguan pada pertumbuhan dan perkembangan embrio akan tergantung pada sumber teratogen, lamanya bahan teratogen itu berpengaruh, periode pertumbuhan dan perkembangan embrio. Jika bahan teratogen pengaruhnya sangat kuat, maka akan menimbulkan kematian atau resorpsi janin, tetapi jika pengaruh bahan teratogen sedemikian ringannya sehingga janin mampu hidup terus tetapi sebagian organ tubuhnya mengalami gangguan pertumbuhannya sehingga menimbulkan kecacatan (Bambang Rahino S, 1986).

Diazepam merupakan salah satu obat yang bersifat teratogen, dan secara struktur kimia, diazepam mempunyai sistem cincin datar yang mengandung muatan nitrogen yang dapat menyusup diantara pasangan-pasangan basa DNA terutama akan bereaksi dengan gugusan guanin sehingga menghambat proses transkripsi (Robert W. McGilvery dan Geral W. Goldstein, 1996). Dengan terhambatnya proses transkripsi ini dapat mengakibatkan gangguan pada proses pembentukan senyawa-senyawa protein fungsional maupun protein struktural, terutama protein untuk struktur kanal Cl^- . Dengan tidak sempurnanya struktur kanal Cl^- , maka mengakibatkan ion Cl^- yang masuk tidak terkontrol dan akhirnya keasaman di dalam sel cukup tinggi, yang akhirnya dapat mengakibatkan gangguan pertumbuhan dan perkembangan embrio, yang apabila gangguan itu sangat kuat dapat mengakibatkan kematian atau resorpsi, dan apabila gangguan itu ringan dapat menimbulkan kecacatan pada janin.

Semakin lama perlakuan dan semakin banyak frekuensi perlakuan dapat mengakibatkan semakin banyak pula bahan teratogen yang terakumulasi di dalam tubuh embrio, hal ini dapat mengakibatkan semakin banyak pula gangguan-gangguan terhadap kerja hormon pertumbuhan, sehingga semakin menurun berat badan anak tikus, semakin banyak terjadi resorpsi, semakin banyak pula janin yang mengalami kelainan kongenital. Seperti hasil penelitian lain yang menyatakan bahwa semakin tinggi frekuensi pemberian diazepam ke dalam tubuh akan semakin tinggi konsentrasinya di dalam plasma (Risto Erkkola dan Jussi Kanto, 1972). Juga ada penelitian lain yang menyatakan bahwa pemberian suatu bahwan teratogen dengan rentangan waktu yang semakin lama pada masa kehamilan, maka akan semakin tinggi pula kecacatan dan jumlah kelainan kongenitalnya (Abdul Ghoni, 1995).

Pemanfaatan Hasil Penelitian sebagai Sumber Belajar

Dalam pendidikan, STEAM adalah pendekatan terintegrasi yang menggabungkan mata pelajaran Sains, Teknologi, Teknik, Seni dan Matematika sebagai sarana mengembangkan penyelidikan siswa, komunikasi dan pemikiran kritis selama pembelajaran (Starzinski, 2017).

Pembelajaran yang menggunakan pendekatan STEAM menyediakan metode belajar yang terintegrasi, interaktif dan efektif yang dikombinasikan dengan pembelajaran mandiri dan kerja kelompok. Dasar dari pembelajaran dengan pendekatan STEAM terletak pada pembelajaran inkuiri dan pemikiran kritis. Kedua hal tersebut berbasis proses yang berarti proses saat mengajukan pertanyaan, proses menimbulkan rasa ingin tahu, dan proses menemukan solusi dari suatu masalah. Inti dari pembelajaran STEAM adalah menjadikan siswa lebih aktif dan kreatif dalam menemukan solusi masalah (Estu Miyarso: 2019).

Langkah-langkah perancangan pembelajaran inovatif dengan pendekatan STEAM difokuskan pada komponen RPP yang terkait langsung dengan unsur STEAM, yaitu: Tujuan Pembelajaran, Materi Pembelajaran, Metode Pembelajaran, Media Pembelajaran, Sumber Belajar, Langkah-langkah Pembelajaran, dan Penilaian Hasil Pembelajaran.

Merumuskan tujuan pembelajaran dengan pendekatan STEAM perlu menekankan keterampilan berpikir tingkat tinggi atau HOTS (*Higher Order of Thinking Skill*), dan merupakan pembelajaran yang menerapkan model *Problem Based Learning (PBL)* atau *Project based Learning (PjBL)*. Materi pelajaran sebagai ilmu pengetahuan atau menjadi bidang utama dibanding unsur STEAM lainnya. Menurut Permendikbud No.22 Tahun 2016, disebutkan bahwa materi pembelajaran harus memuat fakta, konsep, prinsip, dan prosedur yang relevan, dan ditulis dalam bentuk butir-butir sesuai dengan rumusan IPK (Indikator Pencapaian Kompetensi).

Model-model pembelajaran yang cocok untuk pendekatan pembelajaran STEAM antara lain: Pembelajaran Berbasis *Inkuiri (Inquiry-Based Learning)*; Pembelajaran Berbasis Penemuan (*Discovery Based Learning*), Pembelajaran Berbasis Masalah (*Problem Based Learning*) dan Pembelajaran Berbasis Proyek (*Project Based Learning*) (Musfiqon & Nurdyansyah, 2015). Adapun metode pembelajaran yang sesuai dengan pendekatan STEAM yaitu: Tanya Jawab, Diskusi, Eksperimen, Demonstrasi, Simulasi Inquiry, dan lainnya yang mengedepankan aktivitas kolaborasi antara siswa dan guru.

Menentukan sumber belajar dalam pembelajaran STEAM. Pertama adalah pendekatan "*by design*" dan kedua adalah pendekatan "*by utilization*".

Pada pendekatan *by design*, tujuan pembelajaran dijadikan sebagai acuan. Sedangkan pendekatan *by utilization*, kondisi dan kesiapan atau keberadaan fasilitas TIK-nya itulah yang dijadikan sebagai patokan. Jadi, dalam pendekatan *by utilization*, kita berangkat dari apa yang kita miliki atau apa yang ada di sekolah maupun lingkungan sekitar (Chaeruman, 2008).

Langkah-langkah pembelajaran terdiri dari 3 tahapan yaitu pendahuluan, inti, dan penutup. Pada setiap tahapan harus mengimplementasikan STEAM. *Science* (pengetahuan) di sampaikan atau di informasikan mulai tahap pendahuluan sampai tahap penutup. *Technology* digunakan untuk menampilkan pengetahuan atau untuk melakukan pengamatan terhadap informasi pengetahuan. *Engineering* digunakan untuk mengamati objek *science*. *Art* atau seni ditunjukkan melalui kemampuan dan keterampilan dalam mengkomunikasikan hasil pengamatan dan hasil diskusi. *Mathematics* merupakan kemampuan yang ditunjukkan dalam menganalisis hasil pengamatan yang dilakukan secara teliti dan cermat.

Penilaian terhadap proses dan hasil pembelajaran yang menerapkan pendekatan STEAM hampir sama dengan proses penilaian pembelajaran pada umumnya. Penilaian pembelajaran selalu mengacu pada Indikator Pencapaian Kompetensi dan Tujuan Pembelajarannya serta materi yang telah disampaikan. Teknik dan instrumen serta tahapan penilaian yang digunakan juga sama. Hal yang membedakan penilaian pembelajaran berbasis STEAM yaitu pola pendekatan apa yang akan dipilih. Apakah memilih pola pendekatan tertanam ataukah memilih pola pendekatan terpadu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Ghoni; 1995; *Efek Teratogenik Organofosfat (diazinon) Terhadap Anak Mencit (Mus musculus)*; Thesis Pasca Sarjana Universitas Airlangga; Surabaya.
- Anthony J.Trevor dan Walter L.Way. 1995. *Hipnotik-Sedativa*. Dalam Farmakologi Dasar dan Klinik. Edisi 3, Jakarta: EGC, hlm.287-300.
- Antonio Addis, at.al, 2000, *Can we use anxiolytics during pregnancy without anxiety*, [Http://WWW.matherisk.org/updates/mar00.php3](http://WWW.matherisk.org/updates/mar00.php3).
- Bambang Rahino S. 1986. *Masalah Pengaruh Lingkungan Pada Perkembangan Embrio* (Pidato Pengukuhan Guru Besar). Surabaya: UNAIR Press. 6-15
- Bracken & Holford. 1981. *Diazepam*. In (Friedman J.M. Janine E Polifka). *Teratogenic risk: The effect of Drugs on The Fetus and Nursing Infant*. London: The Johns Hopkins Press. p 204

- Chaeruman, U. A., 2008, *Rencana Pembelajaran Yang Mengintegrasikan Teknologi Informasi Dan Komunikasi*. Pustekom: Jakarta
- Corebima, AD.,2000, *Genetika Mutasi dan Rekombinan*, Malang: JurusanBiologi FPMIPA Universitas Negeri Malang.
- Czeizel. 1976. *Diazepam, phenytoin and etiology of cleft lip and-or-cleft palate*. Lancet 1: 810
- Estu Miyarso, 2019, *Modul 4 Perancangan Pembelajaran inovatif*, Jakarta: Pengembang Substansi PPG Pedagogik.
- Gillberg C. 1977. *Floppy infant syndrome and maternal diazepam*. Lancet 2: 244
- Karl Theiler. 1983. *Embriology*. in (Henry L.Foster et al); *The Mouse in Biomedical Research; Volume III. Normative Biology, Immunology, and Husbandry*; Academic Press Inc; San Diego, California; pp. 121-129
- Kemendikbud. Permendikbud No 22 tahun 2016 Tentang Standar Kompetensi Lulusan Pendidikan Dasar Dan Menengah (2016). Jakarta
- Lukman Hakim. 2001. *Obat dan Kehamilan*.
[Http://www.angelfire.com/id/piogama/obathamil.html](http://www.angelfire.com/id/piogama/obathamil.html).
- Metta Sinta Sari Wiria dan Tony Handoko SK. 1995. *Hipnotik-Sedatif dan Alkohol. Dalam* (Sulistia G.Ganiswarna, dkk). *Anestetik: Farmakologi dan Terapi*. Edisi 4, Jakarta: FK.UI. hlm.124-133.
- Miller and Becker. 1975. *Diazepam (Valium-R)*. In (Thomas H.Shepard). *Teratogenick: Catalog of Teratogenic Agents*. London: The Johns Hopkins Press. p 186
- Mitayani Purwoko, 2019, Faktor Risiko Timbulnya Kelainan Kongenital, *Magna Medika Vol. 6 No.1 Februari 2019.p 51-56*
- Mohamed Izgam Mohamed Ibrahim. 2001. Ubat: *Risiko terhadap janin*.
<http://prn.usm.my/bulletin/racun/1997/um7.html>
- Musfiqon, H., & Nurdyansyah, 2015, Pendekatan Pembelajaran Sainifik. Sidoarjo: Nizamia Learning Center.
- Peter Tyrer, Tony Huggett, Rutherford David; 1981; *Benzodiazepam withdrawal symptoms and propanolol*; Lancet 1:520-522.
- Perez-Laso C.,Valencia A.,Rodriguez-Zafra M.et al. 1994. *Diazepam*. In (Friedman J.M. Janine E Polifka). *Teratogenic risk: The effect of Drugs on The Fetus and Nursing Infant*. London: The Johns Hopkins Press. p 206
- Risto Erkkola dan Jussi Kanto; 1972; *Diazepam and Breast-feeding*; Lancet June 3 1972 p.1235.
- Rosenberg et al. 1983. *Diazepam*. In (Friedman J.M. Janine E Polifka). *Teratogenic risk: The effect of Drugs on The Fetus and Nursing Infant*. London: The Johns Hopkins Press. p 204
- Rodrigue-Safra et al. 1993. *Diazepam*. In (Friedman J.M. Janine E Polifka). *Teratogenic risk: The effect of Drugs on The Fetus and Nursing Infant*. London: The Johns Hopkins Press. p 206

- Robert W McGilvery dan Geral W.Goldstein; 1996; *Biokimia Suatu Pendekatan Fungsional*; Edisi ketiga; Surabaya; Airlangga University Press; Hal.128.
- Saxen I. And Saxen L. 1975. *Asssocation between maternal intake of diazepam and oral cleft*. Lancet 2: 498
- Starzinski, 2017, *Foundational Elements Of A Steam Learning Model For Elementary School*. https://digitalcommons.hamline.edu/hse_all/4349
- Speight ANP. 1977. *Flopy-infant syndrome and maternal diazepam and/or nitrazepam*. Lancet 2: 878
- Sadler TW, 1997, *Embriologi Kedokteran*, alih bahasa, Joko Suyono; eidtor, Devy H. Ronardy, Jakarta: EGC.
- Thomas H.Shepard. 1986. *Catalog of Teratologic Agents*. Fifth Edition. London: The Johns Hopkins Press. p xxii
- Weber. 1985. *Diazepam*. In (Friedman J.M. Janine E Polifka). *Teratogenic risk: The effect of Drugs on The Fetus and Nursing Infant*. London: The Johns Hopkins Press. p 206

Bagian 3

Senyawa Isoflavon Tumbuhan Leguminoceae sebagai Sumber Belajar Berbasis Kearifan Lokal

Cicilia Novi Primiani¹⁾, Mohammad Arfi Setiawan²⁾

¹⁾Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas PGRI Madiun

²⁾Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Madiun

Email: primiani@unipma.ac.id

Abstrak. Leguminoceae merupakan tumbuhan kacang-kacangan/polong-polongan, banyak tumbuh di lingkungan sekitar. Tumbuhan legume banyak dimanfaatkan sebagai sayuran dalam kebutuhan sehari-hari, tetapi belum optimal dalam pemanfaatan dalam bidang kesehatan. Hasil penelitian telah menunjukkan bahwa tumbuhan legume mengandung senyawa isoflavon. Isoflavon tumbuhan legume merupakan senyawa metabolit sekunder, kadar isoflavon dapat dianalisis menggunakan metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Struktur kimia isoflavon menyerupai 17β -estradiol serta sifat fisiologisnya mirip hormon estrogen. Struktur isoflavon mempunyai 12 isomer yang terdiri dari 3 senyawa aglikon yaitu *daidzein*, *genistein*, dan *glycitein* serta glukosida yaitu *daidzin*, *genistin*, *glycitin*, *acetyl-daidzin*, *acetylgenistin*, dan *acetylglycitin*. Sifat estrogenik isoflavon di dalam tubuh memberikan manfaat, bahwa tumbuhan legume dapat digunakan dalam pencegahan, terapi dan kebugaran tubuh. Keberagaman tumbuhan legume yang terdapat di lingkungan sekitar tetapi kemanfaatannya belum optimal, diperlukan upaya edukasi. Tumbuhan legume dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar, sehingga karakteristik tumbuhan legume serta manfaatnya dapat dikenal secara luas. Pengembangan sumber belajar berbasis penelitian (*discovery inquiry*) kearifan lokal tumbuhan legume merupakan upaya meningkatkan berpikir kritis dan pengembangan konsep metodologis.

Kata kunci: Leguminoceae, isoflavon, 17β -estradiol, estrogenik, sumber belajar

Keragaman Tumbuhan Leguminoceae di Indonesia

Keanekaragaman hayati tumbuhan di Indonesia sebagai negara tropis merupakan kekayaan alam yang dapat dimanfaatkan pada semua aspek kehidupan. Hutan tropis mendominasi kawasan hutan di seluruh wilayah Indonesia. Hutan tropis mempunyai tingkat kelembaban tinggi

dengan curah hujan 1200 mm per tahun (Rauf *dkk.*, 2009; Wiharto, 2015; Onrizal *dkk.*, 2017). Kondisi hutan tropis di Indonesia memberikan habitat sangat baik bagi berbagai jenis tumbuhan. Keragaman tumbuhan dapat tumbuh baik di wilayah Nusantara, meskipun tumbuhan tersebut bukan berasal (asli) dari Indonesia.

Salah satu keragaman jenis tumbuhan yang tumbuh subur di Indonesia adalah kacang-kacangan/Leguminoceae. Keragaman jenis kacang-kacangan/legum (kacang kedelai, kapri, gude, kacang tanah, lamtoro, turi, dan masih banyak lagi) banyak dimanfaatkan masyarakat terutama dalam bidang pangan. Berbagai jenis kacang-kacangan di Indonesia merupakan kearifan lokal yang perlu didayagunakan dan dilestarikan. Masyarakat banyak memanfaatkan kacang-kacangan dalam bidang pangan dan belum banyak dikembangkan dalam bidang kesehatan. Penggalan kemanfaatan kacang-kacangan secara lebih luas diperlukan upaya berbagai bidang, agar kacang-kacangan menjadi salah satu komoditas pangan yang dikenal secara luas.

Beberapa jenis tumbuhan kacang-kacangan belum optimal dimanfaatkan, bahkan keberadaannya sampai saat ini terancam punah. Pengembangan budidaya berbagai jenis kacang-kacangan kurang bersifat menyeluruh, sehingga keragaman kacang-kacangan kurang optimal. Ada jenis kacang-kacangan yang dikembangkan secara besar-besaran bahkan dikembangkan di tingkat internasional, tetapi ada jenis kacang-kacangan yang sampai saat ini sulit ditemukan.

Budidaya dan pengembangan kacang kedelai dilakukan terus menerus, bahkan sudah banyak varietas kedelai yang dikembangkan. Salah satu nilai kemanfaatan kacang-kacangan dapat dieksplorasi dari kandungan senyawa kimia yang dimiliki. Keragaman senyawa kimia pada kacang-kacangan menjadi dasar pengembangan budidaya kacang-kacangan, sehingga kacang-kacangan dapat dimanfaatkan dalam bidang kesehatan (Rahman & Parvin, 2014; Diniyah & Lee, 2020; Jimoh *dkk.*, 2020).

Keanekaragaman hayati tumbuhan dapat diklasifikasikan sesuai dengan karakteristiknya. Salah satu klasifikasi adalah kelas Fabaceae atau lebih dikenal dengan Leguminaceae, dikenal sebagai suku polong-polongan (legum) (del Socorro López-Cortez *dkk.*, 2016). Famili Leguminoceae atau tumbuhan legum merupakan jenis tumbuhan berkeping belah (berkeping dua). Tumbuhan dikotil ini lebih masyarakat mengenalnya sebagai tumbuhan kacang-kacangan. Keseluruhan tubuh tumbuhan yaitu bagian akar, batang, bunga, biji, umbi, dan daun memiliki karakteristik morfologi serta mempunyai potensi untuk dapat dimanfaatkan dalam bidang kesehatan dan pangan

(Pina-Pérez & Pérez, 2018; Akram *dkk.*, 2018; Becerra-Tomás *dkk.*, 2019; Shi *dkk.*, 2020).

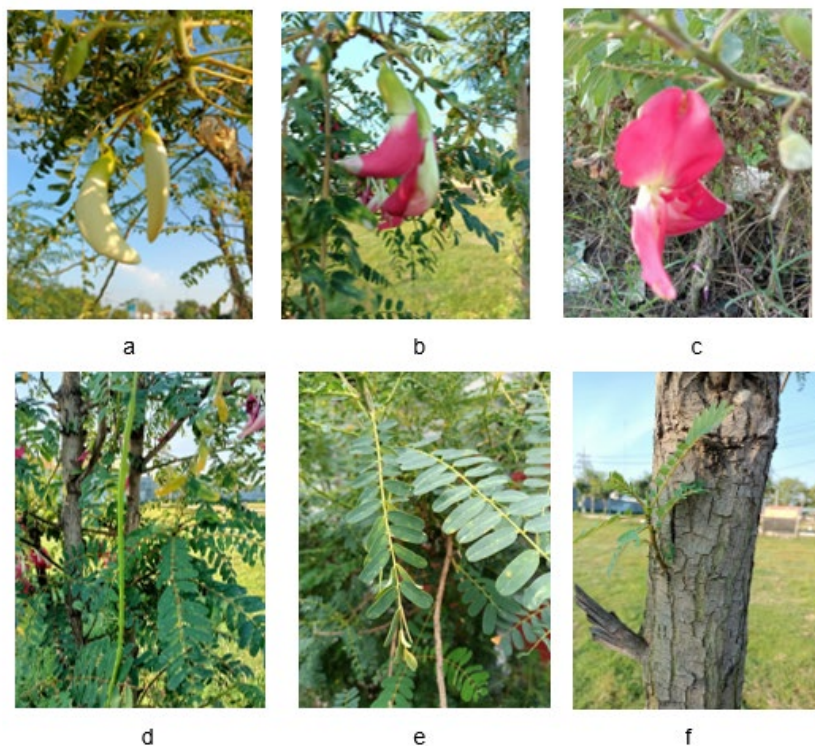
Berbagai jenis tumbuhan kacang-kacangan seperti kacang buncis, kacang kapri, kacang tanah, kacang tunggak, kacang gude, kacang bogor, kacang panjang, kacang hijau, kacang merah, dan kacang kedelai merupakan spesies Leguminaceae (Pratiwi *dkk.*, 2018; Refwallu & Sahertian, 2020). Masyarakat memanfaatkan bengkung adalah bagian umbinya. Pemanfaatan tumbuhan legum sudah sangat beragam, antara lain dalam bidang pangan, kesehatan, kecantikan dan kebugaran. Teknologi pengolahan legum juga sudah banyak berkembang, misalnya susu, olahan pangan, dan kosmetika.

Karakteristik Leguminaceae

Leguminaceae mempunyai karakteristik yaitu: a) tumbuh dengan cara merambat (herba) dan pohon (perdu), b) dikotiledon dengan bijinya terdiri dari dua kotiledon atau disebut berkeping dua, c) sistem perakaran tunggang, bercabang-cabang dan tumbuh jauh ke dalam tanah, d) daun berbentuk kupu-kupu, e) mudah bertumbuh baik pada berbagai situasi dan kondisi tanah. Tumbuhan Leguminaceae, berdasarkan bentuk/morfologinya, terdapat 2, jenis yaitu 1) Leguminaceae bentuk pohon yang merupakan tumbuhan legum berkayu serta tinggi pohon berkisar lebih dari 1,5 m serta 2) Leguminaceae dengan jenis semak, yang merupakan legum dengan bentuk tumbuhan memanjat dan merambat, mempunyai tinggi kurang dari 1,5 m. Tumbuhan Leguminaceae mempunyai karakteristik yaitu: a) bunga bertipe kupu-kupu, zigomorf dengan ciri khas mahkota bunga berlainan bentuknya, b) mahkota bunga dibedakan menjadi tiga bagian, bendera, alae (sayap) dan lunas (carina) melindungi benang sari dan putik, c) buahnya bertipe polong-polongan, d) tipe daun majemuk, dan e) batangnya berkayu (Annor *dkk.*, 2014). Adapun karakteristik tumbuhan legume seperti pada Gambar 1.

Tumbuhan Leguminaceae dapat melakukan konversi nitrogen (N_2) di atmosfer menjadi komponen nitrogen (N_2), hal ini dapat digunakan tumbuhan di sekitarnya. Kondisi ini disebabkan adanya nodul-nodul pada akar legum yang mengandung bakteri Rhizobium. Rhizobium merupakan bakteri yang mempunyai hubungan erat/simbiosis dengan tumbuhan legume itu sendiri dalam melakukan proses fiksasi nitrogen (Oke & Long, 1999; Sari & Prayudyaningsih, 2015; Meitasari & Wicaksono, 2018; Masson-Boivin, & Sachs, 2018). Proses fiksasi nitrogen ini diperlukan untuk keperluan tumbuhan itu sendiri. Simbiosis/hubungan timbal balik yang terjadi adalah tumbuhan legum memberikan suplai bakteri dengan sumber karbon (C) yang

diproduksi melalui proses fotosintesis. Kondisi ini menyebabkan tumbuhan legum mampu bertahan hidup dan bersaing secara efektif pada suatu daerah dengan kondisi kekurangan nitrogen.



Gambar 1. Karakteristik tumbuhan Leguminoceae
a) Bunga turi bentuk kupu-kupu, b) Bunga turi merah, c) Ketiga bagian mahkota bunga
d) Biji turi bentuk polong, e) Daun bertipe majemuk, f) Batang berkayu

Senyawa Isoflavon pada Tumbuhan Leguminoceae

Senyawa metabolit sekunder merupakan senyawa organik yang disintesis oleh tumbuhan. Salah satu senyawa metabolit sekunder adalah isoflavon beserta senyawa turunannya. Isoflavon beserta turunannya merupakan senyawa metabolit sekunder pada tumbuhan Leguminoceae. Isoflavon merupakan senyawa fenol yang struktur senyawa kompleks. Senyawa isoflavon sebagai senyawa kompleks, disebabkan karena senyawa gugus fenolik berkonjugasi dengan senyawa gula yang dihubungkan melalui ikatan glikosida (Szeja *dkk.*, 2017).

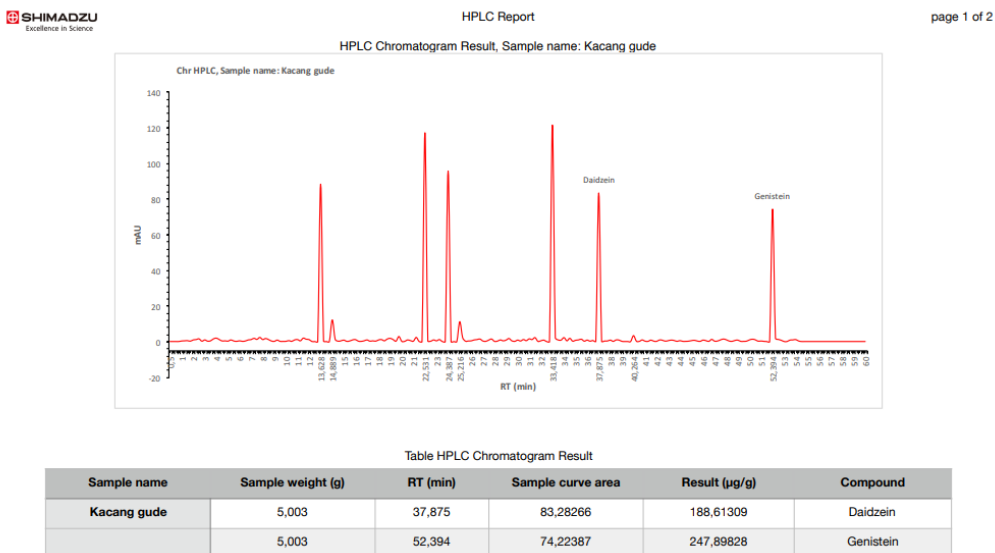
Isoflavon sering disebut sebagai senyawa dengan keunikan tertentu. Keunikan isoflavon disebabkan karena selama proses pengolahan secara fermentasi maupun non fermentasi, senyawa isoflavon mengalami proses hidrolisa. Proses hidrolisa senyawa isoflavon menghasilkan senyawa isoflavon bebas disebut sebagai senyawa aglikon. Berbagai hasil penelitian menjelaskan bahwa senyawa aglikon mempunyai aktivitas lebih baik di dalam tubuh. Aktivitas biologis senyawa isoflavon dalam sistem biologis tubuh telah banyak dibahas, hal inilah sebagai dasar, bahwa senyawa isoflavon dapat dikembangkan untuk inovasi pangan fungsional dan kesehatan.

Karakteristik senyawa isoflavon pada tumbuhan dapat dianalisis menggunakan metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Metode HPLC disebut juga dengan metode kromatografi cair kinerja tinggi. Metode ini merupakan teknik analisis pengujian sangat berkembang, sampai saat ini digunakan untuk analisis pemisahan senyawa kimia suatu bahan. Metode HPLC telah banyak digunakan dalam memisahkan senyawa dalam bahan alam. Peralatan/instrumentasi HPLC secara prinsip dasar terdiri dari: suatu tempat/wadah fase gerak, alat pompa, alat tempat inject, peralatan kolom detektor, tempat/wadah penampung pembuangan fase gerak, seperangkat komputer, seperangkat alat perekam/integrator. Salah satu hasil penelitian yang telah dilakukan analisis senyawa isoflavon pada biji kacang gude, seperti pada Gambar 2. Adapun serangkaian instrumentasi HPLC, menggunakan sistem HPLC Shimadzu seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Instrumentasi HPLC analisa isoflavon

HPLC apparatus model	Shimadzu
system controller	SCL 10 AVP
solvent delivering unit	LC 20 AT
Column oven	CTO 10 ASVP
Detector	SPD 20 A UV Vis Detector
Column	C 18,5 μm Shimadzu 120 x 4.6 mm,
Column temperature	25° C,
Mobile phase	Acetonitrile 20% in acetic acid 3%
Mobile phase method	Isocratic method
Flow rate	0,8 ml/min
Injection volume	20 μl
Wavelength detector	261 nm
Run time	60 min
HPLC method	Isoflavon method

Berdasarkan hasil analisis HPLC biji kacang gude (Gambar 2) menunjukkan bahwa senyawa daidzein dan genistein merupakan senyawa derivat isoflavon dengan kadar tertentu (188,61309 µg/g dan 247,89828 µg/g)



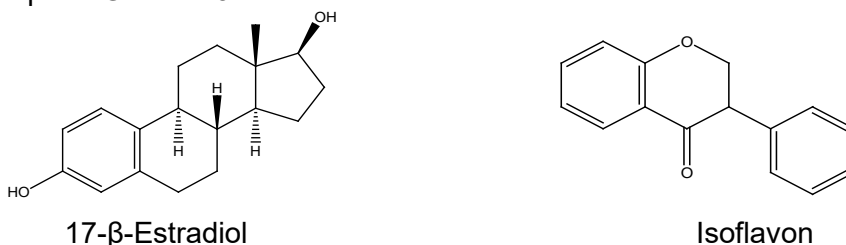
Gambar 2. Hasil kromatografi biji kacang gude

Struktur Kimia dan Sifat Isoflavon

Flavonoid merupakan senyawa polifenol dengan 15 atom karbon yang tersusun dalam konfigurasi $C_6 - C_3 - C_6$. Konfigurasi flavonoid terdiri dari 2 gugus atom C_6 (maksudnya adalah cincin benzene tersubstitusi) dan dihubungkan dengan ikatan rantai alifatik 3 atom karbon (Wang & Bi, 2018). Senyawa isoflavon sebagai senyawa polifenol, golongan flavonoid, dengan struktur 15 atom karbon, serta dua cincin benzena (C_6) terikat pada rantai propana (C_3) dan 2 senyawa fenol serta terikat rantai propana (C_3). Profil struktur flavonoid sering disebut sebagai fenilbenzopiron (Arifin & Ibrahim, 2018). Isoflavon merupakan kelompok terbesar dari isoflavonoid, sebagai metabolit sekunder yang ditemukan pada tumbuhan famili Leguminoceae/Fabaceae (Ko, 2014; Barreira *dkk.*, 2017; Primiani *dkk.*, 2018). Menurut Kim *dkk.*, 2008, isoflavonoids diklasifikasikan menjadi isoflavones, isoflavanones, isoflavanols, isoflavans, rotenoids, dan pterocarpans (Foudah & Abdel-Kader, 2017).

Struktur isoflavon mempunyai 12 isomer yang terdiri dari 3 senyawa aglikon yaitu *daidzein*, *genistein*, dan *glycitein* serta glukosida yaitu *daidzin*,

genistin, *glycitin*, *acetyl-daidzin*, *acetylgenistin*, dan *acetylglycitin* (Křížová *dkk.*, 2019). Isoflavon juga memiliki struktur yang mirip dengan hormon estrogen (estradiol). Chen *dkk.*, 2015). Struktur kimia isoflavon dan estradiol terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kimia 17-β- estradiol dan isoflavon

Struktur kimia isoflavon mirip dengan struktur estrogen (Gambar 3) (Nikolić *dkk.*, 2017). Struktur kimia isoflavon menyerupai 17β-estradiol serta sifat fisiologisnya mirip hormon estrogen (Cai *dkk.*, 2005; Bolca *dkk.*, 2009; Uifălean *dkk.*, 2016). Berdasarkan struktur kimianya yang mirip dengan hormon estrogen inilah, maka senyawa isoflavon mempunyai sifat estrogenik dalam tubuh (Möller *dkk.*, 2016). Sifat estrogenik dalam tubuh senyawa isoflavon mirip dengan sifat estrogenik hormon estrogen. Adanya sifat estrogenik inilah, maka senyawa isoflavon dapat digunakan dalam bidang kesehatan. Hormon estrogen dapat digunakan dalam terapi penyakit kardiovaskuler (Gil-Izquierdo *dkk.*, 2012), mereduksi resiko osteoporosis (Nurrochmad *dkk.*, 2010) dan mereduksi gejala-gejala menopause (Zheng *dkk.*, 2016). Penggunaan fitoestrogen dapat mereduksi *hot flush* (Chen *dkk.*, 2015).

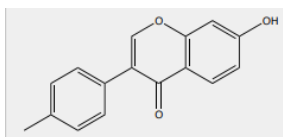
Senyawa isoflavon mempunyai struktur kimia mirip dengan 17β-estradiol yang berasal dari berbagai tumbuhan sering disebut sebagai fitoestrogen (Pabich & Materska, 2019). Sifat dan katakteristik fitoestrogen dapat memberikan potensi dan sifat estrogenik dalam tubuh. Berbagai tumbuhan dengan kandungan isoflavon dimanfaatkan sebagai terapi. Isoflavon pada kedelai berkontribusi terhadap integritas uteus tikus diabetik (Carbonel *dkk.*, 2018). Isoflavon dapat mencegah dan terapi kanker prostat (Sivoňová *dkk.*, 2019).

Kemiripan struktur kimia isoflavon dengan struktur kimia hormon estrogen atau kemiripan dengan 17 β estradiol, menyebabkan sifat fisiologis isoflavon mirip dengan estrogen. Sifat estrogenik isoflavon menyebabkan semakin berkembangnya penelitian terkait dengan potensi isoflavon di bidang kesehatan. Hasil-hasil penelitian isoflavon telah banyak dilakukan, dimanfaatkan dan telah dikomersialkan. Salah satu contoh adalah produk

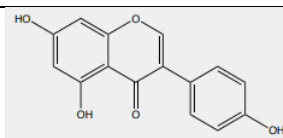
suplemen makanan dan suplemen kesehatan. Penelitian yang dilakukan pada pengembangan senyawa pada tumbuhan.

Isoflavon merupakan salah satu senyawa metabolit sekunder yang tersebar di berbagai bagian tubuh tumbuhan sebagai bentuk glikosida 6"-O-malonyl-7-O- β -D-glucosida dan 6"-O-acetyl-7-O- β -D-glucosida yang secara biologis inaktif (Brown & Setchell, 2001; Wiseman *dkk.*, 2002) telah mengkaji sejumlah 12 isomer isoflavon yang terdiri dari 3 senyawa aglikon (daidzein, genistein, dan glycitein) serta glukosida (daidzin, genistin, glycitin, acetyl-daidzin, acetylgenistin, acetylglycitin), strukturnya terdapat pada Gambar 4. Berdasarkan analisis *nuclear magnetic resonance* (NMR) struktur isoflavon membentuk isomer. Struktur fenolik isoflavon mengalami proses metabolisme sangat besar setelah proses pencernaan oleh mikroba intestinum. Senyawa metabolit polifenol mempunyai aktivitas biologis lebih tinggi daripada komponen tunggal (Jiang *dkk.*, 2009).

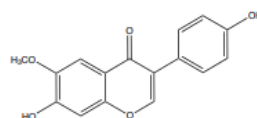
daidzein



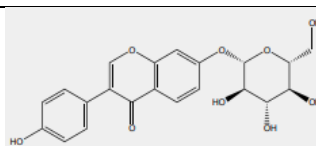
genistein



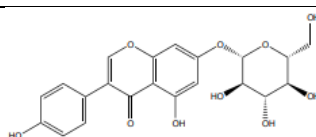
glycitein

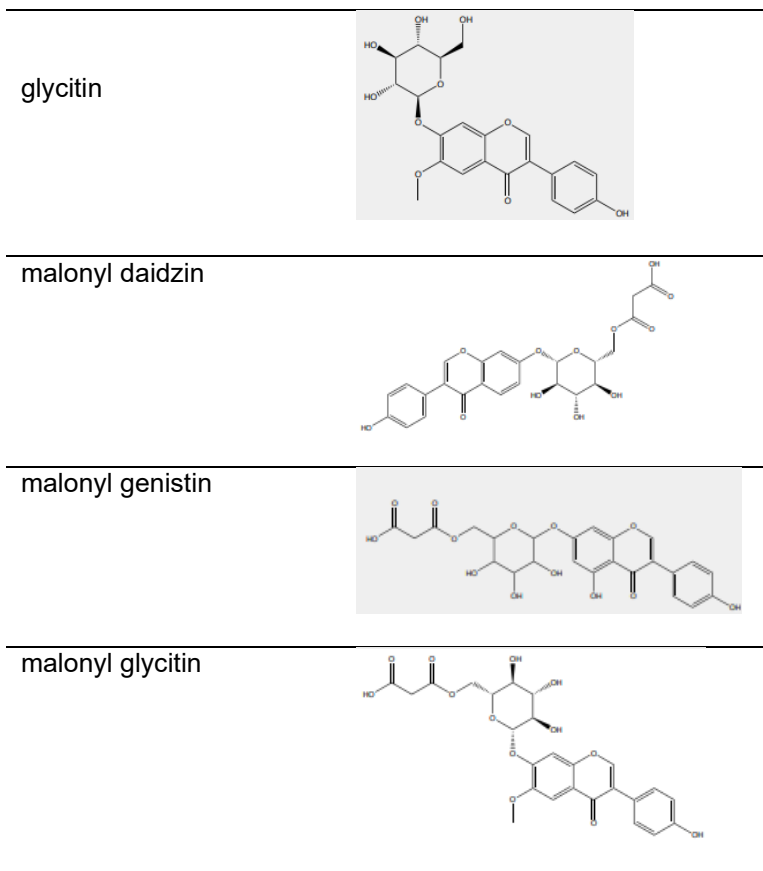


daidzin



genistin





Gambar 4. Isomer isoflavon: daidzein, genistein, glycitein, daidzin, genistin, glycitin, malonyl daidzin, malonyl genistin, malonyl glycitin

Berdasarkan struktur kimia isoflavon mirip dengan hormon estrogen (17β estradiol), maka keberadaan isoflavon dalam tubuh dapat bertindak sebagai hormon estrogen. Aktivitas isoflavon dalam tubuh dapat berlaku seperti aktivitas hormon estrogen itu sendiri. Isoflavon dapat meningkatkan atau mengurangi aktivitas hormon estrogen (Barnes, 2010). Kemiripan struktur kimia isoflavon seperti estrogen, menyebabkan isoflavon dapat menduduki reseptor estrogen, sehingga perilaku isoflavon juga mirip estrogen. Sifat dan perilaku isoflavon sering dikatakan bahwa isoflavon sebagai senyawa *estrogen like*, yang mempunyai kinerja dengan cara meniru kinerja hormon estrogen. Berdasarkan sifat isoflavon dalam tubuh, maka keberadaan isoflavon dapat dimanfaatkan oleh tubuh itu sendiri untuk mengatasi permasalahan kesehatan (Uifălean *dkk.*, 2016).

Isoflavon dapat berkompetisi dengan estrogen dalam tubuh untuk menduduki reseptor estrogen yang sama, sehingga mengurangi risiko terhadap adanya kelebihan estrogen (Morito *dkk.*, 2001; Morito *dkk.*, 2002). Adanya cincin fenolat yang dimiliki isoflavon, maka isoflavon dapat berikatan dengan reseptor estrogen. Keberadaan isoflavon dalam tubuh juga dapat meningkatkan aktivitas estrogen itu sendiri. Kondisi menopause (estrogen dalam tubuh kurang), maka isoflavon dapat berikatan dengan reseptor estrogen, sehingga isoflavon dapat bertindak layaknya hormon estrogen, sehingga gejala-gejala menopause dapat dikurangi. Kondisi kurangnya isoflavon tidak hanya terjadi pada saat menopause saja, tetapi juga beberapa penyakit estrogenik lainnya. Berdasarkan sifat dan karakter isoflavon, maka isoflavon sering digunakan sebagai bahan terapi estrogenik.

Isoflavon merupakan salah satu senyawa metabolit sekunder yang banyak diteliti terutama isoflavon yang berasal dari berbagai tumbuhan Leguminoceae, salah satunya kedelai. Kedelai dan produk olahannya telah mendominasi sebagai subjek penelitian yang telah mendunia. Berbagai produk makanan olahan kedelai telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan terapi estrogenik. Berdasarkan hal tersebut, apabila pembahasan tentang isoflavon, masyarakat mengkorelasikannya dengan kedelai, demikian sebaliknya. Kedelai dan produk-produk olahannya, menjadi topik utama dalam pembahasan beberapa bahan pangan dan produk olahannya juga telah banyak diteliti tentang kandungan isoflavon.

Pengembangan Leguminoceae Lokal

Masyarakat mengenal tumbuhan Leguminoceae/legume sebagai tumbuhan kacang-kacangan atau polong-polongan antara lain kacang kedelai, kacang hijau, kacang tanah, kacang merah, kacang tunggak dan kacang gude (Primiani, 2018). Berbagai tumbuhan legume masih banyak yang tumbuh baik di lingkungan sekitar yaitu buncis, kacang panjang, kacang kapri, bengkuang, dan sebagainya. Salah satu tumbuhan legum yang sangat dikenal masyarakat adalah kedelai. Kedelai menjadi kebutuhan bahan pangan utama/pokok di samping beras (Ariani, 2015; Rusdiana & Maesya, 2017). Kedelai menjadi prioritas yang terus meningkat, hal ini dapat menyebabkan peningkatan pemenuhan produktivitas kedelai (Pratama & Sahaya, 2014).

Banyak produk olahan berbahan dasar kedelai telah dikembangkan masyarakat. Pembudidayaan kedelai banyak dikembangkan, sehingga kedelai lokal banyak mengalami pembudidayaan. Saat ini banyak ditemukan di pasaran berbagai produk pembudidayaan kedelai. Kedelai sebagai sumber

pangan fungsional telah menjadi produk unggulan pada masyarakat global. Pengembangan produk kedelai di Indonesia sebagai produk tahu dan tempe dengan berbagai variasinya sebagai bahan pangan (Krisnawati, 2017).

Diversifikasi pangan khususnya keragaman tumbuhan Leguminoceae perlu disebarluaskan dan dikembangkan untuk masyarakat, sehingga tidak terus menerus bergantung pada kedelai saja. Kacang-kacangan lainnya selain kedelai di Indonesia masih belum optimal dimanfaatkan. Pengenalan tumbuhan legume kepada masyarakat tidak hanya kedelai, sehingga Leguminoceae lokal dapat berkembang di era global. Masyarakat semakin lama semakin tidak mengenal tumbuhan kacang-kacangan lain selain kedelai, apabila kondisi tersebut tidak ada solusinya, maka tumbuhan kacang-kacangan lainnya semakin lama dapat semakin hilang dan punah (Arsyad & Sembiring, 2003; Matiru & Dakora, 2005; Haliza *dkk.*, 2016). Masyarakat perlu diberikan pengetahuan secara luas, agar memanfaatkan berbagai kacang-kacangan dan tidak bergantung pada kedelai. Diperlukan juga pengetahuan pengolahan berbagai produk kacang-kacangan menjadi beragam bahan makanan olahan yang sehat, murah dan tidak mengandung bahan kimia.

Pemanfaatan Hasil Penelitian sebagai Sumber Belajar

Keberagaman Leguminoceae yang dapat tumbuh baik di lingkungan sekitar, masyarakat belum memanfaatkannya secara optimal. Diperlukan upaya edukasi, sehingga manfaat Leguminoceae dapat dikenal lebih luas, sebagai pangan fungsional dan kesehatan. Upaya edukasi dapat dilakukan melalui pembelajaran berbasis penelitian (*discovery inquiry*). Proses pembelajaran memerlukan sebuah sumber belajar, agar pembelajaran menjadi lebih bermakna (Supriadi, 2017). Pembelajaran mandiri diarahkan pada pembelajaran secara inovasi, sehingga mampu mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Pengalaman belajar secara mandiri melalui pembelajaran berbasis penelitian (*discovery inquiry*) dapat dibudayakan, sehingga mampu melatih membangun konsep berpikir (Listiyani, 2016; Ahmatika, 2016; Banawi, 2019).

Belajar dengan *discovery inquiry* dapat mengembangkan pengalaman untuk menemukan pengalaman belajar secara mandiri, membangun konsep berpikir kritis, kreatif, konsep berpikir divergen dalam pemecahan, memudahkan konsep berpikir abstrak (Hooser, & Sabella, 2018; Perdana *dkk.*, 2018; Constantinou *dkk.*, 2018). Konsep-konsep dalam proses pembelajaran *discovery inquiry* merupakan proses pembelajaran yang dilakukan secara holistik (Naude *dkk.*, 2014). Pembelajaran dengan

pendekatan penemuan dapat memotivasi terbentuknya pola berpikir secara komprehensif (Todd, 2015).

Pembelajaran *discovery inquiry* merupakan konsep pembelajaran dengan menekankan pada proses pemecahan masalah (Hall, 2016). Konsep pembelajaran ini merupakan konsep pembelajaran penemuan dalam memecahkan masalah. Kegiatan pembelajaran diarahkan pada konsep penelitian. Kegiatan pembelajaran penemuan/penelitian berdasarkan konsep metode ilmiah, dimulai dari: 1) merumuskan masalah, 2) menyusun hipotesis, 3) melakukan penelitian, 4) menganalisis data, dan 5) menetapkan kesimpulan. Pembelajaran dengan pendekatan penelitian merupakan pembelajaran yang membangun budaya peneliti dan mengembangkan sikap ilmiah (Sihombing, 2019; Akuba *dkk.*, 2020).

Pengembangan sikap ilmiah yang perlu dibangun dalam pembelajaran pendekatan penemuan/penelitian adalah penekanan nilai-nilai kejujuran dan mengapresiasi nilai-nilai kearifan lokal. Potensi dan nilai-nilai kearifan lokal dapat diintegrasikan dalam pembelajaran pendekatan/berbasis penemuan. Hasil-hasil penelitian berbasis potensi kearifan lokal dapat dikembangkan sebagai sumber belajar (Rusmana *dkk.*, 2019). Berbagai hasil penelitian berbasis potensi kearifan lokal digunakan sebagai sumber belajar (Jayanti *dkk.*, 2020; Zukmadini *dkk.*, 2020). Hasil-hasil penelitian digunakan sebagai sumber belajar, sehingga kegiatan pembelajaran menjadi kontekstual menggunakan sumber belajar dari lingkungan sekitar.

Kegiatan pembelajaran berbasis penelitian keberagaman tumbuhan Leguminoceae dapat dilakukan dengan observasi keanekaragaman hayati tumbuhan legume. Observasi dapat dilakukan terhadap morfologi, taksonomi tumbuhan legume. Pembelajaran berbasis penelitian dengan pendekatan eksperimen di laboratorium untuk menganalisis keragaman senyawa metabolit sekunder tumbuhan legume. Data hasil penelitian tumbuhan legume dapat digunakan sebagai sumber belajar. Tumbuhan legume serta produk olahan pangan legume dapat digunakan sebagai sumber belajar. Berbagai biji legume dapat diolah menjadi produk teknologi pangan seperti susu, biskuit, kosmetik, dan masih banyak produk olahan lainnya. Pengenalan legume beserta produk olahannya dalam kegiatan pembelajaran merupakan sarana edukasi pengenalan tumbuhan legume. Kegiatan edukasi tumbuhan lokal sebagai salah satu apresiasi terhadap warisan budaya.

Daftar Pustaka

- Ahmatika, D. (2016). Peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa dengan pendekatan inquiry/discovery. *Euclid*, 3(1).
- Akram, N. A., Shafiq, F., & Ashraf, M. (2018). Peanut (*Arachis hypogaea* L.): A prospective legume crop to offer multiple health benefits under changing climate. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17(5), 1325-1338.
- Akuba, S. F., Purnamasari, D., & Firdaus, R. (2020). Pengaruh Kemampuan Penalaran, Efikasi Diri dan Kemampuan Memecahkan Masalah Terhadap Penguasaan Konsep Matematika. *JNPM (Jurnal Nasional Pendidikan Matematika)*, 4(1), 44-60.
- Annor, G. A., Ma, Z., & Boye, J. I. (2014). Crops-legumes. Food Processing: Principles and Applications: Second Edition.
- Ariani, M. (2015). Dinamika Konsumsi Beras, Jagung dan Kedelai Mendukung Swasembada Pangan. *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*.
- Arifin, B., & Ibrahim, S. (2018). Struktur, bioaktivitas dan antioksidan flavonoid. *Jurnal Zarah*, 6(1), 21-29.
- Arsyad, D. M., & Sembiring, H. (2003). Pengembangan tanaman kacang-kacangan di Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Litbang Pertanian*, 22(1), 9.
- Banawi, A. (2019). Implementasi Pendekatan Saintifik Pada Sintaks Discovery/Inquiry Learning, Based Learning, Project Based Learning. *Biosel: Biology Science and Education*, 8(1), 90-100.
- Barnes, S. (2010). The biochemistry, chemistry and physiology of the isoflavones in soybeans and their food products. *Lymphatic research and biology*, 8(1), 89-98.
- Barreira, J. C., Visnevski-Necrasov, T., Pereira, G., Nunes, E., & Oliveira, M. B. P. (2017). Phytochemical profiling of underexploited Fabaceae species: insights on the ontogenic and phylogenetic effects over isoflavone levels. *Food Research International*, 100, 517-523.
- Becerra-Tomás, N., Papandreou, C., & Salas-Salvadó, J. (2019). Legume consumption and cardiometabolic health. *Advances in Nutrition*, 10(Supplement_4), S437-S450.
- Bolca, S., Wyns, C., Possemiers, S., Depypere, H., De Keukeleire, D., Bracke, M., ... & Heyerick, A. (2009). Cosupplementation of isoflavones, prenylflavonoids, and lignans alters human exposure to phytoestrogen-derived 17 β -estradiol equivalents. *The Journal of nutrition*, 139(12), 2293-2300.
- Brown, N. M., & Setchell, K. D. (2001). Animal models impacted by phytoestrogens in commercial chow: implications for pathways influenced by hormones. *Laboratory investigation*, 81(5), 735-747.
- Cai, D. J., Zhao, Y., Glasier, J., Cullen, D., Barnes, S., Turner, C. H., ... & Weaver, C. M. (2005). Comparative effect of soy protein, soy isoflavones, and 17 β -estradiol on bone metabolism in adult

- ovariectomized rats. *Journal of Bone and Mineral Research*, 20(5), 828-839.
- Carbonel, A. A. F., Lima, P. D. A., Lim, J. J., Fuchs, L. F. P., Paiotti, A. P. R., Sasso, G. R. D. S., ... & Simoes, M. D. J. (2018). The effects of soybean isoflavones and 17 β -estradiol in uterus and mammary glands of diabetic rat models. *Gynecological Endocrinology*, 34(4), 314-319.
- Chen, M. N., Lin, C. C., & Liu, C. F. (2015). Efficacy of phytoestrogens for menopausal symptoms: a meta-analysis and systematic review. *Climacteric*, 18(2), 260-269.
- Constantinou, C. P., Tsivitanidou, O. E., & Rybska, E. (2018). What is inquiry-based science teaching and learning?. In *Professional development for inquiry-based science teaching and learning* (pp. 1-23). Springer, Cham.
- del Socorro López-Cortez, M., Rosales-Martínez, P., Arellano-Cárdenas, S., & Cornejo-Mazón, M. (2016). Antioxidants properties and effect of processing methods on bioactive compounds of legumes. *IntechOpen Ltd.: London, UK*, 103-126.
- Diniyah, N., & Lee, S. H. (2020). Komposisi Senyawa Fenol dan Potensi Antioksidan dari Kacang-Kacangan. *Jurnal Agroteknologi*, 14(01), 91-102.
- Foudah, A. I., & Abdel-Kader, M. S. (2017). Isoflavonoids. In *Flavonoids-From Biosynthesis to Human Health*. IntechOpen.
- Gil-Izquierdo, A., L Penalvo, J., I Gil, J., Medina, S., N Horcajada, M., Lafay, S., ... & Ferreres, F. (2012). Soy isoflavones and cardiovascular disease epidemiological, clinical and-omics perspectives. *Current pharmaceutical biotechnology*, 13(5), 624-631.
- Haliza, W., Purwani, E. Y., & Thahir, R. (2016). Pemanfaatan kacang-kacangan lokal sebagai substitusi bahan baku tempe dan tahu. *Buletin Teknologi Pasca Panen*, 3(1), 1-8.
- Hall, C. L. (2016). Science as process in the biology classroom: using insects as teaching models. *American Entomologist*, 62(2), 110-111.
- Hooser, A., & Sabella, L. (2018). Inquiry, Discovery, and the Complexities of Teaching: Learning from the Research of Practitioners. *Journal of Practitioner Research*, 3(1), 1.
- Jayanti, U. N. A. D., Susilo, H., & Suarsini, E. (2020). Modul Inkuiri Berbasis Potensi dan Kearifan Lokal pada Materi Biologi: Sebuah Penelitian Pengembangan. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, dan Pengembangan*, 5(9), 1265-1276.
- Jiang, F., J Husband, A., & J Disting, G. (2009). Isoflavone Metabolites Cis- and Trans-Tetrahydrodaidzein Improve Plasma Lipid Profile in Apolipoprotein (E)-Deficient Mice. *The Open Complementary Medicine Journal*, 1(1).

- Jimoh, M. A., Idris, O. A., & Jimoh, M. O. (2020). Cytotoxicity, phytochemical, antiparasitic screening, and antioxidant activities of *Mucuna pruriens* (Fabaceae). *Plants*, 9(9), 1249.
- Kim, M. H., Han, J. H., & Kim, S. U. (2008). Isoflavone daidzein: chemistry and bacterial metabolism. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 51(6), 253-261.
- Ko, K. P. (2014). Isoflavones: chemistry, analysis, functions and effects on health and cancer. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15(17), 7001-7010.
- Krisnawati, A. (2017). Kedelai sebagai sumber pangan fungsional soybean as source of functional food. *Iptek Tanaman Pangan*, 12(1), 57-65.
- Křížová, L., Dadáková, K., Kašparovská, J., & Kašparovský, T. (2019). Isoflavones. *Molecules*, 24(6), 1076.
- Listiyani, F. R. (2016). *Penerapan pendekatan discovery learning untuk meningkatkan hasil belajar siswa pada tema selalu berhemat energi subtema macam-macam sumber energi* (Doctoral dissertation, FKIP UNPAS).
- Masson-Boivin, C., & Sachs, J. L. (2018). Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia—the roots of a success story. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 7-15.
- Matiru, V. N., & Dakora, F. D. (2005). The rhizosphere signal molecule lumichrome alters seedling development in both legumes and cereals. *New phytologist*, 166(2), 439-444.
- Meitasari, A. D., & Wicaksono, K. P. (2018). Inokulasi rhizobium dan perimbangan nitrogen pada tanaman kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) varietas wilis. *Plantropica: Journal of Agricultural Science*, 2(1), 55-63.
- Möller, F. J., Pemp, D., Soukup, S. T., Wende, K., Zhang, X., Zierau, O., ... & Vollmer, G. (2016). Soy isoflavone exposure through all life stages accelerates 17 β -estradiol-induced mammary tumor onset and growth, yet reduces tumor burden, in ACI rats. *Archives of toxicology*, 90(8), 1907-1916.
- Morito, K., Aomori, T., Hirose, T., Kinjo, J., Hasegawa, J., Ogawa, S., ... & Masamune, Y. (2002). Interaction of phytoestrogens with estrogen receptors α and β (II). *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 25(1), 48-52.
- Morito, K., Hirose, T., Kinjo, J., HIRAKAWA, T., OKAWA, M., NOHARA, T., ... & MASAMUNE, Y. (2001). Interaction of phytoestrogens with estrogen receptors α and β . *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 24(4), 351-356.
- Naude, L., van den Bergh, T. J., & Kruger, I. S. (2014). "Learning to like learning": An appreciative inquiry into emotions in education. *Social Psychology of Education*, 17(2), 211-228.

- Nikolić, I. L., Savić-Gajić, I. M., Tačić, A. D., & Savić, I. M. (2017). Classification and biological activity of phytoestrogens: A review. *Advanced technologies*, 6(2), 96-106.
- Nurrochmad, A., Leviana, F., Wulancarsari, C. G., & Lukitaningsih, E. (2010). Phytoestrogens of *Pachyrhizus erosus* prevent bone loss in an ovariectomized rat model of osteoporosis. *International Journal of Phytomedicine*, 2(4).
- Oke, V., & Long, S. R. (1999). Bacterial genes induced within the nodule during the *Rhizobium*-legume symbiosis. *Molecular microbiology*, 32(4), 837-849.
- Onrizal, O., Ismail, I., Perbatakusuma, E. A., Sudjito, H., Supriatna, J., & Wijayanto, I. H. (2017). Struktur Vegetasi dan Simpanan Karbon Hutan Hujan Tropika Primer DI Batang Toru, Sumatra Utara. *Jurnal Biologi Indonesia*, 5(2).
- Pabich, M., & Materska, M. (2019). Biological effect of soy isoflavones in the prevention of civilization diseases. *Nutrients*, 11(7), 1660.
- Perdana, R., Budiyo, Sajidan, & Sukarmin. (2018, September). Inquiry laboratory: An appropriate learning model for teaching salt hydrolysis in chemistry. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2014, No. 1, p. 020069). AIP Publishing LLC.
- Pina-Pérez, M. C., & Pérez, M. F. (2018). Antimicrobial potential of legume extracts against foodborne pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 114-124.
- Pratama, B. R., & Sahaya, H. N. (2014). Strategi pengembangan usahatani kedelai untuk mewujudkan ketahanan pangan Indonesia. *JEJAK: Jurnal Ekonomi dan Kebijakan*, 7(2).
- Pratiwi, D. D., Komarayanti, S., & Prafitasari, A. N. (2018). Keanekaragaman kacang-kacangan di kabupaten jember. *Bioma: Jurnal Biologi Dan Pembelajaran Biologi*, 3(2).
- Primiani, C. N. (2018). *Fitoestrogen kacang gude:(kajian preklinis)*. CV. AE MEDIA GRAFIKA.
- Primiani, C. N., Widiyanto, J., Rahmawati, W., & Chandrakirana, G. (2018). Profil Isoflavon Sebagai Fitoestrogen pada Berbagai Leguminoceae Lokal. In *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning* (Vol. 15, No. 1, pp. 704-708).
- Rahman, A. H. M. M., & Parvin, M. I. A. (2014). Study of medicinal uses on Fabaceae family at Rajshahi, Bangladesh. *Research in Plant Sciences*, 2(1), 6-8.
- Rauf, A., Pawitan, H., June, T., Kusmana, C., & Gravenhorst, G. (2009). Intersepsi hujan dan pengaruhnya terhadap pemindahan energi dan massa pada hutan tropika basah” studi kasus taman nasional Lore Lindu”. *Agroland: Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian*, 15(3).

- Refwallu, M. L., & Sahertian, D. E. (2020). Identifikasi tanaman kacang-kacangan (Papilionaceae) yang ditanam di pulau larat kabupaten kepulauan tanimbar. *Biofaal Journal*, 1(2), 66-73.
- Rusdiana, S., & Maesya, A. (2017). Pertumbuhan ekonomi dan kebutuhan pangan di Indonesia. *Agriekonomika*, 6(1), 12-25.
- Rusmana, J., Ramdiah, S., & Prayitno, B. (2019, December). Pengembangan booklet sebagai sumber belajar biologi melalui nilai-nilai kearifan lokal dalam pembuatan bakul purun. In *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 4, No. 3, pp. 603-607).
- Sari, R., & Prayudyaningsih, R. (2015). Rhizobium: pemanfaatannya sebagai bakteri penambat nitrogen. *Buletin Eboni*, 12(1), 51-64.
- Shi, Y., Mandal, R., Singh, A., & Pratap Singh, A. (2020). Legume lipoxygenase: Strategies for application in food industry. *Legume Science*, 2(3), e44.
- Sihombing, J. H. (2019). *Pengembangan lembar kerja peserta didik (lkpd) berbasis inkuiri terbimbing (guided inquiry) pada materi sistem ekskresi* (Doctoral dissertation, UNIMED).
- Sivoňová, M. K., Kaplán, P., Tatarková, Z., Lichardusová, L., Dušenka, R., & Jurečková, J. (2019). Androgen receptor and soy isoflavones in prostate cancer. *Molecular and clinical oncology*, 10(2), 191-204.
- Supriadi, S. (2017). Pemanfaatan Sumber Belajar Dalam Proses Pembelajaran. *Lantanida Journal*, 3(2), 127-139.
- Szeja, W., Gryniewicz, G., & Rusin, A. (2017). Isoflavones, their glycosides and glycoconjugates. Synthesis and biological activity. *Current organic chemistry*, 21(3), 218-235.
- Todd, R. J. (2015). Evidence-Based Practice and School Libraries: Interconnections of Evidence, Advocacy, and Actions. *Knowledge Quest*, 43(3), 8-15.
- Uifălean, A., Schneider, S., Ionescu, C., Lalk, M., & Iuga, C. A. (2016). Soy isoflavones and breast cancer cell lines: molecular mechanisms and future perspectives. *Molecules*, 21(1), 13.
- Wang, T. Y., Li, Q., & Bi, K. S. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13(1), 12-23.
- Wiharto, M. (2015). Kawasan tropis pegunungan sebagai kawasan rawan bencana dengan nilai ekologi tinggi dan upaya pelestariannya. *bionature*, 16(1).
- Wiseman, H., Casey, K., Clarke, D. B., Barnes, K. A., & Bowey, E. (2002). Isoflavone aglycon and glucoconjugate content of high-and low-soy UK foods used in nutritional studies. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(6), 1404-1410.
- Zheng, X., Lee, S. K., & Chun, O. K. (2016). Soy isoflavones and osteoporotic bone loss: a review with an emphasis on modulation of bone remodeling. *Journal of medicinal food*, 19(1), 1-14.

Zukmadini, A. Y., Kasrina, K., Jumiarni, D., & Rochman, S. (2020). Pocketbook based on local wisdom and its effectivity in improving students' knowledge on the utilization of traditional medicine plants. *Biosfer: Jurnal Pendidikan Biologi*, 13(1), 59-74.

Bagian 4

Potensi Buku Ajar Terintegrasi *e-Learning Zoologi Vertebrata (eL-ZOOTA)* di masa Pandemi Covid19

Wachidatul Linda Yuhanna

Pendidikan Biologi, FKIP Universitas PGRI Madiun

Abstrak. Transformasi dunia pendidikan selama pandemi Covid19 membawa dampak yang cukup signifikan. Program digitalisasi berlangsung sangat cepat dan masif. Semua lini pendidikan menggunakan bantuan TIK. Perkuliahan Zoologi Vertebrata juga mengalami tantangan untuk dapat menghadirkan rangkaian aktivitas yang sesuai dengan kompetensi yang diharapkan. Permasalahan selama perkuliahan daring mengarah pada 4 aspek yaitu pemenuhan infrastruktur, pemenuhan bahan ajar, model pembelajaran dan media pembelajaran. Kebutuhan belajar mahasiswa yang menjadi prioritas antara lain buku referensi, internet dan kuota, buku panduan praktikum, kamus nama ilmiah, bahan ajar dan *e-learning*. Integrasi buku ajar dengan penggunaan platform *e-learning* memberikan dukungan pembelajaran mandiri selama pandemi Covid19. Inovasi ini dapat membantu mahasiswa belajar dan memenuhi *learning outcome* yang diharapkan. Buku ajar Zoologi Vertebrata diintegrasikan dengan platform eL-ZOOTA. Adapun potensi buku ajar Zoologi Vertebrata yang terintegrasi eL-ZOOTA adalah 1) Meningkatkan efektifitas dan efisiensi perkuliahan Zoologi Vertebrata. 2) Relevan dengan berbagai gaya belajar mahasiswa. 3) *Database* portofolio tugas mahasiswa terekam dengan baik. 4) Meningkatkan literasi digital. 5) Memperluas jangkauan sumber belajar mahasiswa. 5) Mendorong mahasiswa untuk disiplin dan sistematis.

Kata kunci : Buku ajar, Zoologi Vertebrata, eL-ZOOTA

Pembelajaran Zoologi Vertebrata di masa Pandemi Covid19

Zoologi Vertebrata merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari klasifikasi dan taksonomi hewan bertulang belakang. Zoologi Vertebrata erat kaitannya dengan kehidupan secara kontekstual, maka diperlukan sistem pembelajaran yang mengasah kemampuan mahasiswa dalam mengintegrasikan *basic concept* dengan kehidupan sehari-hari dan memecahkan masalah yang ada di dalamnya. Zoologi Vertebrata membahas

dasar taksonomi, tatanama dan klasifikasi Vertebrata, Pisces, Ampibi, Reptil, Aves, dan Mamalia (Yuhanna *et.al*, 2021). Mata kuliah ini disajikan dalam bentuk penyampaian materi, praktikum dan kunjungan lapangan. Kuliah lapangan terpadu yang dilakukan akan memberi peluang kepada mahasiswa untuk mengeksplorasi objek kajian secara utuh dan otentik.

Pandemi Covid19 membawa dampak yang luar biasa dalam dunia pendidikan. Transformasi pendidikan dari tatap muka menjadi tatap maya saat ini membawa paradigma dan kebiasaan baru. Integrasi teknologi informasi sangat kental dirasakan. Perubahan ini memberikan peluang sekaligus tantangan yang luar biasa bagi dosen maupun mahasiswa. Kebutuhan belajar mahasiswa sangat beragam dalam perkuliahan secara daring di masa Pandemi Covid19. Yuhanna *et.al* (2021) mengungkapkan bahwa permasalahan selama perkuliahan secara umum mengarah pada 4 aspek yaitu pemenuhan infrastruktur, pemenuhan bahan ajar, model pembelajaran dan media pembelajaran. Kebutuhan belajar mahasiswa dengan kriteria tinggi dan menjadi prioritas antara lain buku referensi, internet dan kuota, buku panduan praktikum, kamus nama ilmiah, bahan ajar dan *e-learning*.

Buku Ajar Zoologi Vertebrata

Buku ajar merupakan aspek penting dalam pembelajaran mandiri mahasiswa. Buku ajar adalah buku pegangan untuk suatu mata kuliah yang ditulis dan disusun oleh pakar bidang terkait dan memenuhi kaidah buku teks serta diterbitkan secara resmi dan disebarluaskan. Buku ajar dapat digunakan sebagai bentuk *scaffolding* dalam pembelajaran. Buku ajar adalah buku yang digunakan pada bidang studi tertentu, yang merupakan buku standar yang disusun oleh pakar dalam bidangnya untuk maksud-maksud dan tujuan instruksional, yang dilengkapi dengan sarana-sarana pengajaran yang serasi dan mudah dipahami oleh para pemakainya di sekolah atau perguruan tinggi. Buku ajar diharapkan dapat menunjang suatu program pengajaran yang relevan sesuai dengan konten bidang ilmu tertentu. Hidayat *et.al* (2018) menyampaikan bahwa buku ajar merupakan salah satu sarana penunjang keberhasilan proses belajar mengajar. Buku ajar merupakan suatu kesatuan unit pembelajaran yang berisi informasi, pembahasan serta evaluasi. Buku ajar yang tersusun secara sistematis akan mempermudah mahasiswa dalam materi sehingga mendukung ketercapaian tujuan pembelajaran. Maka dari itu, buku ajar harus disusun secara sistematis, menarik, aspek keterbacaan tinggi, mudah dicerna, dan mematuhi aturan penulisan yang berlaku. Berdasarkan berbagai pandangan diatas, maka

dapat disimpulkan bahwa buku ajar adalah buku yang disusun oleh ahli bidang tertentu, yang isinya relevan dengan topik kajian yang akan dibahas, disusun sistematis dan komprehensif dan digunakan secara luas.

Dipandang dari proses pembelajaran, buku ajar mempunyai peranan penting dalam mendukung kompetensi mahasiswa (Yuhanna dan Retno, 2018). Peranan dan kegunaan buku ajar sebagai berikut 1) Mencerminkan suatu sudut pandang yang tangguh dan modern mengenai pengajaran serta mendemonstrasikan aplikasi dalam bahan pengajaran yang disajikan. 2) Menyajikan suatu sumber pokok masalah atau *subject matter* yang kaya, mudah dibaca dan bervariasi, yang sesuai dengan minat dan kebutuhan para siswa, sebagai dasar bagi program-program kegiatan yang disarankan dimana keterampilan-keterampilan ekspresional diperoleh pada kondisi yang menyerupai kehidupan yang sebenarnya. 3) Menyediakan suatu sumber yang tersusun rapi dan bertahap mengenai keterampilan-keterampilan ekspresional. 4) Menyajikan fiksasi awal yang perlu sekaligus juga sebagai penunjang bagi latihan dan tugas praktis. 5) Menyajikan bahan atau sarana evaluasi dan remedial yang serasi dan tepat guna. Buku ajar Zoologi Vertebrata selama ini dirancang dengan mengintegrasikan kompetensi yang diharapkan sesuai dengan capaian pembelajaran. Buku ajar yang dikembangkan di program studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Madiun mencakup konten yang berisi tentang apersepsi, materi, proyek ilmiah, review konten digital, uji kompetensi dan refleksi diri. Buku ini disusun sesuai dengan analisis kebutuhan mahasiswa yang menempuh mata kuliah Zoologi Vertebrata.

E-learning content

Tantangan pendidikan saat ini mengarah pada revolusi industri 4.0 yang berbasis IT dan *big data*. Efek pandemi Covid19 juga mendorong percepatan ke arah digitalisasi. Pengembangan sistem pembelajaran secara daring banyak dilakukan, salah satunya adalah dengan *e-learning*. Konsep dari *e-learning* itu bisa bervariasi tergantung dari penyelenggara kegiatan *e-learning* tersebut dan bagaimana cara penggunaannya, termasuk juga apa tujuan penggunaannya (Coopasami, Knight, & Pete, 2017). *E-learning* merupakan proses dan kegiatan penerapan pembelajaran berbasis *web*, pembelajaran berbasis komputer, kelas *virtual* dan kelas *digital* (Alkhalaf *et.al*, 2012). Berdasarkan berbagai pendapat di atas, maka dapat disimpulkan bahwa *e-learning* adalah kegiatan pembelajaran dengan bantuan teknologi informasi dan jaringan yang memuat materi-materi yang akan diajarkan.

Materi-materi dalam kegiatan pembelajaran elektronik tersebut kebanyakan dihantarkan melalui media internet, tape *video* atau *audio*, penyiaran melalui satelit televisi interaktif serta CD ROM. Materi yang disampaikan melalui *e-learning* menggunakan prinsip “interaktif” dengan memadukan kegiatan komunikasi, pendidikan dan pelatihan secara elektronik. Pemanfaatan TIK digunakan sebagai sumber belajar dan alat bantu dalam setiap proses pembelajaran (Alimudin *et.al*, 2015). Aspek penting dalam mendukung *e-learning* adalah pengajar, metode pembelajaran, dan mahasiswa. Pengajar dan mahasiswa harus memiliki kemauan dan kemampuan dalam memanfaatkan TIK.

Sistem dari *e-learning* dengan menggunakan teknologi informasi dan komunikasi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, transparansi, akuntabilitas, dan kenyamanan belajar (Yilmaz, 2017). Harapan dari adanya *e-learning* adalah layanan pembelajaran yang lebih baik, menarik, interaktif, dan atraktif. Hasil akhir yang diharapkan adalah peningkatan prestasi dan kecakapan akademik mahasiswa serta pengurangan biaya, waktu, dan tenaga untuk proses pembelajaran (Islam, 2016). *E-learning* bersifat fleksibel, tidak bergantung pada waktu dan ruang (tempat). Pembelajaran dapat dilaksanakan kapan dan di mana saja. Integrasi teknologi informasi, *e-learning* mampu menyediakan bahan ajar dan menyimpan instruksi pembelajaran yang dapat diakses kapanpun dan dari manapun. *e-Learning* tidak membutuhkan ruangan (tempat) yang luas sebagaimana ruang kelas konvensional. Dengan demikian teknologi ini telah memperpendek jarak antara pengajar dan mahasiswa.

Filosofis *e-learning* terdiri dari 3 bagian utama (Lewis, 2014). Pertama, *e-learning* merupakan penyampaian informasi, komunikasi, pendidikan, pelatihan secara *online*. Kedua, *e-learning* menyediakan seperangkat alat yang dapat memperkaya nilai belajar secara konvensional (model belajar konvensional, kajian terhadap buku teks, CD-ROM, dan pelatihan berbasis komputer) sehingga dapat menjawab tantangan perkembangan globalisasi. Ketiga, *e-learning* tidak berarti menggantikan model belajar konvensional di dalam kelas, tetapi memperkuat model belajar tersebut melalui pengayaan konten dan pengembangan teknologi pendidikan. Keempat, kapasitas siswa amat tergantung pada bentuk isi dan cara penyampaiannya. Makin baik keselarasan antar konten dan alat penyampai dengan gaya belajar, maka akan lebih baik kapasitas siswa yang pada gilirannya akan memberi hasil yang lebih baik.

Pengembangan *e-learning* saat ini banyak dilakukan oleh berbagai *stakeholder* dan pendidik. Pengembangan *e-learning* banyak diintegrasikan pada pembelajaran baik secara tatap muka, *blended learning* maupun jarak jauh (Clark, and Mayer, 2016). *E-learning* memberikan suasana yang efektif, menyenangkan, menarik sehingga meningkatkan motivasi (Allen, 2016). Penggunaan *e-learning* juga berpengaruh pada peningkatan pengetahuan dan keahlian mahasiswa (Lahti, et.al, 2014). menjelaskan bahwa perkuliahan jarak jauh memerlukan dukungan sistem perkuliahan yang optimal pada aspek *e-learning content*, buku ajar *virtual* dan sistem evaluasinya (Goff et.al; 2017, Sikas et.al; 2017).

Potensi Buku Ajar Zoologi Vertebrata terintegrasi *e-learning content*

Penggunaan buku ajar merupakan bagian dari budaya buku, yang menjadi salah satu tanda masyarakat maju. Buku ajar disusun dengan alur dan logika yang sesuai rencana pembelajaran, buku ajar disusun sesuai kebutuhan belajar siswa dan buku ajar disusun untuk mencapai tujuan pembelajaran atau kompetensi. Tujuan dari penulisan buku ajar adalah mempermudah mahasiswa dalam belajar secara mandiri, memberikan penguatan konsep untuk dipahami dan melatih mahasiswa memecahkan soal evaluasi. Apabila tujuan pembelajaran adalah menjadikan siswa memiliki berbagai kompetensi, maka perancangan buku ajar harus memasukkan sejumlah prinsip yang dapat digunakan untuk mencapai hal tersebut adalah perancangan sejumlah soal latihan yang berbasis multipel representasi.

Pengembangan buku ajar banyak dilakukan mulai tingkat dasar sampai perguruan tinggi sesuai dengan karakteristik mahasiswa dan bidang keilmuan. Berbagai penelitian pengembangan buku ajar dilakukan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Buku ajar juga dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan dengan mengintegrasikan suatu model pembelajaran seperti buku ajar berbasis PBL (Okmarisa et.al, 2016); buku ajar berbasis riset, buku ajar berbasis *Contextual Learning* (Khairani et.al, 2017). Selain itu juga terdapat pengembangan buku ajar yang terintegrasi karakter yang ingin disampaikan, misalnya buku ajar terintegrasi penanaman nilai karakter kearifan lokal (Herwandi, 2021).

Berbagai pengembangan buku ajar di atas bermuara pada pengembangan kompetensi, peningkatan literasi dan keterbukaan wawasan mahasiswa. Salah satu pengembangan dan inovasi untuk menjawab tantangan di masa pandemi Covid19 yaitu integrasi buku ajar dengan *e-learning content*. Buku ajar Zoologi Vertebrata terintegrasi *e-learning content*

ini dikembangkan dengan oleh dosen pengampu untuk membuat pembelajaran semakin efektif dan efisien. Proses ini diawali dengan pengembangan buku ajar, pengembangan *e-learning*, desain konten dan integrasi antar keduanya. *e-Learning* yang dikembangkan oleh dosen berupa platform eL-ZOOTA (*e-Learning* Zoologi Vertebrata) yang berisi materi, *assignment*, diskusi dan kamus ilmiah Zoologi. Kedua unsur ini dikembangkan dengan baik sehingga saling berkaitan. Wadah atau *platform* digital yang dapat diakses mahasiswa melalui eL-ZOOTA dan didukung oleh materi dan penugasan yang sifatnya meningkatkan kompetensi tertuang dalam buku ajar.

Integrasi kedua komponen tersebut mempunyai potensi untuk mendukung pembelajaran secara daring di masa pandemi Covid19. Adapun aspek potensial yang mendukung inovasi produk ini sebagai berikut.

1. Meningkatkan efektifitas dan efisiensi perkuliahan zoologi vertebrata

Manajemen waktu dalam pembelajaran secara daring membutuhkan pengelolaan yang lebih rinci. Pola belajar mahasiswa sebaiknya diatur dengan disiplin agar sesuai dengan bobot SKS yang ditempuh. Adanya bahan ajar yang terintegrasi *e-learning* ini mampu memberikan gambaran aktivitas yang relevan dan sesuai alokasi waktu, karena diatur dengan bantuan ICT. Mahasiswa juga tidak mengalami kesulitan dalam mencari sumber belajar, namun juga tidak terkungkung dalam framework buku ajar karena keluasaan aksesibilitas dari aspek *e-learning contentnya*.

2. Relevan dengan berbagai gaya belajar mahasiswa

Mahasiswa selama pembelajaran mandiri di masa pandemi Covid19 mempunyai cara belajar yang beragam. Mahasiswa tentu saja mempunyai gaya belajar masing-masing yang dilakukan. Adanya bahan ajar yang terintegrasi *e-learning content* ini sangat relevan dengan semua gaya belajar yang terdiri dari audio, visual, audiovisual dan kinestetik. Unsur media cetak, audio dan konten visual mempermudah mahasiswa dalam belajar secara mandiri.

3. Database portofolio tugas mahasiswa terekam dengan baik.

Adanya instruksi penugasan di buku ajar zoologi vertebrata dan *assignment* di eL-ZOOTA sangat membantu dosen dan mahasiswa dalam manajemen file dan aktivitas perkuliahan dalam bentuk e-portofolio. Database penugasan dan produk mahasiswa terekam dengan baik, sehingga memudahkan dosen dan mahasiswa dalam mengecek, menilai,

menganalisis hasil kinerja mahasiswa. Pembelajaran secara daring memerlukan suatu wadah untuk mengcover tugas-tugas dari mahasiswa.

4. Meningkatkan literasi digital

Pengembangan SDM ke arah digitalisasi memang harus mulai diinisiasi dan dikembangkan secara cepat dan masif. Arah isi buku ajar Zoologi Vertebrata dan platform eL-ZOOTA adalah pada penguasaan literasi digital dengan praktik secara langsung. Adanya konektivitas antara bahan ajar dan platform *e-learning content* ini tentu saja mampu mengasah kemampuan literasi digital mahasiswa. Mahasiswa mulai terbiasa dengan akses ke platform eL-ZOOTA dengan dibantu oleh instruksi di buku ajar. Meningkatkan sikap ilmiah melalui pembelajaran mandiri.

5. Memperluas jangkauan sumber belajar mahasiswa

Analisis kesulitan belajar mahasiswa di masa pandemi salah satunya adalah akses dan pemenuhan sumber belajar. Hal ini karena lokasi tempat tinggal mahasiswa kebanyakan pada daerah pedesaan yang minim perpustakaan dan sinyal untuk melakukan penelusuran sumber digital. Hal ini menjadi kendala dan kebutuhan mahasiswa. Adanya buku ajar Zoologi Vertebrata yang terintegrasi *e-learning* ini dapat menjadi solusi untuk pemenuhan sumber belajar mahasiswa.

6. Mendorong mahasiswa untuk disiplin dan sistematis.

Salah satu kelebihan penggunaan ICT adalah adanya alokasi waktu yang jelas dan sesuai pengaturan *deadline*. Alur penugasan sesuai kompetensi dalam menempuh Zoologi Vertebrata dijelaskan dalam buku ajar, kemudian hasil pengerjaan dilakukan pada eL-ZOOTA. Penugasan yang diwadahi platform eL-ZOOTA dapat diatur sedemikian rupa sehingga hal ini memberikan pembelajaran bagi mahasiswa untuk disiplin dan sistematis dalam mengerjakan tugas, proyek dan kegiatan yang dilakukan.

Daftar Pustaka

- Alimuddin, A., & Nadjib, M. (2016). Intensitas Penggunaan E-learning dalam Menunjang Pembelajaran Mahasiswa Program Sarjana (S1) di Univeristas Hasanuddin. KAREBA: Jurnal Ilmu Komunikasi, 4(4), 387-398.
- Alkhalaf, S., Drew, S., & Alhussain, T. (2012). Assessing the impact of e-learning systems on learners: A survey study in the KSA. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 47, 98-104.

- Allen, M. W. (2016). *Michael Allen's guide to e-learning: Building interactive, fun, and effective learning programs for any company*. John Wiley & Sons.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. John Wiley & Sons.
- Coopasami, M., Knight, S., & Pete, M. (2017). e-Learning readiness amongst nursing students at the Durban University of Technology. *health sa gesondheid*, 22(1), 300-306.
- Goff, E. E., Reindl, K. M., Johnson, C., McClean, P., Offerdahl, E. G., Schroeder, N. L., & White, A. R. (2017). Efficacy of a Meiosis Learning Module Developed for the Virtual Cell Animation Collection. *CBE-Life Sciences Education*, 16(1)
- Herwandi, O., Istyadji, M., & Yulinda, R. (2021). Pengembangan Bahan Ajar IPA Berbasis Literasi Sains Bermuatan Kearifan Lokal Sistem Pondasi Rumah Lanting. *Pahlawan: Jurnal Pendidikan-Sosial-Budaya*, 17(2), 101-110.
- Hidayat, S., Supriadin, S., & Iskandar, J. (2018). Pengembangan prototipe buku ajar terintegrasi proses saintifik untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. *Konstan-jurnal fisika dan pendidikan fisika*, 3(2), 82-93.
- Islam, A. N. (2016). E-learning system use and its outcomes: Moderating role of perceived compatibility. *Telematics and Informatics*, 33(1), 48-55.
- Khairani, S., Asrizal, A., & Amir, H. (2017). Pengembangan Bahan Ajar IPA Terpadu Berorientasi Pembelajaran Kontekstual tema Pemanfaatan Tekanan dalam Kehidupan untuk Meningkatkan Literasi Siswa Kelas VIII SMP. *Pillar of Physics Education*, 10(1).
- Lahti, M., Hätönen, H., & Välimäki, M. (2014). Impact of e-learning on nurses' and student nurses knowledge, skills, and satisfaction: a systematic review and meta-analysis. *International journal of nursing studies*, 51(1), 136-149.
- Lestari, W. D., Khoiriyah, A. M., Astuti, T. P., & Yuhanna, W. L. (2020, December). Pengembangan E-Learning Content Biopedia Untuk Mendukung Literasi Digital Dan Keterampilan Metakognitif. In *Prosiding Seminar Nasional SIMBIOSIS* (Vol. 5).
- Lewis, K. O., Cidon, M. J., Seto, T. L., Chen, H., & Mahan, J. D. (2014). Leveraging e-learning in medical education. *Current problems in pediatric and adolescent health care*, 44(6), 150-163.
- Okmarisa, H., Darmana, A., & Suyanti, R. D. (2016). Implementasi Bahan

- Ajar Kimia Terintegrasi Nilai Spiritual Dengan Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) Berorientasi Kolaboratif Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa. *JURNAL PENDIDIKAN KIMIA*, 8(2), 58-63.
- Sikas, N. (2017). Enhancing Scientific Literacy Through Implementation of Inquiry based Science Education (IBSE) in Malaysia Science Curriculum *International Journal of Academic Research in Bussines and Sosial Science* 7 (2). 46-54
- Supriadi, N. (2015). Mengembangkan Kemampuan Koneksi Matematis Melalui Buku Ajar Elektronik Interaktif (BAEI) yang Terintegrasi Nilai-Nilai Keislaman. *Al-Jabar: Jurnal Pendidikan Matematika*, 6(1), 63-74.
- Yilmaz, R. (2017). Exploring the role of e-learning readiness on student satisfaction and motivation in flipped classroom. *Computers in Human Behavior*, 70, 251-260.
- Yuhanna, W. L., & Retno, R. S. (2018). Pengembangan Modul Zoologi Vertebrata Terintegrasi Scientific Inquiry. In *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Enviromental, and Learning* (Vol. 15, No. 1, pp. 614-619).
- Yuhanna, W. L., Al Muhdhar, M. H. I., Gofur, A., & Hassan, Z. (2021). Self-Reflection Assessment in Vertebrate Zoology (SRAVZ) Using Rasch Analysis. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(1), 35-47.
- Yuhanna, W. L., Riyanto, R., & Hindun, N. (2021). Analysis of learning difficulties in vertebrate zoology during the COVID-19 pandemic based on student learning styles. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi Dan Terapan*, 6(01), 49-57.

Bagian 5

Potensi Senyawa Aktif Tumbuhan Zodia (*Evodia suaveolens*) sebagai Sumber Belajar Mahasiswa Berbasis Kearifan Lokal

Trio Ageng Prayitno & Nuril Hidayati

Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan Ilmu Eksakta dan Keolahragaan
IKIP Budi Utomo

Email: trioageng@gmail.com, hidayatinuril20@gmail.com

Abstrak. Tumbuhan zodia (*Evodia suaveolens*) merupakan tumbuhan asli Indonesia dari Papua yang menjadi potensi lokal Negara Kesatuan Republik Indonesia. Potensi tumbuhan zodia sangat luar biasa sebagai antioksidan, insektisida alami, dan antimikroba alami berdasarkan kajian dari beberapa referensi hasil penelitian karena tumbuhan zodia mengandung senyawa aktif seperti minyak atsiri dengan berbagai jenis, alkaloid, tannin, flavonoid, triterpenoid, saponin, glikosida, berberirin, furoquinoline, dan evodiamine. Kajian hasil penelitian tentang tumbuhan zodia perlu dimanfaatkan sebagai sumber belajar bagi peserta didik melalui kegiatan pembelajaran dengan pendekatan riset. Proses pembelajaran dengan pendekatan riset dapat dilaksanakan dengan menggunakan model *Project Based Learning* (PjBL) yang dituangkan dalam bentuk lembar kegiatan peserta didik.

Kata kunci: *Evodia suaveolens*, kearifan lokal, sumber belajar, PjBL

Karakteristik Tumbuhan Zodia (*Evodia suaveolens*)

Masyarakat Indonesia beranggapan bahwa tumbuhan zodia (*Evodia suaveolens*) adalah tumbuhan hias pekarangan rumah dan asli dari Papua (Prayitno & Elan, 2018; Sudiarti dkk, 2021; Kardinan, 2004). Menurut Rahayu, Mairawita, & Putra (2008), tanaman zodia adalah tumbuhan kecil seperti perdu yang diklasifikasikan ke dalam Family *Rutaceae*. Tumbuhan zodia tingginya 0,3-2 meter dan panjang daunnya kurang lebih 20-30 cm. Tumbuhan zodia morfologinya cukup menarik sehingga tidak heran kalau masyarakat menggunakannya sebagai tumbuhan hias di rumah. Tumbuhan zodia dapat berkembangbiak dengan biji dan secara stek batang/ranting sehingga tanaman ini mudah sekali untuk dibudidayakan. Tumbuhan zodia memiliki bau khas dan bau ini tidak lain adalah berasal dari senyawa aktif yang terdapat pada tumbuhan ini.

Isrianto (2016) menambahkan daun tumbuhan zodia bentuknya pipih meruncing agak lentur dengan warna kuning kehijauan. Bunga tumbuhan zodia tergolong bunga majemuk dengan bentuk bunga yang kecil dengan warna putih tulang dengan panjang tangkai bunga kurang lebih 10 cm. Batangnya berkayu, percabangan monopodial, berwarna cokelat kotor, dan tidak memiliki duri. Akar tumbuhan ini adalah tipe akar tunggang sehingga dikelompokkan dalam tumbuhan dikotil. Tumbuhan zodia dapat hidup di dalam pot dan bisa diletakkan di dalam ruangan. Morfologi tumbuhan zodia dapat dilihat pada Gambar 1. Saat ini, tumbuhan zodia sudah tersebar di seluruh wilayah Indonesia karena tumbuhan ini dapat tumbuh di ketinggian 400-2000 meter dari permukaan laut (Isrianto, 2016; Ngibad & Lestari, 2020). Tumbuhan zodia memiliki sifat yang unik, daun tanaman ini akan berubah warna jika berada pada tempat yang berbeda suhu. Jika berada pada tempat yang bersuhu rendah, maka daun tumbuhan zodia akan berwarna hijau muda. Sedangkan, jika berada pada tempat yang bersuhu tinggi, maka daun tumbuhan ini akan berwarna hijau tua (Handayani & Nurcahyanti, 2015).



Gambar 1. Tumbuhan Zodia (*Evodia suaveolens*)
(Sumber: Doc. Pribadi, 2018)

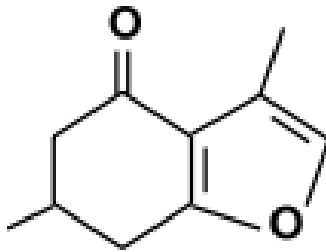
Menurut Handayani & Nurcahyanti (2015) klasifikasi tumbuhan Zodia dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Klasifikasi Tumbuhan Zodia (*Evodia suaveolens*)

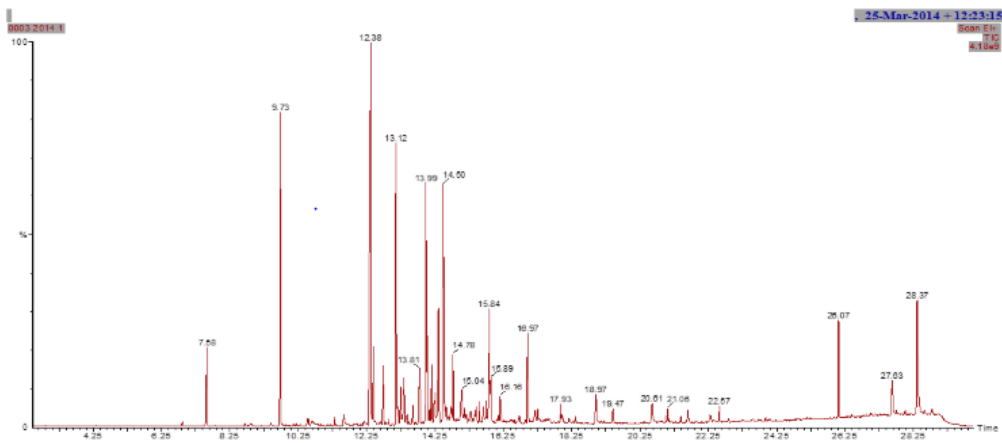
Nomor Urut	Klasifikasi	Keterangan
1	Kingdom	Plantae
2	Divisio	Spermatophyta
3	Sub Divisio	Angiospermae
4	Kelas	Dicotyledonae
5	Ordo	Rutales
6	Family	Rutaceae
7	Genus	<i>Evodia</i>
8	Spesies	<i>Evodia suaveolens</i>

Senyawa Aktif Tumbuhan Zodia (*Evodia suaveolens*)

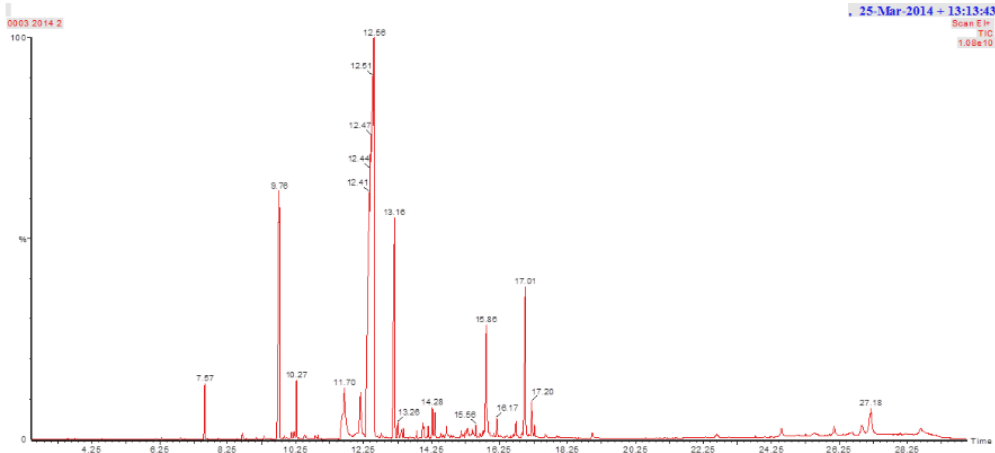
Hasil penelitian Handayani and Nurcahyanti (2015) menunjukkan bahwa berdasar hasil uji GC-MS melalui metode maserasi dan distilasi air tanaman *Evodia suaveolens* mengandung minyak atsiri yang terdiri atas senyawa seperti limonene, menthofuran, benzofuranon, asam mirtenoik, copaene, mentha, caryopilen, valencene, himakalen, α -curcumen, cadinen, oktadin, trimetoksitoluen, asam hetadienoik, humulen, longifolenaldehid, hidroksi ionen, dan transsqualen. Selain minyak atsiri, menurut Kardinan (2004) dalam tumbuhan *Evodia suaveolens* terdapat senyawa kimia seperti alkaloid, tannin, flavonoid, triterpenoid, saponin, glikosida, berberirin, furoquinoline dan evodiamine. Senyawa-senyawa tersebut berpotensi sebagai antimikroba. Rahmawati dkk (2015) menambahkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa tumbuhan Zodia memiliki kandungan senyawa kimia adalah minyak atsiri, flavonoid, alkaloid, saponin dan tanin baik dari ekstrak bentuk serbuk maupun cair. Hasil penelitian Maryuni (2008) menunjukkan bahwa tumbuhan Zodia memiliki senyawa aktif berupa minyak atsiri yaitu evodone yang dapat digunakan sebagai antibakteri. Struktur kimia Evodone dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil kromatografi minyak atsiri daun zodia melalui metode maserasi terlihat pada Gambar 3. Hasil kromatografi minyak atsiri daun zodia melalui metode distilasi air dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Struktur Kimia Minyak Atsiri Evodone Tumbuhan Zodia
(Sumber: Maryuni, 2008)



Gambar 3. Hasil Kromatografi Minyak Atsiri Daun Zodia melalui Metode Maserasi (Sumber: Handayani & Nurcahyanti, 2015)



Gambar 4. Hasil Kromatografi Minyak Atsiri Daun Zodia melalui Metode Distilasi Air

(Sumber: Handayani & Nurcahyanti, 2015)

Potensi Senyawa Aktif Tumbuhan Zodia (*Evodia suaveolens*)

Potensi senyawa aktif dari tumbuhan zodia (*Evodia suaveolens*) sebagai berikut.

Antioksidan

Hasil penelitian Ngibad & Lestari (2019) dan Ngibad & Lestari (2020) menjelaskan bahwa ekstrak metanol daun tumbuhan zodia dapat menjadi antioksidan dengan kriteria kuat. Hal ini terbukti dari hasil uji antioksidan ekstrak metanol daun zodia melalui metode DPPH (Diphenyl-Picrylhydrazyl) ditemukan besar konsentrasi yang dapat menghambat 50% radikal bebas sebesar 170 ppm dengan kadar fenolik total ekstrak metanol sebesar 0,02430 mg GAE/g.

Insektisida alami

Hasil penelitian Lestari & Simaremare (2017) menunjukkan bahwa minyak atsiri yang diperoleh dari ekstrak daun zodia dapat membunuh nyamuk *Aedes aegypti* selama 20-30 menit dengan perlakuan menggunakan gabus dielektrik. Minyak atsiri dari ekstrak daun zodia dalam bentuk losion dengan konsentrasi 3% dapat melindungi kulit tubuh manusia dari gigitan nyamuk *Aedes aegypti* sebesar 50% (Sudiarti dkk, 2021). Sedangkan, hasil penelitian Yanti Eff dkk, (2020) dengan konsentrasi losion dari minyak atsiri daun zodia sebesar 2% dapat melindungi kulit tubuh manusia dari gigitan nyamuk *Aedes aegypti* sebesar 82,45%. Ekstrak daun zodia yang diperlakukan dengan cara disemprotkan ke ruangan dapat membunuh

nyamuk *Aedes aegypti* (Mahmudi dkk, 2019). Mekanisme minyak atsiri dan senyawa aktif lain pada ekstrak daun zodia dalam membunuh nyamuk yaitu dengan meracuni sistem pernapasan dan menyebabkan kerusakan pada sel saraf sensorik dan motorik nyamuk. Keracunan pada sistem pernapasan menyebabkan pertukaran oksigen di dalam tubuh nyamuk terganggu sehingga energi tidak dihasilkan dari proses respirasi yang berakibat kematian pada nyamuk. Kerusakan saraf motorik pada nyamuk terjadi ketika minyak atsiri dan senyawa aktif lain dari daun zodia memasuki tubuh nyamuk melalui sistem pernapasan. Minyak atsiri dan senyawa aktif yang berada di dalam tubuh nyamuk akan merusak membran sel saraf sensorik dan motorik sehingga nyamuk tidak dapat bergerak yang menyebabkan kematian pada nyamuk (Lestari & Simaremare, 2017; Sudiarti dkk, 2021; Yanti Eff dkk, 2020; Mahmudi dkk, 2019).

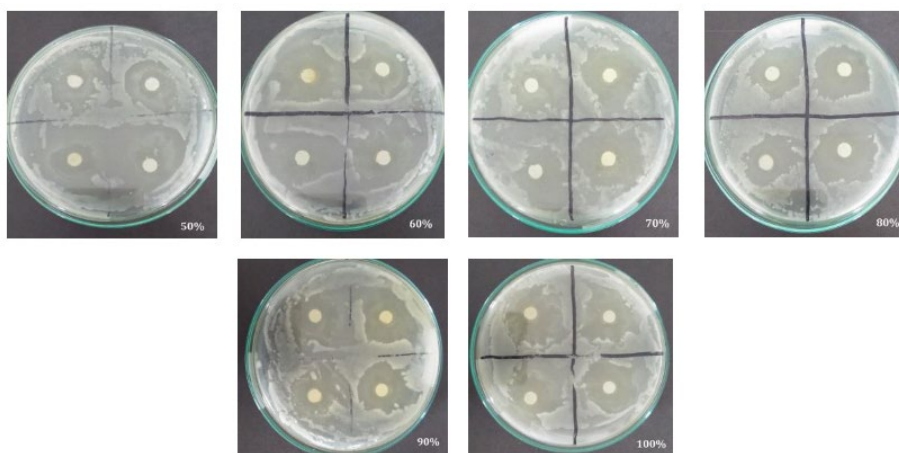
Antimikroba alami

Hasil penelitian Maryuni (2008) dan Fajri & Agustien (2015) menyatakan bahwa minyak atsiri dari daun zodia dapat digunakan sebagai antibakteri untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Salmonella enteritidis*, dan *Escherichia coli*. Ekstrak etanolik daun zodia mampu menghambat pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa* (Rahmawati dkk, 2015). Selanjutnya, hasil penelitian Prayitno & Hidayati (2020) menyatakan bahwa ekstrak daun zodia mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan jamur *Fusarium oxysporum* yang menjadi mikroba patogen pada tumbuhan buah naga (*Hylocereus polyrhizus*). Minyak atsiri dan senyawa aktif lainnya dari daun zodia mampu menghambat pertumbuhan (bakteri dan jamur) dengan mekanisme merusak dinding sel dan membran sel mikroba. Kerusakan pada dinding sel dan membran sel menyebabkan minyak atsiri dan senyawa aktif lainnya masuk ke dalam sel dan mempengaruhi metabolisme sel mikroba. Metabolisme sel menjadi bermasalah (*error*) sehingga menyebabkan kematian pada sel mikroba. Selain itu, kerusakan dinding sel dan membran sel mikroba menyebabkan molekul dan senyawa dalam sitoplasma sel keluar ke lingkungan sehingga sel mikroba tidak memiliki daya untuk tumbuh yang mengakibatkan kematian karena semua molekul dan enzim yang diperlukan untuk pertumbuhan hilang (Maryuni, 2008; Karta & Burhannuddin, 2017; Rahmawati dkk, 2015; Pangalinan dkk, 2011; Soleman & Setiawan, 2017; Sari & Nugraheni, 2013; Triani et al., 2017; Yanti dkk, 2016; Prayitno & Hidayati, 2020). Diameter zona hambatan

pertumbuhan *P. aeruginosa* pada beberapa konsentrasi ekstrak daun zodia (*E. suaveolens*) dapat dilihat pada Gambar 5.

Selanjutnya info penting cara membuat ekstrak daun zodia (*Evodia suaveolens*) melalui metode maserasi dari penelitian Prayitno & Hidayati (2020) sebagai berikut.

1. Pengambilan sampel daun zodia segar sebanyak 600 gram.
2. Sampel daun zodia direndam dalam 3000 ml etanol 95% selama 3 x 24 jam.
3. Hasil rendaman kemudian disaring.
4. Filtrat hasil penyaringan diuapkan selama 4 jam dengan *rotary evaporator* agar dihasilkan ekstrak murni daun zodia. Dihasilkan ekstraksi daun zodia dalam bentuk cair.



Gambar 5. Diameter Zona Hambatan Pertumbuhan *P. aeruginosa* pada Beberapa Konsentrasi Ekstrak Daun Zodia (*E. suaveolens*)
(Sumber: Prayitno & Hidayati, 2020)

Budidaya Tumbuhan Zodia (*Evodia suaveolens*)

Budidaya tumbuhan zodia sangat mudah. Hanya dengan melalui biji dan stek ranting tumbuhan ini bisa diperbanyak (Kardinan, 2004). Tumbuhan zodia dewasa akan menghasilkan bunga dan biji. Biji tumbuhan ini jika diletakkan di tanah sebagai medium budidaya maka akan tumbuh baik. Tumbuhan zodia dewasa dapat dipotong rantingnya, selanjutnya potongan ranting itu ditanamkan ke tanah sebagai medium budidaya maka akan tumbuh. Bisnis budidaya tumbuhan zodia sangatlah menguntungkan karena harga bibit tumbuhan zodia sebesar Rp. 5.000/pohon. Sedangkan, harga tumbuhan zodia yang sudah berbunga dan berbiji sebesar Rp. 75.000/pohon dan Rp. 150.000/pohon (Kardinan, 2004; Isrianto, 2016).

Implementasi Hasil Penelitian Laboratoris sebagai Sumber Belajar Mahasiswa

Proses pembelajaran di kelas yang diharapkan oleh Pemerintah Indonesia berdasarkan Keputusan Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 754/P/2020 tentang Indikator Kinerja Utama (IKU) yang nomor tujuh yaitu proses pembelajaran di kelas diharuskan menggunakan metode pembelajaran pemecahan kasus (*case method*) atau pembelajaran kelompok berbasis proyek (*team-based project*). Pembelajaran dengan pemecahan kasus (*case method*) memstimulasi peserta didik untuk memecahkan sebuah kasus, menemukan solusi masalah, membuat rancangan solusi yang direkomendasikan, menguji rancangan solusi yang telah ditetapkan, dan memberikan keputusan solusi yang tepat atas kasus yang ditemukan. Pembelajaran kelompok berbasis proyek (*team-based project*) merangsang peserta didik untuk menemukan masalah nyata yang terjadi di masyarakat, membuat rancangan kerja proyek bersama anggota kelompok untuk menyelesaikan masalah, dan mempresentasikan hasil proyek sebagai produk untuk menyelesaikan masalah. Diharapkan dari dua metode pembelajaran tersebut pendidik dapat memberdayakan keterampilan abad 21 yang dikenal dengan 4Cs, yaitu *Critical thinking skills* (keterampilan berpikir kritis), *Creativity skills* (keterampilan kreatif), *Collaboration skills* (keterampilan kolaborasi), dan *Communication skills* (keterampilan komunikasi).

Salah satu upaya untuk menciptakan proses pembelajaran berdasarkan Indikator Kinerja Utama (IKU) nomor tujuh di atas, maka diperlukan sumber belajar yang dikembangkan berdasarkan hasil penelitian laboratoris. Sumber belajar berbasis hasil penelitian akan mampu menciptakan pembelajaran yang *student centered* dengan cara melatih peserta didik untuk menemukan masalah, mengajukan hipotesis, merancang eksperimen untuk menguji hipotesis, menganalisis data hasil eksperimen, dan menetapkan kesimpulan sebagai bentuk penyelesaian masalah. Terlebih lagi, jika sumber belajar berbasis hasil penelitian yang memanfaatkan potensi lokal di daerah masing-masing sehingga proses pembelajaran itu juga mampu menanamkan nilai-nilai kearifan lokal kepada diri peserta didik. Salah satu contoh sumber belajar berbasis hasil penelitian dengan memanfaatkan potensi lokal yang dapat dikembangkan adalah pemanfaatan tumbuhan zodia (*Evodia suaveolens*) untuk mengatasi permasalahan yang terjadi di masyarakat. Sumber belajar berbasis hasil penelitian yang diharapkan harus memuat materi kontekstual dari hasil penelitian dan prosedur kegiatan

peserta didik yang memberikan pengalaman nyata pada peserta didik melalui sebuah penyelidikan (investigasi) terhadap suatu topik atau permasalahan.

Salah satu bentuk prosedur kegiatan peserta didik dalam proses pembelajaran yang mampu memberikan pengalaman nyata adalah lembar kegiatan peserta didik berbasis *Project Based Learning* (PjBL). Melalui PjBL peserta didik diberi kebebasan untuk bereksplorasi dalam merencanakan dan merancang kegiatan proyek, melaksanakan proyek yang telah dirancang secara kolaboratif baik dengan sesama peserta didik dan pendidik, dan mempresentasikan produk sebagai hasil kegiatan proyek.

Salah satu contoh rancangan lembar kegiatan peserta didik berbasis PjBL pada topik peran mikroorganisme dalam kehidupan manusia dengan kompetensi menciptakan produk pencegah penyakit pada tumbuhan buah naga yang disebabkan oleh mikroorganisme. Salah satu solusi yang ditemukan semisal adalah pemanfaatan senyawa aktif tumbuhan zodia untuk pencegah penyakit pada tumbuhan buah naga. Rancangan lembar kegiatan peserta didik berbasis PjBL dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Rancangan Lembar Kegiatan Peserta Didik Berbasis PjBL

Tahapan PjBL	Kegiatan Peserta Didik	Kegiatan Pendidik	Pengalaman belajar	Kompetensi Abad 21 (4Cs)
Langkah 1 Pengenalan masalah (pertanyaan kunci)	Menemukan masalah tentang peran negatif mikroorganisme pada kehidupan manusia Banyak penyakit tumbuhan buah naga yang disebabkan oleh mikroorganisme . Bagaimana cara mencegah penyakit pada tumbuhan buah naga yang disebabkan oleh	Membantu menemukan masalah tentang peran negatif mikroorganisme pada kehidupan manusia	Menstimulasi peserta didik untuk berpikir kritis, Membangun kemampuan peserta didik dalam menghubungkan dengan kejadian nyata dengan topik yang akan dibahas	Critical thinking

Tahapan PjBL	Kegiatan Peserta Didik	Kegiatan Pendidik	Pengalaman belajar	Kompetensi Abad 21 (4Cs)
Langkah 2 Menyusun rancangan proyek	<p data-bbox="310 272 545 338">mikroorganisme ?</p> <p data-bbox="310 392 521 535">Menyusun rencana proyek yang akan dilaksanakan.</p> <p data-bbox="310 548 525 849">Judul proyek: Ekstrak daun zodia pencegah penyakit pada tumbuhan buah naga yang disebabkan oleh mikroorganisme</p> <p data-bbox="310 896 542 1201">Aktivitas: Membuat ekstrak daun zodia pencegah penyakit kulit yang disebabkan oleh mikroorganisme</p> <p data-bbox="310 1249 545 1589">Alat dan bahan: Pisau, nampan, blender, pengaduk, penyaring, gelas, alat penumbuk, wadah ekstrak daun zodia, toples kaca, daun</p>	Memfasilitasi peserta didik dalam menyusun rencana proyek yang akan dilaksanakan	<p data-bbox="749 392 991 535">Mengorganisasikan peserta didik dalam kelompok kerja,</p> <p data-bbox="749 582 991 696">Membangun kerja sama dalam kelompok kerja,</p> <p data-bbox="749 744 991 925">Membangun komunikasi antar peserta didik dalam merancang proyek,</p> <p data-bbox="749 972 915 1087">Menemukan rancangan proyek.</p>	<p data-bbox="1018 392 1130 535">Critical thinking,</p> <p data-bbox="1018 506 1137 535">Creative,</p> <p data-bbox="1018 582 1197 734">Collaboration , Communication.</p>

Tahapan PjBL	Kegiatan Peserta Didik	Kegiatan Pendidik	Pengalaman belajar	Kompetensi Abad 21 (4Cs)
	tumbuhan zodia, air, alkohol 95%			
Langkah 3 Menyusun jadwal proyek	Menyusun jadwal proyek yang meliputi waktu pengerjaan proyek dan pengamatan proyek. Waktu pengerjaan dan pengamatan proyek: Dilaksanakan di luar jam kuliah	Memfasilitasi peserta didik dalam menyusun jadwal proyek yang akan dilaksanakan	Membangun kemampuan penyelidikan nyata, Mengidentifikasi masalah nyata, Mencari sumber informasi.	Critical thinking, Creative, Collaboration , Communication.
Langkah 4 Pelaksanaan dan monitoring proyek	Melaksanakan proyek sesuai rencana dan jadwal proyek yang telah disusun. Pelaksanaan proyek: <i>Hari ke-1:</i> Membuat langkah-langkah pembuatan produk ekstrak daun zodia melalui metode	Memfasilitasi peserta didik dalam melaksanakan proyek sesuai dengan rencana dan jadwal proyek yang telah disusun.	Memiliki pengalaman melakukan penyelidikan, Membangun sikap berbagi dan kerja sama, Menumbuhkan kemampuan menganalisis, Mengembangkan kemampuan komunikasi,	Critical thinking, Creative, Collaboration , Communication.

Tahapan PjBL	Kegiatan Peserta Didik	Kegiatan Pendidik	Pengalaman belajar	Kompetensi Abad 21 (4Cs)
	maserasi sebagai berikut.		Menumbuhkan kemampuan membuat keputusan,	
	1. Menyediakan daun zodia segar		Memanfaatkan media dan TIK.	
	2. Mengeringkan daun zodia sampai layu			
	3. Menghaluskan daun zodia yang layu menggunakan blender			
	4. Merendam sebungkus daun zodia hasil blender dalam toples kaca yang berisi 100 ml alkohol 95% selama 1x24 jam			
	5. Menyaring hasil rendaman dengan penyaring			
	6. Mengemas dengan wadah ekstrak daun zodia spray			

Tahapan PjBL	Kegiatan Peserta Didik	Kegiatan Pendidik	Pengalaman belajar	Kompetensi Abad 21 (4Cs)
	<p><i>Hari ke-2 dan ke-3:</i> Melakukan uji ekstrak daun zodia pada bagian tumbuhan buah naga yang sakit sebagai berikut.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Menyemprotkan sebanyak 5 kali pada bagian tumbuhan buah naga yang sakit 2. Kegiatan penyemprotan dilakukan setiap pagi dan sore hari <p><i>Hari ke-4:</i> Melakukan pengamatan pada bagian yang telah disemprot dengan ekstrak daun zodia. Jika bagian tumbuhan yang sakit itu mengering dan sembuh maka ekstrak daun zodia mampu</p>			

Tahapan PjBL	Kegiatan Peserta Didik	Kegiatan Pendidik	Pengalaman belajar	Kompetensi Abad 21 (4Cs)
	<p>pengecaha penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme. Namun, jika bagian tumbuhan tetap sakit maka ekstrak daun zodia tidak mampu mencegah penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme</p>			
Langkah 5 Menguji hasil proyek (presentasi hasil proyek)	<p>Mempresentasikan produk ekstrak daun zodia pencegah penyakit pada buah naga yang disebabkan oleh mikroorganisme di depan audiens (peserta didik lainnya) dengan bahan presentasi berupa PPT (<i>Power Point</i>)</p>	<p>Memfasilitasi kegiatan presentasi hasil proyek peserta didik</p>	<p>Menyusun bahan presentasi, Menyampaikan hasil proyek dengan media dan TIK, Menjawab pertanyaan saat diskusi, Mengemas produk hasil proyek, Mendokumentasikan tahapan proyek.</p>	<p>Critical thinking, Collaboration, Communication.</p>

Tahapan PjBL	Kegiatan Peserta Didik	Kegiatan Pendidik	Pengalaman belajar	Kompetensi Abad 21 (4Cs)
Langkah 6 Mengevaluasi dan merefleksi	Mengevaluasi dan merefleksi aktivitas dan hasil proyek yang telah dilaksanakan bersama dengan pendidik. Bagaimana cara penggunaan produk ekstrak daun zodia agar efektif mencegah penyakit tanaman buah naga yang disebabkan oleh mikroorganisme? Bagaimana cara kerja produk ekstrak daun zodia dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme penyebab penyakit buah naga?	Mengevaluasi dan merefleksi aktivitas dan hasil proyek bersama peserta didik	Mengembangkan kemampuan menganalisis hasil proyek, Kemampuan mengambil keputusan.	Critical thinking

Catatan:

- Berilah kebebasan pada peserta didik untuk menemukan solusi atas masalah yang ditentukan
- Berilah kebebasan pada peserta didik untuk merencanakan dan merancang proyek
- Dibutuhkan kolaborasi antara peserta didik dan pendidik secara aktif

Daftar Pustaka

- Fajri, M. A., & Agustien, A. (2015). Isolasi , Karakterisasi dan Potensi Bakteri Endofitik dari Tanaman Zodia (*Evodia suaveolens* Scheff) sebagai Penghasil Antibiotika. *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA)*, 4(2), 102–106. Retrieved from <http://jbioua.fmipa.unand.ac.id/index.php/jbioua/article/view/153>
- Handayani, P. A., & Nurcahyanti, H. (2015a). Ekstraksi Minyak Atsiri Daun Zodia (*Evodia Suaveolens*) Dengan Metode Maserasi dan Distilasi Air. *JBAT: Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.15294/jbat.v3i1.3095>
- Handayani, P. A., & Nurcahyanti, H. (2015b). Ekstraksi minyak atsiri daun zodia (*Evodia suaveolens*) dengan metode maserasi dan distilasi air. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.15294/jbat.v3i1.3095>
- Isrianto, P. L. (2016a). Bisnis Usaha Perbanyak Tanaman Zodia (*Evodia suaveolens*) Sebagai Tanaman Pengusir Nyamuk di Kota Surabaya. *Jurnal INOVASI*, XVIII(2), 102–109. Retrieved from <https://adoc.pub/bisnis-usaha-perbanyak-tanaman-zodia-evodia-suaveolens-seb.html>
- Isrianto, P. L. (2016b). Bisnis Usaha Perbanyak Tanaman Zodia (*Evodia suaveolens*) Sebagai Tanaman Pengusir Nyamuk di Kota Surabaya. *Jurnal INOVASI*, XVIII(2), 102–109. Retrieved from <https://fbs.uwks.ac.id/myfiles/files/INOVASI>, Volume XVIII, Nomor 2, Juli 2016/13. Artikel Pramita hal.pdf
- Kardinan, A. (2004). Zodia (*Evodiaa suaveolens*) Tanaman Pengusir Nyamuk. *Tabloid Sinar Tani*, 23(Juni), 1–2. Retrieved from <https://www.litbang.pertanian.go.id/artikel/77/>
- Karta, I. W., & Burhannuddin. (2017). Uji AKTIVITAS ANTIJAMUR EKSTRAK AKAR TANAMAN BAMA (*Plumbago zeylanica*) TERHADAP PERTUMBUHAN JAMUR *Trichophyton mentagrophytes* PENYEBAB KURAP PADA KULIT. *JURNAL MEDIA SAINS*, 1(1), 23–31. Retrieved from <https://jurnal.undhirabali.ac.id/index.php/mp3/article/view/192>
- Lestari, F. D., & Simaremare, E. S. (2017). Uji Potensi Minyak Atsiri Daun Zodia (*Evodia suaveolens* Scheff) Sebagai Insektisida Nyamuk *Aedes aegypti* L Dengan Metode Elektrik. *PHARMACY: Jurnal Farmasi Indonesia*, 14(01), 1–10. Retrieved from <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/PHARMACY/article/view/1358>
- Mahmudi, M., Santoso, H., & Laili, S. (2019). Uji insektisida serai (*Cymbopogon nardus*) dan daun zodia (*Evodia Suaveolens*) terhadap mortalitas nyamuk (*Aedes aegypti*). *Jurnal SAINS ALAMI (Known Nature)*, 2(1), 44–49. <https://doi.org/10.33474/j.sa.v2i1.3741>
- Maryuni, A. E. (2008a). *Isolasi dan Identifikasi Senyawa Antibakteri Minyak Atsiri Daun Zodia (Evodia sp.)*. Bogor. Retrieved from <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/41386>

- Maryuni, A. E. (2008b). *Isolasi dan Identifikasi Senyawa Antibakteri Minyak Atsiri Daun Zodia (Evodia sp.)*. Bogor. Retrieved from <https://repository.ipb.ac.id>
- Ngibad, K., & Lestari, L. P. (2019). Uji fitokimia dan aktivitas antioksidan ekstrak metanol daun zodia (*Evodia suaveolens*). *Jurnal Ilmiah As-Syifaa*, 11(2), 161–168. <https://doi.org/10.33096/jifa.v11i2.568>
- Ngibad, K., & Lestari, L. P. (2020). Aktivitas antioksidan dan kandungan fenolik total daun zodia (*Evodia suaveolens*). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 94–109. <https://doi.org/10.20961/alchemistry.16.1.35580.94-109>
- Pangalinan, F. R., Kojong, N., & Yamlean, P. V. Y. (2011). UJI AKTIVITAS ANTIJAMUR EKSTRAK ETANOL KULIT BATANG RAMBUTAN (*Nephelium lappaceum L.*) TERHADAP JAMUR *Candida Albicans* SECARA IN VITRO. *PHARMACON*, 1(1), 7–12. Retrieved from <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/pharmacon/article/view/439>
- Prayitno, T. A., & Elan, A. A. (2018). Media Transfer Pengetahuan: Pengembangan Buku Saku Berbasis Riset Melalui Model Borg and Gall. In *Seminar Nasional Pendidikan dan Pembelajaran II Universitas Nusantara PGRI Kediri* (pp. 1263–1272). Universitas Nusantara PGRI Kediri. Retrieved from <http://conference.unpkediri.ac.id/index.php/semdikjar/semdikjar2/paper/view/264>
- Prayitno, T. A., & Hidayati, N. (2020). In vitro antimicrobial activity of zodia (*Evodia suaveolens*) leaf extract on pathogenic agents dragon fruit plant. *Jurnal Biota*, 6(2), 78–85. <https://doi.org/10.19109/10.19109/biota.v6i2.6236>
- Rahayu, R., Mairawita, & Putra, S. E. (2008). Sosialisasi dan Aplikasi Penggunaan Beberapa Tanaman Pengusir Nyamuk Kepada Masyarakat Kota Padang Di Daerah Yang Rentan Terkena Penyakit Demam Berdarah. *Warta Pengabdian Andalas Volume XIV*, pp. 72–81. Retrieved from http://repository.unand.ac.id/2566/1/Resti_Rahayu.pdf
- Rahmawati, I., Samsumaharto, R. A., & Iryanto, E. Z. (2015). Uji Aktivitas Antibakteri Fraksi n-Heksan, Kloroform dan Air dari Ekstrak Daun Zodia (*Evodia suaveolens*, Scheff.) Terhadap *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. *Jurnal BIOMEDIKA*, 8(2), 9–14. <https://doi.org/10.31001/biomedika.v8i2.199>
- Rahmawati, I., Samsumaharto, R. A., & Iryanto W, E. Z. (2015). Uji Aktivitas Antibakteri Fraksi n-Heksan , Kloroform dan Air dari Ekstrak Daun Zodia (*Evodia suaveolens*, Scheff.) Terhadap *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. *Jurnal BIOMEDIKA*, 8(2), 9–14. <https://doi.org/10.31001/biomedika.v8i2.199>
- Sari, E. R., & Nugraheni, E. R. (2013). Antifungal activity test of Piper retrofractum leaf ethanol extract on *Candida albicans* growth. *Biofarmasi*, 11(2), 36–42. <https://doi.org/10.13057/biofar/f110202>

- Soleman, D., & Setiawan, N. C. E. (2017). Aktivitas Antifungi Ekstrak Metanol Kulit Batang Jambu Mete terhadap *Candida albicans*. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, 1(2), 25–29. <https://doi.org/10.17977/um026v1i22017p025>
- Sudiarti, M., Ahyanti, M., & Yushananta, P. (2021). Efektivitas daun zodia (*Evodia suaveolens*) sebagai repellent nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Ruwa Jurai*, 15(1), 8–15. <https://doi.org/10.26630/rj.v15i1.2190>
- Triani, Rahmawati, & Turnip, M. (2017). Aktivitas antifungi ekstrak metanol jamur kuping hitam (*Auricularia polytricha* (Mont .) Sacc .) terhadap *Aspergillus flavus* (UH 26). *Jurnal Labora Medika*, 1(2), 14–20. Retrieved from <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/JLabMed/article/view/2871>
- Yanti Eff, A. R., Pertiwi, R. D. L. A., & Utami, T. P. (2020). Efektivitas repelan losion minyak atsiri daun zodia (*Evodia Suaveolens*) terhadap nyamuk *Aedes aegypti* Linnaeus. *Majalah Farmasetika*, 4(Suppl 1), 119–124. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v4i0.25868>
- Yanti, N., Samingan, & Mudatsir. (2016). Uji Aktivitas Antifungi Ekstrak Etanol Gal Manjakani (*Quercus infectoria*) terhadap *Candida albicans*. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi*, 1(1), 1–9. Retrieved from <http://jim.unsyiah.ac.id/pendidikan-biologi/index>

Bagian 6

Bioaktif Senyawa Bahan Alam Endemik Nusa Tenggara Barat

Hardani

Program Studi D3 Farmasi
Politeknik Medica Farma Husada Mataram
Email: danylastchild07@gmail.com

Abstrak. Dalam upaya untuk melestarikan dan mengelola keanekaragaman ekosistem, spesies dan genetik di Nusa Tenggara Barat telah dibentuk lembaga dan bentuk-bentuk tindakan nyata dalam upaya konservasi tumbuhan dan hewan. Untuk pengelolaan flora dan fauna yang terdapat di kawasan Gunung Rinjani telah dibentuk Taman Nasional Gunung Rinjani. Untuk pelestarian dalam rangka konservasi dilakukan pemantauan flora dan fauna oleh BKSDA dengan membentuk misalnya taman wisata alam dan cagar alam pada beberapa kawasan penting di pulau Lombok dan Sumbawa. Perhatian beberapa pihak terkait pelestarian jenis tumbuhan langka dan unggulan dilakukan pula oleh beberapa instansi pemerintah dan swasta. Untuk koleksi hidup plasma nutfah tumbuhan langka dan unggulan di Nusa Tenggara Barat, pihak Universitas Mataram (UNRAM) bekerjasama dengan BPTH Denpasar telah membentuk Arboretum UNRAM yang mengkoleksi berbagai jenis di lingkungan kampus UNRAM. Selain menanam berbagai jenis tumbuhan, pada kampus UNRAM dilakukan juga penangkaran rusa. Pembentukan Arboretum juga dilakukan oleh Balai Taman Nasional Gunung Rinjani bertempat di Otak Kokok. Pada daerah ini dikoleksi tumbuhan khas yang merupakan kekayaan Gunung Rinjani. Beberapa jenis yang menarik dikembangkan disini adalah berbagai jenis anggrek liar dan endemik yang dikoleksi dari beberapa ketinggian tempat pada lereng Gunung Rinjani. Perhatian terhadap kelestarian lingkungan dilakukan juga dalam bentuk pembangunan hutan kota. Pada jantung kota di Lombok Timur telah berhasil dibangun Hutan Kota yang mengkoleksi berbagai jenis pohon langka, misalnya kelicung (*Dyospyros macrophylla*). Sedangkan mengatasi masalah konservasi hewan langka di NTB telah banyak dilakukan penangkaran. Penghutan kembali daerah kritis di Lombok Selatan dilakukan pula dengan bantuan pemerintah Jepang melalui program JIFRO. Kegiatan ini telah berlangsung beberapa tahun dan dengan riset dan *action* penanaman yang

intensif, kawasan hutan Sekaroh yang menjadi tempat kegiatan proyek sudah mulai menghijau.

Kata kunci: Ekosistem, Spesies, Genetik, Konservasi, Plasma Nutfah

Keanekaragaman Ekosistem

Luas daratan propinsi Nusa Tenggara Barat adalah 20.153,15 Km², terdiri dari dua pulau utama yaitu pulau Lombok seluas 4.738,70 Km² (23,51%) dan pulau Sumbawa yang memiliki luas 15.414 Km² (76,49%) (Badan Pusat Statistik Provinsi NTB, 2015), yang dikelilingi 137 pulau-pulau kecil. Dataran utama dan pulau-pulau yang ada di Nusa Tenggara Barat dan kawasan Nusa Tenggara pada umumnya memiliki umur yang sangat muda dan tidak pernah merupakan bagian dari massa daratan lain yang lebih besar. Umur dan kondisi pulau-pulau yang terisolasi sangat mempengaruhi evolusi flora dan fauna (Sumarto, Simbala, Koneri, & Siahaan, 2012). Imigrasi hanya sedikit sekali terjadi dan jenis binatang dan tumbuhan yang mengkoloni pulau-pulau kemudian hidup dalam isolasi, sehingga cenderung untuk berkembang menjadi biota endemik (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008).

Kondisi geologi di Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat pada khususnya tidak sama dengan daerah lain di Indonesia (Priyantono, 2006). Kerumitan kondisi fisik tersebut diyakini akan mampu mendukung dan mendorong evolusi berbagai jenis tumbuhan dan hewan dibandingkan dengan daerah lain. Wilayah Nusa Tenggara Barat secara geografis adalah daerah peralihan antara flora-fauna barat yang bertipe asia dengan flora-fauna timur yang bertipe australia (Ilmu, Indonesia, Pariwisata, & Kehutanan, 2015). Kondisi ini menjadikan flora-fauna yang dimiliki NTB tergolong unik dengan keanekaragaman tinggi. Keberadaan flora-fauna di wilayah NTB memegang peranan penting dalam menjaga keseimbangan alam dan keberlangsungan hidup manusia dalam memenuhi kebutuhan sandang, pangan, obat-obatan, serta memberikan sumber pendapatan (LIPI, 2014). Untuk memberikan gambaran umum tentang keanekaragaman ekosistem di Provinsi Nusa Tenggara Barat dan perbandingan dengan daerah lain di Nusa Tenggara dan Maluku, berikut disajikan informasi berbagai tipe ekosistem hutan. Berdasarkan data tersebut, luas tutupan hutan di NTB adalah 19.536 Km².

Ekosistem Daratan di Nusa Tenggara Barat

Berdasarkan tipe hutan dan distribusinya, ekosistem daratan di Nusa Tenggara Barat dapat dibedakan menjadi 4 (empat) tipe yaitu hutan basah dataran rendah, hutan tropis pegunungan, hutan monsun dataran rendah, dan savana dan padang rumput (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008). Keempat tipe hutan tersebut merupakan bentuk yang paling umum ditemukan.

a. Hutan Basah Dataran Rendah

Pepohonan mendominasi hutan basah tropis dataran rendah selalu hijau. Pepohonan tumbuh subur karena kondisinya optimal untuk pertumbuhan tanaman dan pertumbuhan pucuk-pucuk baru tidak perlu perlindungan dari kekeringan atau kedinginan (Swaine & Whitmore, 1988). Lapisan tajuk pada hutan ini diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu tajuk jenis pohon yang menjulang tinggi, lapisan utama bertajuk rapat untuk pohon-pohon yang tingginya 30-40 m dan tajuk pohon-pohon kecil yang menyukai naungan, dan tumbuhan penutup di bawahnya jarang (Novianti, Anwari, & Wulandari, 2017). Hutan-hutan di lereng yang lebih rendah dari Gunung Rinjani Lombok merupakan salah satu dari beberapa tempat di Nusa Tenggara yang mendukung hutan basah dan berfungsi sebagai resapan air utama untuk seluruh pulau (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008). Sebagian besar pepohonan pada hutan basah dataran rendah bersifat hidrofila dan kaya akan liana berbatang tebal, epifit berkayu dan perdu. Ciri khas lain tumbuhan pada hutan ini adalah adanya struktur kauliflora (buah tumbuh pada batang) dan ramiflora (buah tumbuh pada cabang-cabang pohon). Nangka (*Artocarpus heterophylla*) dan durian (*Durio zibethinus*) menunjukkan kauliflori, suatu ciri khas pepohonan hutan basah dataran rendah (Swaine & Whitmore, 1988).

b. Hutan Tropis Pegunungan

Hutan pegunungan dapat diidentifikasi dari tidak adanya vegetasi yang merupakan ciri hutan-hutan basah tropis dataran rendah selalu hijau (Sumarto et al., 2012). Pepohonan kerdil kelihatan sangat mencolok. Tajuk menjadi lebih terbuka karena pohon-pohon yang menjulang tinggi tidak ada, dan keragaman jenisnya menurun. Penentuan formasi hutan pegunungan atas dan hutan pegunungan bawah dibedakan berdasarkan ciri kuantitatif pada ukuran daun. Daun berukuran mikrofil dan yang lebih kecil mendominasi hutan pegunungan atas. Keanekaragaman tumbuhan pada hutan pegunungan atas rendah, karena miskin jenis dan pohon-

pohonannya lebih kerdil dibandingkan dengan hutan pegunungan bawah (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008).

Rincian tentang flora hutan pegunungan bawah sedikit sekali. Di Sumbawa, hutan pegunungan pada lereng-lereng bagian selatan dan utara Gunung Batulante dicirikan oleh hutan *Cryptocarya*-Meliaceae. Walaupun komposisi jenis berubah sesuai kondisi kelembaban. Dua jenis *Cryptocarya* anggota suku Lauraceae mendominasi hutan ini pada ketinggian 1.000 m dpl sampai 1.500 m dpl dan yang lainnya di daerah yang lebih tinggi. Hutan pegunungan yang lebih lembab dicirikan oleh epifit *Vaccinium* anggota suku Ericaceae, yang menutupi pohon-pohon pendukungnya. Gunung Rinjani di Lombok mendukung hutan pegunungan campuran *Podocarpus-Engelhardia* dari ketinggian 1.200 m dpl sampai 2.100 m dpl. Liana dan anggrek sering kelihatan (Swaine & Whitmore, 1988), khususnya anggrek *Corybas*, *Corymborkis*, dan *Malaxis* (Arinasa, 2006). Diatasnya sampai pada ketinggian 2.700 m dpl terdapat hutan *Casuarina junghuhniana*. Pada kawasan Gunung Rinjani terutama mulai pada ketinggian 1.000 m dpl umum ditemukan cemara udang (*Dacrycarpus imbricatus*) anggota suku Araucariaceae.

c. Hutan Monsum Dataran Rendah

Hutan-hutan monsum sangat kontras dengan hutan-hutan basah, dalam hal keragaman jenis dan bentuk-bentuk pertumbuhan hutan basah tidak ada. Cabang-cabang pohon lebih tebal dan berkualitas rendah daripada pohon-pohon di hutan yang lebih basah. Hutan tetap kaya akan liana berkayu dan perdu epifit, tetapi epifit berkayunya sangat kurang. Bambu bertambah dan kebanyakan palem berkurang, dan lapisan di bawah semak selalu hijau berubah menjadi campuran perdu dan rerumputan (Swaine & Whitmore, 1988). Di lapangan sering lebih sulit membedakan hutan-hutan monsum ini, karena perbedaannya ditentukan oleh proporsi vegetasi daripada perubahan-perubahan yang jelas.

Hutan monsum yang bertipe hutan kering luruh daun telah diidentifikasi di Sumbawa barat mulai dari kawasan pesisir sampai di ketinggian \pm 1.000 m dpl (Swaine & Whitmore, 1988). Sisa-sisa hutan yang lebih rendah, di bawah 200 m dpl, memiliki tajuk yang lebih rapat yang tingginya 10-15 m dan didominasi oleh tiga jenis pohon *Protium javanicum* (Burseraceae), kesambi *Scleichera oleosa* (Sapindaceae), dan walikukun *Schoutenia ovata* (Tiliaceae). Pada ketinggian di atas 1.000 m dpl terdapat *Garuga* (Burseraceae) yang juga merupakan wakil yang khas hutan ini, sebagai indikator batas atas ketinggian tempat

formasi hutan ini. Pada tempat-tempat yang lembab terdapat barisan perdu yang terdiri dari *Desmodium* (Leguminosae), *Leucas* (Lamiaceae), *Justicia* (Acanthaceae), *Dioscorea* (dioscoreaceae), *Hyptis* (Lamiaceae), *Trichosanthes* (Cucurbitaceae), *Oplismenus* (Gramineae) dan *Scleria lithosperma* (Cyperaceae). Pada ketinggian sedang, dari 200-800 m dpl, didominasi oleh jelutung *Tabernaemontana* (Apocynaceae) dan jenis lain (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008).

d. Savana dan Padang Rumput

Savana adalah peralihan antara hutan dan padang rumput: padang rumput yang ditumbuhi pohon atau sekelompok pohon yang terpencah-pencar (Sutomo, 2016). Savana dan padang rumput merupakan formasi vegetasi yang sangat umum di dalam wilayah yang sangat kering di Propinsi Nusa Tenggara Barat. Tegakan pohon seumur sangat sering dijumpai dalam savana. Tegakan ini adalah hasil pengaruh gangguan seperti kemarau dan kebakaran yang parah. Dikaitkan dengan distribusi geografisnya, savana *Albizia chinensis* merupakan savana yang umum ditemukan di NTB. Tipe savana ini tahan terhadap kebakaran. Distribusi savana dan padang rumput di NTB disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Distribusi Savana dan Padang Rumput di NTB dan pulau-pulau yang berdekatan di Nusa Tenggara

No	Pulau	Luas Savana Campuran (Km ²)	% Pulau	Luas Padang Rumput (Km ²)	% Pulau
1	2	3	4	5	6
1	Lombok	421	9,32	52	1,15
2	Sumbawa	6.571	43,74	841	5,60
3	Komodo, Flores, Lombok, Alor	2.548	12,85	989	4,99
4	Sumba	521	4,81	2.466	22,77

Sumber: Monk et al. (2000)

Ekosistem Lahan Basah di Nusa Tenggara Barat

Dua tipe lahan basah yang sangat penting di Indonesia dan NTB pada khususnya adalah danau dan sungai. Danau dan sungai berperan sangat penting bagi penduduk di NTB, karena sebagian wilayahnya sangat kering. Di Sumbawa bagian utara, keberhasilan pembangunan pertanian dan sosial

seluruhnya bergantung pada air sungai yang mengalir dari Gunung Tambora (Swaine & Whitmore, 1988).

Perbedaan utama danau dan sungai adalah dalam hal aliran air: danau memiliki air yang tenang, sementara sungai memiliki air yang bergerak. Air yang tergenang sebenarnya juga bergerak namun dengan kecepatan atau gerakan yang sangat lambat. Dari segi ekosistem, pola drainase air sungai sangat penting karena sifat-sifat ekosistem air yang mengalir dipengaruhi oleh interaksi sumber air, volume air, kontur dasar sungai dan akhirnya pengaruh sifat-sifat fisik konsentrasi oksigen, suhu air, perputaran massa air, dan faktor-faktor lain yang menentukan komposisi jenis ekosistem (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008).

Beberapa lahan basah air tawar yang penting di Nusa Tenggara Barat yang berupa danau alam yaitu:

1. Danau Segara Anak di pulau Lombok, merupakan danau vulkanik yang berbentuk bulan sabit, permukaannya terletak pada ketinggian ± 2008 m dpl, luasnya ± 1.126 ha, dengan kedalaman 160 sampai 230 m. Disekelilingnya dibatasi dinding kaldera yang tingginya mencapai 650 m, disusun berlapisan batuan berupa lava dan piroklastik, serta ditroboh oleh berbagai bentuk dike dan sill sehingga membentuk hasil seni alami yang sangat menarik. Di dalam danau Segara Anak terdapat kerucut gunung berapi baru yang menghasilkan aliran lava membentuk morfologi khusus, serta bongkah-bongkah batu (bom) berukuran sampai 12 m yang dilemparkan pada saat terjadi letusan 1994. Ikan berkembang dengan baik di dalam danau, terutama ikan jenis mujair dan karper (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008).
2. Danau Taliwang di kabupaten Sumbawa Barat, merupakan danau air tawar dengan luas 1.406 ha. (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008) Sarnita (1992) melaporkan bahwa selama musim hujan permukaan Danau Taliwang mencapai 10.000 ha. Danau ini memiliki kedalaman rata-rata 3 meter. Pengamatan di Danau Taliwang, menunjukkan bahwa beberapa jenis burung air, seperti cangak abu *Ardeas cinerea* (Ardeidae) dan belekok sawah *Ardeola speciosa* (Ardeidae) membangun sarangnya pada rumput-rumput di pinggir danau. Pengamatan di danau ini juga berhasil menyediakan daftar jenis burung air di Sumba (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008), meskipun ada beberapa jenis yang tidak ada di Sumba seperti *Irediparra gallinaceae* dan *Gallinula tenebrosa*. Suatu kelompok yang terdiri dari ribuan ekor burung pelikan dari Australia dilaporkan menikmati musim hujan di dekat Danau taliwang selama sekitar enam bulan tahun

1980-an.

Keanekaragaman Spesies dan Genetik

Tumbuhan

Keanekaragaman tumbuhan berbiji di Nusa Tenggara Barat cukup tinggi. Tercatat 820 spesies tumbuhan yang telah berhasil diidentifikasi di Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008). Dari jenis yang telah diidentifikasi tersebut sebagian besar merupakan tumbuhan hutan. Persebaran geografi spesies tumbuhan di propinsi NTB dikategorikan jarang, hanya beberapa spesies yang ditemukan memiliki populasi dalam jumlah melimpah.

Data pada **Tabel 1.** menunjukkan bahwa sebaran geografi tumbuhan baik tingkat jenis dan kategori infraspesifik banyak yang terdata di kawasan Gunung Rinjani di pulau Lombok dan kawasan Gunung Tambora di Sumbawa. Selain itu pusat keanekaragaman di pulau Sumbawa tercatat pula di kawasan puncak Ngengas Selalu Legini. Data inventarisasi tumbuhan yang cukup lengkap diperoleh dari kawasan Taman Wisata Alam (TWA) yang tersebar di Nusa Tenggara Barat. Pemanfaatan tumbuhan hutan selama ini masih terbatas pada pencarian jenis yang memiliki kualitas kayu bagus untuk bangunan dan kerajinan saja. Eksplorasi untuk menemukan jenis-jenis baru perlu dilakukan disertai dengan penelitian ke arah penggalian manfaat tumbuhan/kearifan lokal penduduk setempat (data manfaat tumbuhan masih sangat kurang). Pemanfaatan tumbuhan untuk obat-obatan hanya diketahui dari tumbuhan yang dekat dengan kehidupan penduduk dan mudah dijangkau.



Gambar 1. (1) Garu (*Dysoxylum densiflorum*) : batang, (2) Kurut (*Dysoxylum caulostachyon*) : buah caulifora, (3) Garu (*Dysoxylum densiflorum*): Struktur daun, (4) Klokos udang (*Syzigium javanica*), (5) Klicung (*Dyospyros macrophylla*), (6) Buaq Odak (*Planchonella notida*).

Eksplorasi dan pemanfaatan tumbuhan hutan yang paling banyak dilakukan terutama untuk diambil kayunya sebagai bahan bangunan dan kerajinan (Swaine & Whitmore, 1988). Beberapa jenis yang penting untuk bahan bangunan dan kerajinan, antara lain tumbuhan dari kelompok keruing yang termasuk suku Dipterocarpaceae, yaitu *Dipterocarpus retusus*. Jenis tumbuhan tersebut untuk wilayah Nusa Tenggara hanya terdapat di NTB, dan keberadaannya sudah terancam punah. Jenis lain yang juga dieksplorasi berlebihan antara lain tumbuhan dari suku Meliaceae, seperti *Dysoxylum*. Tumbuhan garu *Dysoxylum densiflorum* dapat dikategorikan langka dan sangat mungkin terancam punah. Pemanfaatan kayu tumbuhan hutan yang lain, misalnya dari keluarga jambu- jambuan (Myrtaceae) yaitu klokos udang (*Syzigium javanica*). Jenis pohon kehutanan yang juga terancam dan sedang digalakkan pengembangannya adalah rajumas *Duabanga moluccana* (Sonneratiaceae), *Planchonella notida* dan *Palaquium* yang keduanya merupakan anggota suku Sapotaceae (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008).

Banyak jenis tumbuhan yang terdaftar di NTB memiliki khasiat sebagai tanaman obat. Tumbuhan obat terutama dari kelompok herba dan pohon banyak digunakan dalam pembuatan ramuan pengobatan tradisional di pulau Lombok dan pulau Sumbawa. Minyak Sumbawa misalnya, sangat terkenal sebagai obat tradisional yang bahan pembuatannya merupakan perpaduan beberapa jenis tumbuhan hutan, terutama yang berkayu (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008). Di pulau Lombok pada umumnya, tumbuhan yang sering digunakan dalam pembuatan ramuan pengobatan tradisional antara lain dari keluarga Sembung-sembungan (*Asteraceae*) dan Apiaceae, antara lain *Gynura*, *Blumea*, *Ageratum*, *Centella*. Jenis lain yang juga sudah banyak dimanfaatkan dan terbukti khasiatnya dalam penyembuhan penyakit, misalnya pecut kudajarong *Stachytarpheta jamaicensis* (*Verbenaceae*) dan kanyeling *Phyllanthus* sp. (*Euphorbiaceae*). Selain itu berbagai jenis paku dan temu-temuan (*Zingiberaceae*) sudah umum dalam ramuan obat tradisional. Selain sebagai tanaman obat keanekaragaman variasi morfologi berbagai jenis dan variasi jenis tumbuhan di NTB berpotensi untuk dikembangkan sebagai tanaman hias.



Gambar 2. (1) Babadotan (*Ageratum conyzoides*), (2) *Centella asiatica*, (3) Daun Dewa (*Gynura procumbens*), (4) Sembung (*Blumea balsamifera*), (5) Pecut kuda (*Stachytarpheta jamaicensis*), (6) Kanyeling (*Phyllanthus* sp.)

Keanekaragaman flora yang terdapat di Propinsi NTB dapat dikategorikan khas/unik (LIPI, 2014). Kerumitan geologi dan isolasi geografi sebagai daratan pulau mendorong evolusi yang memunculkan berbagai spesies endemik. Tercatat 17 spesies endemik di pulau Lombok baik pada

aras jenis maupun dibawahnya, yaitu *Christia parviflora*, *Clethra javanica* var. *lombokensis*, *Eucalyptus urophylla*, *Vanda lombokensis*, *Flacourtia zippelli* var. *rindjanica*, *Magnolia candolii*, *Heritiera gigantea*, *Argyreia bifrons*, *Argyreia glabra*, *Stictocardia cordatosepala*, *Vernonia albifolia*, *Chrysopogon tenuiculmis*, *Dendrobium rinjaniense*, *Peristylus rinjaniensis*. Spesies endemik tersebut perlu mendapat perhatian konservasi agar terjaga kelestariannya. Hampir semua jenis endemik terkonsentrasi di kawasan Taman Nasional Gunung Rinjani (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008).

Jenis tumbuhan yang menempati habitat akuatik di NTB tidak banyak ragam jenisnya. Tercatat 11 jenis tumbuhan perairan tawar di pulau Lombok dan Pulau Sumbawa. Eceng gondok *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) menyediakan makanan dan perlindungan bagi krustasea, serangga, ikan, dan amfibi. Akar-akarnya menyediakan makanan bagi moluska seperti *Lymnaea rubiginosa*, *Melanoides tuberculata*, dan *Belamya javanica*. Beberapa jenis ikan Cyprinidae dan Synbranchidae memanfaatkan eceng gondok sebagai tempat berlindung. Disisi lain, eceng gondok termasuk jenis tumbuhan air yang sering menimbulkan masalah di perairan tawar, karena sering menimbulkan pendangkalan waduk atau sungai. Jenis lain yang juga sering menimbulkan masalah pada lahan pertanian adalah apu-apu *Pistia stratiotes* (Araceae) dan *Lemna perpusila* (Lemnaceae) (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008). Populasi jenis tumbuhan ini sering melimpah jumlahnya di Sumbawa dan Lombok, terutama pada waduk dan danau. Di Danau Taliwang terdapat tumbuhan air yang memiliki nilai estetika sebagai tanaman hias, yaitu *Nelumbo nucifera*. Jenis ini menyebar luas pada danau, dan warna bunganya merah muda sangat indah (Ilmu et al., 2015).

Beberapa jenis tumbuhan akuatik memiliki nilai ekonomi dan dapat disayur dan juga bermanfaat sebagai makanan ternak. Tumbuhan akuatik liar yang banyak dimanfaatkan penduduk di pulau Lombok, misalnya ganggang *Hydrilla verticillata* (Hydrocharitaceae) untuk makanan bebek. Jenis lain yang sering pula dijadikan makanan ternak dan juga dapat disayur adalah genjer *Limnocharis flava* (Limnocharitaceae). Kangkung Lombok sangat terkenal sebagai makanan sayur dan banyak dijual ke pasar, dan juga dikirim keluar Lombok (Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD, 2008).



Gambar .6.4. (1) Kangkung (*Ipomoea aquatica*), (2) Genjer (*Limnocharis flava*)

Daftar Pustaka

- Arinasa. (2006). Biodeversitas. *Biodiversitas*, 7(3).
- Badan Pusat Statistik Provinsi NTB. (2015). Geografis. In *Badan Pusat Statistik*.
- Ilmu, L., Indonesia, P., Pariwisata, K., & Kehutanan, K. (2015). Pusat Penelitian Biologi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati*, 19(2).
- LIPI. (2014). Kekinian Keanekaragaman Hayati Indonesia 2014. In *Igarss 2014*.
- Novianti, Anwari, M. S., & Wulandari, R. S. (2017). Keanekaragaman vegetasi di hutan lindung gunung semahung desa saham kecamatan sengah temila kabupaten landak. *Jurnal Hutan Lestari*, 5(3), 688–695.
- Prijantono, A. (2006). Akibat ketidakstabilan lereng cekungan dasar laut pada batuan sedimen neogen di desa kananggar, kabupaten sumba timur, nusatenggara timur. *JSDG*, XVI(4), 241–250.
- Sumarto, S., Simbala, H. E. I., Koneri, R., & Siahaan, R. (2012). *Biologi Konservasi*. CV. PATRA MEDIA GRAFINDO BANDUNG.
- Sutomo. (2016). Asal Usul Formasi Savana : Tinjauan dari Nusa Tenggara Timur dan Hasil Penelitian di Baluran Jawa Timur [Origin of savanna formation : Literature review from East Nusa Tenggara and research results from Baluran East Java Indonesia]. *ECU Publications*, 1(1), 246–265. Retrieved from <https://ro.ecu.edu.au/ecuworkspost2013/3558>.
- Swaine, M. D., & Whitmore, T. C. (1988). On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio*, 75(1–2), 81–86. <https://doi.org/10.1007/BF00044629>.
- Tim Pembina dan Evaluasi Penyusunan Laporan SLHD. (2008). *Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat*.

Bagian 7

Teknologi Mikroba dalam Pengembangan Desa sebagai Sumber Belajar Berbasis STEM

Pujiati

Prodi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas PGRI Madiun

Jalan setiabudi 85 Madiun

Email: pujiati@unipma.ac.id

Abstrak. Desa merupakan kegiatan pemerintahan terkecil dalam negara. Pengembangan desa perlu dilakukan sebagai upaya mewujudkan pemerintahan atau negara yang memenuhi target nasional. Pengembangan desa dapat dilakukan melalui berbagai macam cara salah satunya adalah pendekatan secara biologi. Salah satu bioteknologi yang dapat diaplikasikan dalam pengembangan desa adalah teknologi mikroba. Teknologi mikroba merupakan upaya pemanfaatan mikroba baik berupa rekayasa maupun produksi untuk menghasilkan produk dan jasa sebagai upaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Adapun beberapa contoh teknologi dari mikroba yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan desa antara lain teknologi mikroba dalam pembuatan biogas, pupuk kompos, biofertilizer, biopestisida microbial, teknologi mikroba untuk pangan maupun aplikasi mikroba dalam mengatasi permasalahan polutan yang ada di lingkungan seperti senyawa pestisida, hidrokarbon dari minyak bumi, plastik dan logam berat. Keterlibatan mahasiswa dalam proyek pengembangan desa merupakan salah satu upaya pembelajaran yang dapat meningkatkan kemampuan HOTS dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang kompleks di sekitar mereka dengan pendekatan *Science, Technology, Engineering dan Mathematics*.

Kata Kunci: Teknologi, Mikroba, Desa, Sumber belajar, STEM

A. Teknologi Mikroba Dalam Pengembangan Desa

Desa merupakan pemerintahan paling kecil dalam sebuah pemerintahan negara. Desa memegang peranan penting dalam pembangunan negara. Desa yang hebat adalah desa yang mandiri, desa yang dapat mengelola, memanfaatkan, segala sumber daya yang ada bahkan dapat mengatasi permasalahan-permasalahan desa secara mandiri. Untuk merealisasikan hal diatas diperlukan pemikiran, inovasi dan kreativitas

yang luar biasa. Peran akademisi sangat diperlukan untuk mengembangkan desa secara mandiri dan berkelanjutan. Apalagi hal tersebut banyak didukung oleh pemerintah melalui perguruan tinggi di Indonesia melalui program-program hibah untuk pengabdian masyarakat. Pengembangan desa dapat meliputi berbagai sektor seperti infrastruktur baik berupa fisik maupun non fisik.

Mikroba merupakan organisme berukuran mikro/mikroskopik yang dapat diamati dengan menggunakan mikroskop. Mikroorganisme merupakan organisme yang sangat *adaptable*, dapat menyesuaikan dengan kondisi lingkungan.

Teknologi Mikroba merupakan upaya pemanfaatan mikroba baik yang berupa rekayasa maupun produksi untuk menghasilkan barang maupun jasa yang berguna untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pemanfaatan mikroba dewasa ini sangat berkembang pesat. Hal tersebut dapat dilihat dari banyaknya industri-industri yang berkembang dengan memanfaatkan teknologi mikroba seperti industri makanan, industri pertambangan, industri pakan, pupuk hayati, biogas dan sebagainya.

Teknologi mikroba dalam pengembangan desa merupakan identifikasi dan aplikasi jenis-jenis mikroba potensial yang dapat digunakan untuk membantu mengembangkan potensi/sumber daya alam desa maupun untuk mengatasi berbagai permasalahan yang dapat diselesaikan dengan pendekatan biologis khususnya pemanfaatan mikroba.

B. Jenis Teknologi Mikroba sebagai Acuan dalam Pengembangan Desa

Melihat begitu banyak potensi mikroorganisme untuk pengembangan teknologi tepat guna sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan-permasalahan dilingkungan. Adapun peran mikroorganisme yang dapat dieksplorasi untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang ada di lingkungan antara lain:

1. Teknologi Mikroba dalam Pembuatan Biogas

Biogas adalah gas mudah terbakar (*flammable*) yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri metanogen. Bakteri ini merupakan bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara). Biogas merupakan *renewable energy* yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar yang berasal dari fosil seperti minyak tanah dan gas alam. Biogas juga sebagai salah satu jenis bioenergi yang didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan-bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam dan limbah sayuran yang difermentasi atau mengalami proses

metanisasi. Biogas yang terbentuk dapat dijadikan bahan bakar karena mengandung gas metan (CH₄) dalam persentase yang cukup tinggi. (Pujiati et al., 2020). Adapun komposisi biogas disajikan pada tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Biogas secara Umum (Ambar Pertiwiningrum et al., 2016)

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55 - 75
Karbondioksida (CO ₂)	25 - 45
Nitrogen (N ₂)	0 - 0,3
Hidrogen (H ₂)	1 - 5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	1 - 5
Oksigen (O ₂)	0,1 - 0,5

Pembentukan biogas secara biologis dengan memanfaatkan sejumlah mikroorganisme anaerob meliputi tiga tahap, yaitu tahap hidrolisis (tahap pelarutan), Tahap asidogenesis (tahap pengasaman), dan tahap metanogenesis (tahap pembentukan gas metana). Biogas diproduksi dalam sebuah reaktor atau biasanya disebut sebagai biodigester. Biodigester merupakan tempat dimana material organik terurai oleh bakteri secara anaerob atau tanpa udara menjadi gas CH₄ dan CO₂. Biodigester harus dirancang sedemikian rupa, sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik. Pada umumnya biogas dapat terbentuk pada 4 – 5 hari setelah digester diisi. Produksi biogas optimal terjadi pada 20 – 25 hari dan kemudian produksinya akan menurun jika biodigester tidak diisi kembali. Selama proses penguraian secara anaerob, terjadi perubahan senyawa nitrogen menjadi amoniak, senyawa belerang menjadi H₂S, dan perubahan fosfor menjadi orthophosphates. Beberapa komponen lain seperti kalsium, magnesium, sodium berubah menjadi jenis garam.

Adapun mikroorganisme yang berperan dalam produksi biogas umumnya berasal dari genus *Leucobacter*, *Clostridium*, *Pleomorphomonas*, *Paracoccus*, *Solibacillus*, *Proteiniclasticum*, *Proteiniphilum*, *Petrimonas*, *Camomonas*, *Acinetobacter*, *Ornatilinea*, *Camomonas*, *Aminivibrio*, *Cloacibacillus*, *Aminivibrio*, *Cloacibacillus*, *Pyramidobacterm* *Sporobaacter*, *Methanothrix*, *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, *Merthanoculleus*, *Methanospirillum* (Dong et al., 2020; Mirmohamadsadeghi et al., 2021; Pujiati et al., 2020). Penambahan bahan organik akan menyediakan c-organik sebagai senyawa untuk pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme. Penambahan bahan

organik pada produksi biogas akan meningkatkan populasi mikroorganisme yang ada di dalam reactor biogas.



Gambar 1. Teknologi biogas di desa Puntukdoro, Plaosan, Magetan (dokumentasi probadi)

2. Teknologi Mikroba dalam Pupuk Kompos

Pupuk kompos merupakan pupuk fermentasi yang diproduksi dari bahan-bahan organik. Bahan organik yang dapat digunakan antara lain limbah kotoran ternak (sapi, kambing, domba, kelinci dsb) dan limbah pertanian seperti tangkai padi, kacang tanah, bonggol jagung, gandum dan semua sumber bahan organik lainnya. Pupuk kompos merupakan pupuk organik akan tetapi pupuk organik belum tentu termasuk pupuk kompos. Keistimewaan pupuk kompos adalah pada proses produksinya yang menggunakan mikroorganisme tambahan belum lagi ada mikroorganisme bawaan dari substrat yang digunakan. Sehingga kualitas pupuk kompos pasti akan lebih bagus jika dibandingkan dengan pupuk organik biasa. Pupuk organik diproduksi tanpa melalui proses fermentasi dan sumber mikroorganisme yang ada adalah mikroorganisme dari substrat yang digunakan saja. Pupuk kompos biasanya juga lebih mahal dari pupuk organik karena proses produksinya yang lebih lama. Berikut adalah kandungan unsur-unsur pada berbagai sumber bahan organik (tabel 2 dan 3)

Tabel 2. Kandungan hara bahan organik yang berasal dari hewan

Sumber	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
	%						
Sapi perah	0,53	0,35	0,41	0,28	0,11	0,05	0,004
Sapi daging	0,65	0,15	0,30	0,12	0,10	0,09	0,004
Kuda	0,70	0,10	0,58	0,79	0,14	0,07	0,010
Unggas	1,50	0,77	0,89	0,30	0,88	0,00	0,100
Domba	1,28	0,19	0,93	0,59	0,19	0,09	0,020

Tabel 3. Kandungan hara bahan organik yang berasal dari tumbuhan

Tanaman	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	%					mg kg ⁻¹				
Gandum	2,80	0,36	2,26	0,61	0,58	155	28	45	108	23
Jagung	2,97	0,30	2,39	0,41	0,16	132	12	21	117	17
Kc. tanah	4,59	0,25	2,03	1,24	0,37	198	23	27	170	28
Kedelai	5,55	0,34	2,41	0,88	0,37	190	11	41	143	39
Kentang	3,25	0,20	7,50	0,43	0,20	165	19	65	160	28
Ubi jalar	3,76	0,38	4,01	0,78	0,68	126	26	40	86	53
Jerami padi	0,66	0,07	0,93	0,29	0,64	427	9	67	365	-
Sekam	0,49	0,05	0,49	0,06	0,04	173	7	36	109	-
Bt. jagung	0,81	0,15	1,42	0,24	0,30	186	7	30	38	-
Bt.gandum	0,74	0,10	1,41	0,35	0,28	260	10	34	28	-
Serbuk kayu	1,33	0,07	0,60	1,44	0,20	999	3	41	259	-

Sumber Tan (1994)

Teknologi pupuk kompos ini sudah banyak dilakukan secara mandiri di desa sebagai upaya untuk pemenuhan kebutuhan pupuk bagi para petani. Bahkan berbagai macam inovasi telah dilakukan untuk menghasilkan pupuk yang memiliki kualitas tinggi. Salah satunya adalah pupuk kompos dengan menggunakan limbah produksi biogas yang disebut sebagai bioslurry menjadi pupuk kompos bioslurry (gambar 2). Integrasi teknologi produksi biogas dan pupuk kompos dalam pengembangan desa sangat bagus untuk diterapkan karena memiliki hubungan yang keterkaitan dan berkesinambungan. Produksi biogas sebagai upaya pengelolaan limbah peternakan, merupakan solusi untuk penyediaan sumber energi baru dan terbarukan yaitu biogas. Selanjutnya, limbah biogas tersebut sangat berpotensi untuk dijadikan bahan baku produksi pupuk kompos maupun pupuk hayati (Pujiati et al., 2021)



Gambar 2. Teknologi pupuk kompos bioslurry di desa Puntukdoro, Plaosan, Magetan (dokumentasi probadi)

Bioslurry ini memiliki keistimewaan karena mengandung puluhan mikroba potensial yang berguna untuk tanah dan tanaman. Contoh penggunaan bioslurry pada tanaman jagung sebanyak 20 t/ha dapat meningkatkan perkembangan tanaman jagung baik secara vegetative maupun generative. Pada lahan dengan kandungan C-organik sedang dengan pemberian pupuk Bio-slurry padat 20 t/ha dapat mengurangi penggunaan pupuk NPK 50% dari rekomendasi (150 kg/ha) seperti tersaji pada tabel 4 dan 5 (Wicaksono et al., 2019).

Tabel 4. Hasil pertumbuhan dan perkembangan vegetatif tanaman dengan menggunakan pupuk bioslurry

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah Daun (helai)	Tingkat Kehijauan Daun SPAD
Dosis pupuk <i>Bio-slurry</i>			
0 t/ha	85,38 a	7,03 a	44,91a
20 t/ha	98,91 b	8,27 b	49,34b
Dosis pupuk NPK			
150 kg/ha	90,13 a	7,23 a	43,94 a
225 kg/ha	93,35 a	7,67 a	45,34 a
300 kg/ha	88,55 a	7,60 a	49,47 b
375 kg/ha	96,55 b	8,10 a	49,75 b

Tabel 5. Hasil pertumbuhan dan perkembangan generatif tanaman dengan menggunakan pupuk bioslurry

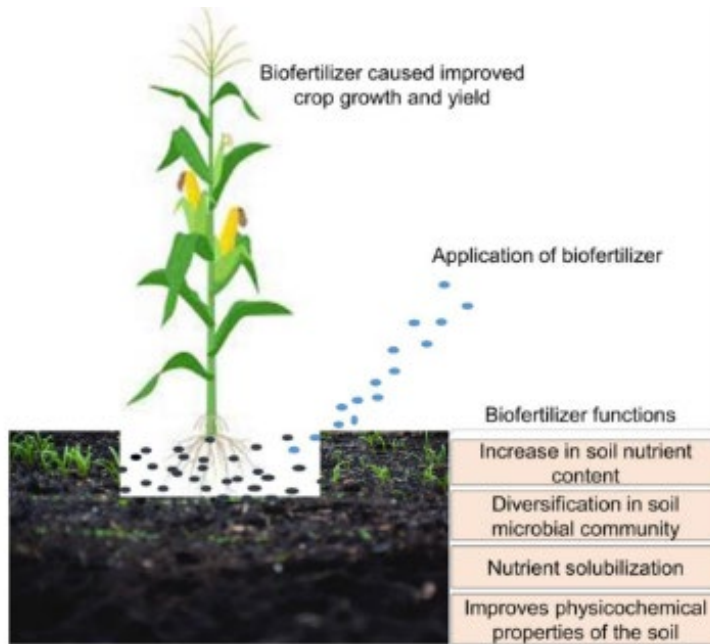
Perlakuan	Bobot Berangkasan Basah (Kg)	Tingkat Kemanisan (^o Brix)	Diameter Tongkol (cm)	Jumlah Baris Pertongkol (baris)	Bobot tongkol tanpa kelobot (kg)	Produksi per petak (kg)
Dosis pupuk <i>Bio-slurry</i>						
0 t/ha	0,87 a	12,23 a	4,09 a	15,88 a	0,77 a	4,82 a
20 t/ha	0,98 b	13,18 b	4,29 b	16,87 b	0,86 b	5,76 b
Dosis pupuk NPK						
150 kg/ha	0,86 a	12,47 a	4,18 a	16,20 a	0,79 a	5,04 a
225 kg/ha	0,92 a	12,63 a	4,18 a	16,37 a	0,80 a	5,25 a
300 kg/ha	0,96 a	12,70 a	4,17 a	16,43 a	0,83 a	5,40 a
375 kg/ha	0,96 a	13,02 a	4,23 a	16,50 a	0,85 a	5,48 a

Integrasi teknologi produksi biogas dan pupuk kompos sangat potensial jika dikembangkan di pedesaan sebagai upaya pemberdayaan kelompok tani dan ternak serta pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan secara optimal.

3. Teknologi Mikroba dalam Pengembangan Biofertilizer

Biofertilizer atau disebut sebagai pupuk hayati adalah sekumpulan mikroorganisme potensial seperti bakteri, fungi, yeast yang dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanah dan kualitas tanaman. Biofertilizer ini berbentuk formula mikroba hidup yang dapat ditambahkan langsung pada tanah maupun tanaman untuk meningkatkan produktivitasnya baik dari segi kualitas maupun kuantitas.

Dalam biofertilizer mengandung berbagai macam mikroba yang memiliki potensi yang berbeda-beda antara lain 1) mikroba penambat nitrogen yang terdiri dari 2 jenis yaitu simbiotik (berasosiasi dengan perakaran tanaman) dan non simbiotik (hidup bebas), 2) mikroba pelarut fosfat, 3) mikroba penyedia Kalium/Potasium, 4) mikroba penghasil fitohormon, 5) mikroba pendegradasi/perombak selulosa, 6) adanya mikroba penghubung/mikoriza dan 7) mikroba pengoksidasi oksigen atau *hydrogen-oxidizing bacteria (HOB)* (tabel 6).



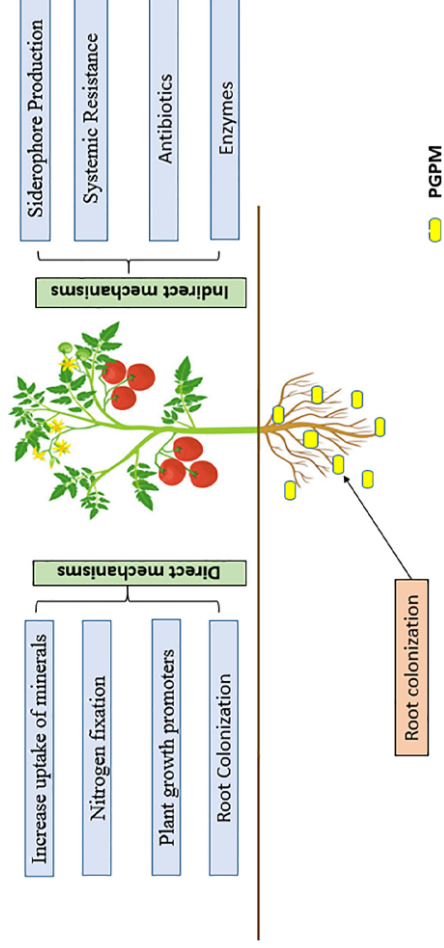
Gambar 3. Peran biofertilizer dalam pertumbuhan tanaman (Raimi et al., 2021)

Tabel 6. Jenis mikroba dalam biofertilizer

No	Jenis mikroba	Contoh mikroba	Potensi	Rujukan
	Mikroba penambat nitrogen	<p>Simbiotik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Rhizobium</i> • <i>Bradyrhizobium</i> • <i>Sinorhizobium</i> • <i>Azorhizobium</i> <p>Non simbiotik</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Azotobacter</i> • <i>Mycobacterium</i> • <i>Azospirillum</i> • <i>Clostridium</i> • <i>Klebsiella</i> • <i>Bacillus</i> • <i>Enterobacter</i> • <i>Beijerinckia</i> 	<p>Simbiotik:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan penambatan nitrogen melalui hubungan simbiotik dengan perakaran tanaman (simbiotik). Mikroba ini menginfeksi akar tanaman dan membentuk bintil akar dari inangnya <p>Non simbiotik</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Memiliki enzim kompleks nitrogenase (mengubah N₂ menjadi NH₃) (non simbiotik) 3. Meningkatkan efisiensi penyerapan nitrogen. 4. mempengaruhi perkecambahan benih, dan memperbaiki pertumbuhan tanaman 	(Sun et al., 2020)
2.	Mikroba pelarut fosfat/ Phosphate solubilizing microbes (PSM)	<p>Bakteri: <i>Bacillus firmus</i>, <i>B. subtilis</i>, <i>B. cereus</i>, <i>B. licheniformis</i>, <i>B. polymixa</i>, <i>B. megatherium</i>, <i>Arthrobacter</i>, <i>Pseudomonas</i>, <i>Achromobacter</i>, <i>Flavobacterium</i>, <i>Micrococcus</i> dan <i>Mycobacterium</i>. Jamur: <i>Aspergillus niger</i>, <i>A. candidus</i>, <i>Fusarium</i>, <i>Penicillium</i>, <i>Sclerotium</i> dan <i>Phialotobus</i>. <i>Aeromonas Punctata</i> Aktinomyces: <i>Streptomyces</i> sp</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melepaskan ikatan senyawa P yang sukar larut menjadi terlarut melalui proses pengasaman, reaksi pertukaran dan khelasi. 2. Memperbaiki aerasi dan agregasi tanah 3. Berbagai enzim seperti asam fosfatase dan fitase yang dihasilkan oleh pelarut P memainkan peran penting dalam pelarutan fosfor tanah. 	(Kour, Rana, Yadav, et al., 2020)

3	Mikroba penyedia K (Potassium)/ Potassium Solubilizing Microbes (KSMs) that	<p><i>Acidithiobacillus, Agrobacterium, Arthrobacter, Aspergillus, Bacillus, Burkholderia, Enterobacter, Pantoea, Flectobacillus, Klebsiella, Microbacterium, Myroides, Paenibacillus, Pseudomonas, and Stenotrophomonas</i></p>	<p>1. Melepaskan K dari berbagai senyawa kalium tidak larut yang ada di tanah dan sekitarnya.</p>	(Yadav et al., 2017); (Kour, Rana, Kaur, et al., 2020); (Setiawati & Mutmainnah, 2016)
4	Mikroba penghasil fitohormon	<p><i>Pseudomonas, Azotobacter, Trichoderma,</i></p>	<p>1. Meningkatkan perkecambahan dan perkembangan akar karena produksi dan ekskresi asam indolasetat IAA)</p>	(Mihovilovic et al., 2014).
5	Mikroba pendegradasi selulosa/dekomposer	<p>Fungi: <i>Aspergillus, Trichoderma, Rhizopus, Penicillium, Fusarium, Trametes,</i> Bakteri <i>Cellulomonas, Cytophaga, Clostridium, Bacillus, Sporocythophaga, Acidiphilium, Armillaria, dan Archromobacter</i> Actinomycetes: <i>Streptomyces, Nocardia,</i> Micromonospora, dan Streptosporangium</p>	<p>1. Mengurai bahan selulosa menjadi glukosa 2. Mensuplai nutrisi untuk semua mikroba yang berada di sekitar tanaman.</p>	(Pujiati; Widiyanto, 2017)
6	Mikroba penghubung (mikoriza)/ Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF)	<p>1. <i>Rhizogloium irregulare</i> 2. <i>Funneliformis mosseae</i> 3. <i>Funneliformis caledonium</i></p>	<p>1. Memfasilitasi penyerapan nutrisi dan air 2. Membuat tanaman tahan terhadap penyakit tular tanah, dan membantu inangnya untuk bertahan dalam kondisi buruk/cekaman. 3. Pengendalian erosi tanah, remediasi polutan tanah, dan pemberantasan organisme berbahaya.</p>	(Liu et al., 2020)

<p>4. meningkatkan pertumbuhan awal dan pembentukan bibit pohon dalam proyek restorasi Mikorisa tahan terhadap keadaan lingkungan yang kurang menguntungkan</p>	<p>Meningkatkan kemampuan fiksasi nitrogen dan solubilisasi fosfat (Zhang et al., 2021)</p>
<p>7 hydrogen-oxidizing bacteria (HOB)</p>	<p>Azospirillum lipoferum strain DSM 1691 and Azoarcus olearius strain DQS-4</p>



Source: (Mahmudul et al., 2021)

Gambar 4. Mekanisme inokulan Mikroba/Plant Growth-Promoting Microbe (PGPM) yang terkandung dalam Biofertilizer dalam pertumbuhan tanaman

4. Teknologi Mikroba dalam Pengembangan Biopestisida

Teknologi mikroba sebagai biopestisida merupakan pemanfaatan mikroba yang digunakan sebagai agen pengendali hama tanaman, sebagai pengganti pestisida kimia. Biopestisida dari mikroba memainkan peran penting terhadap serangga dan patogen. Mikroorganisme ini juga dapat digunakan sebagai biofertilizer karena kemampuannya yang beranekaragam seperti pemfiksasi nitrogen, pelarut fosfor, pelarut kalium, seng, dan penghasil enzim hidrolitik. Mikroorganisme ini dapat beradaptasi pada kondisi lingkungan yang tidak baik seperti suhu yang rendah, salinitas yang tinggi dan kondisi multi-stres yang berbeda lainnya. Mikroorganisme inilah yang berperan dalam meningkatkan kualitas tanaman dan produksinya dari tahun ke tahun. Oleh karena itu sangat penting untuk mengganti insektisida kimia ini dengan biopestisida melihat potensi dan manfaatnya yang sangat besar.

Pengendalian berbagai kelompok hama atau serangga dilakukan dengan menerapkan berbagai macam mikroorganisme termasuk jamur, virus bakteri, protozoa, dan nematoda sebagai pestisida mikroba. Pestisida ini bersifat spesifik dan tidak patogen bagi mikroorganisme potensial lain. Karena mikroorganisme tersebut bisa saja sudah ada di lingkungan secara alami dan dapat dimodifikasi secara genetik untuk menghasilkan insektisida dan pestisida dengan respon yang spesifik spesies *9Species-specific respons* (Thakur et al., 2020). Mikrobial pestisida yang diterapkan secara teratur saat ini adalah mikroorganisme yang menunjukkan efek patogen pada populasi hama. Biopestisida ini juga efektif dengan pemberian dosis kecil dan cenderung cepat terdegradasi sehingga sangat ramah lingkungan.

Pestisida mikrobial dapat memainkan peranan penting dalam pengelolaan hama terpadu berbasis biologis. Mikroba tersebut memiliki mode aksi yang unik dan aktif melawan berbagai hama patogen.

Tabel 7. Beberapa jenis mikroorganisme potensial dan hama target (Thakur et al., 2020)

No	Jenis mikroba	Serangga/hama target
<i>Bakteri</i>		
1.	<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Plutella xylostella</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Earias species</i> , <i>Spodoptera litura</i> , <i>Heliothis armigera</i> , <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> , <i>Achaeae janata</i> , <i>Hyblaea pured</i> , <i>Eutectona machaeralis</i>

2.	<i>Bacillus pumilus</i>	Powdery mildews, rust, and downy (Peronospora, Bremia, Plasmopara, and Basidiophora)
3.	<i>Bacillus subtilis</i>	Bacterial leaf blight (paddy), Sigatoka pada pisang karena jamur <i>Pseudocercospora musicola</i>
4.	<i>Bacillus moritai</i>	Diptera
5.	<i>Pseudomonas</i>	<i>Meloidogyne sp</i>
6.	<i>Pseudomonas cepacia</i>	Jamur patogen tanah
7.	<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	Jamur patogen pada barley dan gandum
8.	<i>Agrobacterium adiobacter</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
Fungi/Jamur:		
1.	<i>Ampelomyces quisqualis</i>	Powdery mildew (<i>Erysiphe cichoracearum</i>)
2.	<i>Aschersonia aleyroides</i>	Whitefly Sickle
3.	<i>Alternaria cassiae</i>	Sickle pod (weed)
4.	<i>Beuveria bassiana</i>	Rice leaf folder (<i>Cnaphalocrosis medinalis</i>), diamond back moth (<i>Plutella xylostella</i>), pod borer (<i>Helicoverpa armigera</i>) and fruit borer/spotted bollworm
5.	<i>Beuveria brongniartii</i>	Coleoptera (Scarabaeidae)
6.	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Northern joint vetch (weed)
7.	<i>Conidiobolus thromboides</i>	Hemiptera and Thysanoptera
8.	<i>Gliocladium</i>	<i>Botrytis</i> , <i>Pythium</i> , <i>Didymella</i> , <i>Rhizoctona</i> , root rot, and damping of
9.	<i>Fusarium lateritium</i>	Velvet leaf (weed)
10.	<i>Lecanicillium longisporum</i>	Hemiptera
11.	<i>Verticillium</i>	Root knot nematodes (<i>Meloidogyne incongita</i>), whiteflies, mealy bugs and scales insect (<i>Planococcus citri</i> and <i>Coccus viridis</i>), thrips (<i>Thrips tabaci</i>), Diamond Back Moth (<i>Plutella xylostella</i>), and white backed plant hopper (<i>Sogatella furcifera</i>)
12.	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Isoptera, brown plant hopper (BPH),

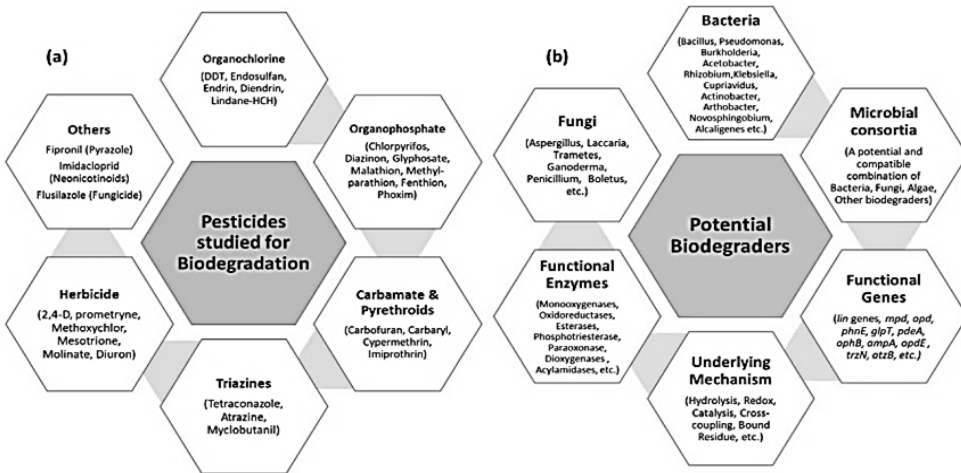
		<i>shoot and fruit borer (Leucinodes orbonalis)</i>
13.	<i>Nomuraea rileyi</i> <i>Trichoderma</i>	<i>Helicoverpa armigera, Trichoplusia ni, Spodoptera litura, and Achaea janata</i>
14.	<i>Trichoderma</i>	<i>Root-knot nematodes (Meloidogyne incognita)</i>
15.	<i>Hirsutella thompsonii</i>	<i>Phytophagous mites</i>
16.	<i>Phytophthora palmivora</i>	<i>Milk weed vine (weed)</i>
17.	<i>Phelbia gigantea</i>	<i>Rust of pine and spruce microbes,</i>
18.	<i>Lecanicilliumlecanii</i>	<i>microbes, thrips, whiteflies, and aphids</i>

5. Teknologi Mikroba dalam Bioremediasi Pestisida

Pestisida merupakan kontaminan yang digunakan dalam bidang pertanian untuk meningkatkan produksi dari kerugian yang ditimbulkan oleh berbagai jasad pengganggu yang terdiri dari kelompok hama dan penyakit maupun gulma. Alasan petani menggunakan pestisida dirasa menguntungkan karena dapat mengendalikan (*Organisme Pengganggu Tumbuhan*) OPT dengan cepat dan pengaplikasiannya juga mudah. Jenis-jenis pestisida yang sering digunakan antara lain organoklorin, organofosfat, karbamat, pirethrin, dan lain-lain. Pestisida tersebut digunakan secara signifikan di masa lalu namun jejaknya masih ada di lingkungan. Aplikasi yang berlebihan dan penggunaan dengan konsentrasi tinggi yang berkelanjutan dapat meningkatkan dampak lingkungan yang terkait dengan toksisitasnya. Pengaplikasian pestisida ini dapat menyebabkan dampak serius karena bertahan di lingkungan, transmisi jarak jauh, bioakumulasi dalam lingkungan, dan toksisitas terhadap organisme/mikroorganisme non-target, perubahan fisiko kimia tanah dan sebagainya. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk mengurangi polutan atau pestisida berlebih di lingkungan salah satunya dengan menggunakan teknologi bioremediasi.

Bioremediasi merupakan suatu proses pemulihan dan perbaikan kondisi lingkungan yang telah rusak akibat dari senyawa kimia dengan bantuan mikroorganisme (bakteri, fungi, tanaman atau pemanfaatan enzimnya), baik dilakukan secara in-situ maupun eks-situ (Naibaho et al., 2020). Bioremediasi ini merupakan proses penguraian polutan berupa bahan organik/anorganik seperti paliaromatik hidrokarbon (PAH), hidrokarbon, *persistant organic pollutant* (POP), pestisida, logam berat, dan lain-lain. Mikroorganisme merupakan agen bioremediator yang memiliki peran untuk memodifikasi polutan beracun seperti pestisida

dengan mengubah struktur kimianya atau dapat disebut sebagai proses *biotransformasi*. Akhir dari proses bioremediasi adalah menghasilkan air dan gas tidak berbahaya seperti karbondioksida atau CO₂ (Puspitasari & Khaeruddin, 2016).



Gambar 5. jenis-jenis pestisida dan biodegrader yang digunakan dalam proses remediasi lahan tercemar pestisida (Sarker et al., 2021)

Beberapa konsorsium mikroba juga telah diaplikasikan dalam bioremediasi tanah tercemar pestisida dengan reaksi dan hasil yang berbeda-beda (tabel 8).

Tabel 8. Pemanfaatan konsorsium mikroba dalam bioremediasi pestisida

Microbial consortium	Pesticide	Experiment type	Reaction condition	Result
Bacterial consortium (<i>Pseudomonas</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Stenotrophomonas</i> , <i>Ochrobactrum</i> , and <i>Bacillus</i> and their mixed culture)	Chlorpyrifos	Lab batch trial	10-day incubation	82% remediation
Soil inhabiting microbial consortium (undefined)	Fipronil	Lab bioassay (field soils)	19–21-day incubation	–
Microbial consortium (<i>G. molinivorax</i> ON4T, <i>Pseudomonas</i> (two strains), <i>Stenotrophomonas</i> , and <i>Achromobacter</i>)	Molinate (herbicide)	Lab trial (paddy field soils)	42-day batch incubation	63% mineralized after 42 days
Bacterial consortium (<i>Arthrobacter</i> sp. N ₂ , <i>Variovorax</i> sp. SRS16)	Diuron (herbicide)	Lab assay (agricultural soils)	120-day incubation	45% mineralized after 120 days
Mixed consortium (<i>Pseudomonas cepacian</i> , <i>Xanthomonas</i> sp., <i>Commomonas terrigera</i> , and <i>Flavobacterium meningosepticum</i>)	Malathion	<i>In vitro</i> lab assay	28 °C incubation experiment	99% removal
Soil inhabiting mixed consortium (undefined)	Monocrotophos	Slurry experiment	28 °C incubation for 20 days	96%–98% removal
Mixed consortium of soil microbes (population density 1.10×10^8 CFU/mL)	Atrazine	Site study	160-day batch assay	48% remediation
Bacterial consortium (<i>Pseudomonas</i> spp. strains GA07, GA09, and GC04)	Glyphosate	Lab assay	18-day batch study	Two to three times of degradation than non-inoculated treatment

6. Bioremediasi Hidrokarbon

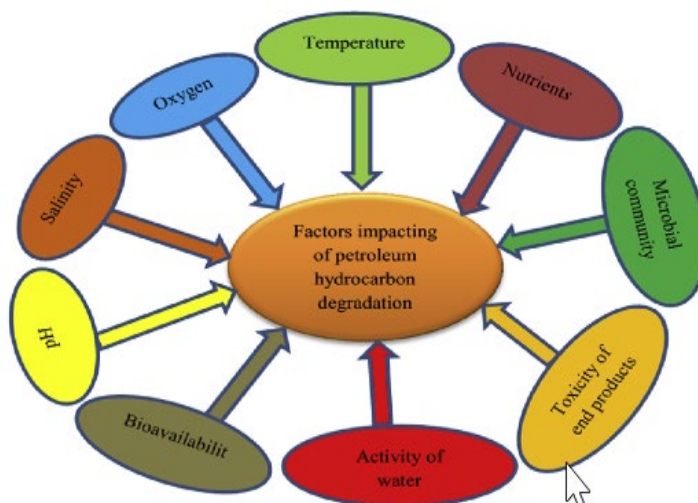
Hidrokarbon merupakan senyawa yang mengandung unsur karbon (C) dan Hidrogen (H). Sumber utama dari senyawa hidrokarbon ini adalah minyak bumi dan bahan-bahan lain yang mengandung kedua unsur tersebut. Proses pencemaran hidrokarbon di pedesaan mungkin bukan hal yang sering terjadi karena sumber pencemaran hidrokarbon terbesar biasanya berasal dari penambangan minyak bumi. Jadi teknologi mikroba dalam bioremediasi hidrokarbon ini cocok untuk diaplikasikan pada daerah-daerah atau desa tempat pengeboran minyak bumi seperti daerah Cepu, Bojonegoro, Riau dan daerah-daerah penambangan minyak bumi lainnya.

Pencemaran tanah oleh hidrokarbon memiliki dampak yang sangat besar pada ekosistem tanah. Akumulasi polutan pada jaringan hewan dan tumbuhan dapat menyebabkan kematian atau mutase. Pelepasan minyak bumi tersebut ke lingkungan dapat menyebabkan kerusakan permanen jika tidak segera ditangani. Daerah yang terkontaminasi merupakan daerah yang melimpah dengan mikroorganisme lokal yang dapat berperan dalam proses biodegradasi senyawa tersebut.

Biodegradasi adalah strategi yang efektif dan efisien untuk mempercepat proses pembersihan untuk memulihkan lingkungan yang terkontaminasi. Setiap area yang terkontaminasi memiliki mikroorganisme indigeneous yang berperan dalam proses biodegradasi polutan minyak/hidrokarbon di lingkungan. Banyak isolat bakteri dapat mendegradasi hidrokarbon dan dengan memanfaatkannya sebagai sumber karbon dan energi. Bakteri pendegradasi hidrokarbon menghasilkan zat aktif permukaan seperti biosurfaktan yang dapat mengemulsi hidrokarbon dalam larutan. (Forhad Hossain et al., 2021; Khemili-Talbi et al., 2015; Sayuti et al., 2018).

Biodegradasi hidrokarbon di lingkungan dipengaruhi oleh banyak faktor. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi biodegradasi senyawa hidrokarbon antara lain suhu, temperatur, kadar oksigen, nutrisi, jumlah mikroba, toksisitas produk akhir, kadar air, Ph, salinitas dan sebagainya (gambar 6).

Berdasarkan hasil penelitian adapun jenis-jenis mikroorganisme yang berperan dalam biodegradasi senyawa hidrokarbon didominasi dari golongan jamur dan bakteri, selain itu ada juga simbiosis antara tanaman dengan mikroba dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon (tabel 9, tabel 10).



Gambar 6. Faktor yang mempengaruhi biodegradasi hidrokarbon (Al-Hawash et al., 2018)

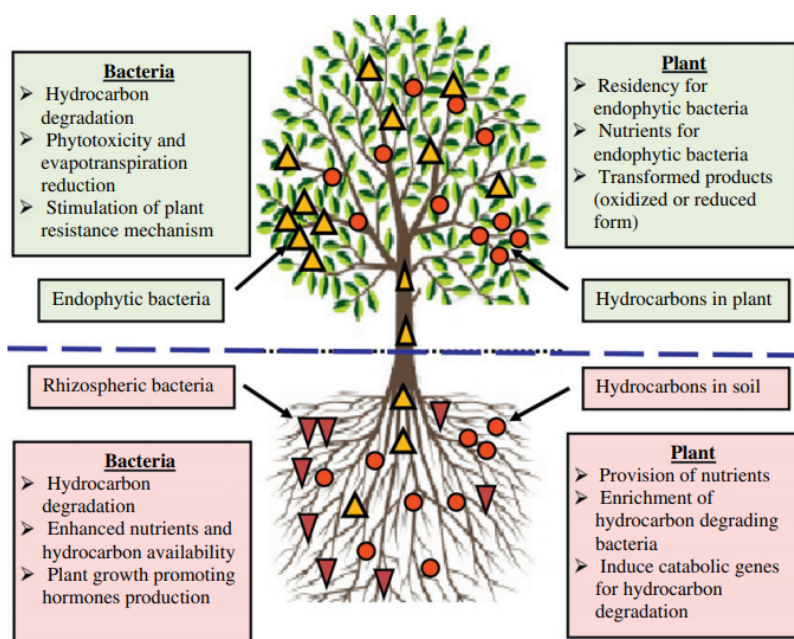
Tabel 9 Jenis Fungi yang berperan dalam biodegradasi senyawa hidrokarbon (Al-Hawash et al., 2018)

No	Jenis fungi	Senyawa
1.	<i>Trichoderma harzianum</i>	Naphthalene
2.	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Naphthalene
3.	<i>Aspergillus spp</i>	Crude oil
4.	<i>Cunninghamella elegans</i>	Phenanthrene
5.	<i>Aspergillus niger</i>	n-hexadecane
6.	<i>Penicillium sp</i>	n-hexadecane
7.	<i>Cunninghamella elegans</i>	Pyrene
8.	<i>Aspergillus ochraceus</i>	Benzo[a]pyrene
9.	<i>Penicillium sp.</i>	Crude oil
10.	<i>Aspergillus sp. RFC-1</i>	Different PHs

Tabel 10 Jenis bakteri yang berasosiasi dengan tanaman yang memiliki potensi mendegradasi senyawa hidrokarbon (Khan et al., 2013)

Plant used	Rhizobacteria	Bacterial characteristics
Maize (<i>Z. mays</i> L.)	<i>Pseudomonas</i> sp. UG14Lr	Hydrocarbon degradation
Italian ryegrass (<i>L. multiflorum</i> var. Taurus)	<i>Pantoea</i> sp. strain BTRH79	Hydrocarbon degradation and ACC deaminase activity
Alfalfa (<i>M. sativa</i> L.)	<i>R. meliloti</i> (strain ACCC 17519)	Hydrocarbon degradation
Maize (<i>Z. mays</i> L.)	Rhizobacterium <i>Gordonia</i> sp. S2RP-17	Hydrocarbon degradation, ACC deaminase and siderophore synthesizing activities
Sorghum (<i>S. bicolor</i>)	<i>Sinorhizobium meliloti</i>	Hydrocarbon degradation, auxin-production
Ryegrass (<i>L. multiflorum</i>)	<i>Acinetobacter</i> sp. strain	Hydrocarbon degradation
Italian rye grass (<i>L. multiflorum</i> var. Taurus) and birdsfoot trefoil (<i>L. corniculatus</i> var. Leo)	<i>Pantoea</i> sp. strain BTRH79, <i>Pseudomonas</i> sp. strain ITRH76	Hydrocarbon degradation
Winter rye (<i>Secale cereale</i> L.), alfalfa (<i>M. sativa</i> L.)	<i>Azospirillum brasilense</i> SR80	Hydrocarbon degradation, indole-3-acetic acid production
Italian rye grass (<i>L. multiflorum</i> var. Taurus)	<i>Rhodococcus</i> sp. strain ITRH43	Hydrocarbon degradation
Sorghum (<i>S. bicolor</i> L. Moench)	<i>S. meliloti</i> P221	Phenanthrene degradation, indole-3-acetic acid production
Maize (<i>Z. mays</i> L.)	<i>P. putida</i> MUB1	Hydrocarbon degradation
Annual ryegrass (<i>L. perenne</i>), tall fescue (<i>F. arundinacea</i> , var. Inferno), barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	<i>Pseudomonas</i> strains, UW3 and UW4	ACC deaminase production
Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	<i>Acinetobacteria</i> sp.	Hydrocarbon degradation
Barley (<i>H. sativum</i> L.)	<i>P. putida</i> KT2440	Hydrocarbon degradation
Barley (<i>H. sativum</i> L.)	Mycobacterium sp. strain KMS	Hydrocarbon degradation
Wheat (<i>Triticum</i> spp.)	<i>Pseudomonas</i> sp. GF3	Phenanthrene degradation
Wheat (<i>T. spp.</i>)	<i>A. lipoferum</i> sp.	Hydrocarbon degradation and indole-3-acetic acid production
Common reed (<i>P. australis</i>)	<i>P. asplenii</i> AC	ACC deaminase production
White Clover (<i>T. repens</i> L.)	<i>R. leguminosarum</i>	Hydrocarbon degradation

Tumbuhan dapat membantu bakteri di perakaran (rizosfer dan endosfer) dengan menyediakan nutrisi dan ruang, pengayaan bakteri pendegradasi hidrokarbon, mengubah hidrokarbon menjadi bentuk yang tidak/sedikit beracun, dan mendorong ekspresi gen katabolik untuk mendegradasi senyawa hidrokarbon. Bakteri rhizo- dan endofit yang berasosiasi dengan tanaman membantu tanaman dengan mengurangi toksisitas tanah melalui mineralisasi langsung senyawa hidrokarbon, meningkatkan ketersediaan nutrisi (N, P, Fe), mengurangi fitotoksistas dan evapotranspirasi, memproduksi hormon pemacu pertumbuhan tanaman dan meningkatkan bioavailabilitas hidrokarbon (gambar 7).



Gambar 7. Interaksi antara tanaman dan bakteri untuk remediasi tanah tercemar hidrokarbon.(Khan et al., 2013)

7. Teknologi Mikroba dalam Biodegradasi Plastik

Limbah/sampah plastik merupakan salah satu permasalahan yang sangat sering ditemui dalam pemerintahan desa yang sampai saat ini masih belum terselesaikan dengan sempurna. Teknologi mikroba juga dapat diaplikasikan untuk menyelesaikan permasalahan ini karena potensinya dalam mendegradasi senyawa kompleks menjadi yang lebih sederhana.

Plastik merupakan polimer turunan minyak bumi yang memiliki berat molekul yang tinggi. Umumnya bahan plastik berasal dari bahan kimia kecuali bioplastik yang bersifat biodegradable (Akmal et al., 2015; Getachew & Woldesenbet, 2016). Plastik terdiri dari klorida, oksigen, hidrogen, karbon, silikon, dan nitrogen. Polietilen terdiri dari 64% dari total plastik dan rumus umumnya adalah C_nH_{2n} (Kale et al., 2015).

Plastik memainkan peran penting dalam setiap sektor ekonomi di seluruh dunia. Di daerah yang sangat berkembang yaitu pertanian, bangunan dan konstruksi, kesehatan dan barang konsumsi. Plastik, tulang punggung banyak industri, digunakan dalam pembuatan berbagai produk yang digunakan dalam kehidupan kita sehari-hari. Plastik juga digunakan dalam kemasan makanan, obat-obatan, deterjen dan kosmetik (Piergiovanni & Limbo, 2016)

Plastik dapat dibedakan menjadi polimer yang dapat terdegradasi dan tidak dapat terdegradasi berdasarkan sifat kimianya. Plastik yang diperoleh dari sumber daya terbarukan adalah plastik biodegradable. Ini secara alami dapat terdegradasi, sebagai sumber bahan selulosa, pati dan alga, komponen penting dalam tanaman, hewan dan alga. Polimer ini juga diproduksi oleh mikroorganisme. Plastik yang tidak dapat terurai, biasanya dikenal sebagai plastik sintetis, berasal dari bahan kimia dan memiliki berat molekul yang lebih tinggi.

Peran mikroorganisme dalam mengatasi permasalahan terkait limbah plastik adalah karena potensinya dalam mendegradasi plastik. Jenis-jenis mikroba tersebut masih didominasi dari golongan bakteri dan kapang (tabel 11) dan penampakan dari plastik yang terdegradasi oleh mikroorganisme yang diamati menggunakan mikroskop electron (gambar 8). Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam biodegradasi plastik menggunakan mikroorganisme antara lain:

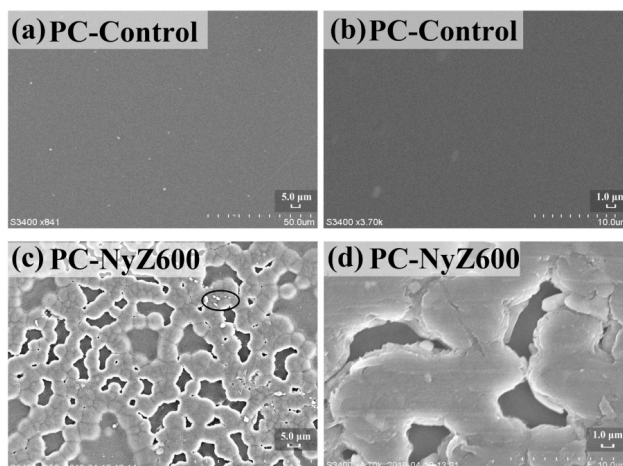
- Mikroba yang digunakan termasuk bakteri, jamur, dan alga harus diselidiki dan diketahui dengan plastik
- Menjaga kondisi optimum mikroba sehingga proses biodegradasi dapat berjalan efektif dan efisien
- Penggunaan konsorsium bakteri aerob dan anaerob sangat tepat untuk degradasi plastik yang lebih efisien.
- Penggunaan enzim mikroba seperti lakase, enzim pendegradasi lignin, urease, lipase, dan protease juga dapat dimanfaatkan untuk mendegradasi plastik dalam kondisi aerob dan anaerob.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi biodegradasi plastik menggunakan mikroba antara lain:

- Ketersediaan gugus fungsi yang meningkatkan hidrofobisitas (Wang et al., 2021)
- Kompleksitas struktur yaitu linier/bercabang (Tokiwa et al., 2009)
- Type Ikatan, ikatan mudah pecah seperti ikatan amida dan ester obligasi (Shams et al., 2020)
- Komposisi dasar molekul (Shams et al., 2020).
- Kerapatan polimer dan berat molekulnya (Tokiwa et al., 2009)
- Morfologi TM: jumlah daerah amorf dan daerah kristalin (Wang et al., 2021)

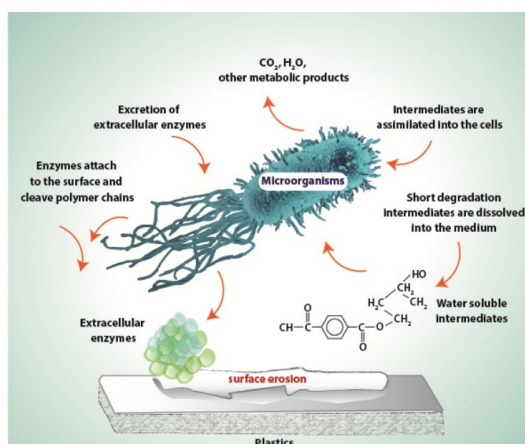
Tabel 11. mikroorganisme potensial pendegradasi plastik (Taghavi et al., 2021)

Strain	Plastic type	Time (day)	Weight loss (%)
<i>Bacillus subtilis</i>	PS	30	23
<i>Exiguobacterium</i> sp. YT2	PS	60	7.4
Marine consortia	PS	180	4.7
<i>Rhodococcus ruber</i> C208	PS	56	0.8
<i>Bacillus cereus</i>	PS	40	7.4
<i>Bacillus gottheilii</i>	PS	40	5.8
<i>Bacillus cereus</i>	PE	40	1.6
<i>Bacillus gottheilii</i>	PE	40	6.2
<i>Enterobacter asburiae</i> YT1	PE	28	6.1
<i>Bacillus</i> sp. YP1	PE	28	10.7
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	PE	120	20
<i>Penicillium simplicissimum</i>	PE	90	7.7
Soil and sewage consortia	PE	30	5.26
<i>Aspergillus fumigates</i>	PE	30	2.49
<i>Aspergillus niger</i>	PE	30	4.32
<i>Penicillium</i> sp.	PE	60	3.11
<i>Trichoderma harzianum</i>	PE	60	2.26
<i>Lasiodiplodia crassispota</i>	PE	60	1.37
<i>Rhodococcus ruber</i> C208	PE	56	7.5
<i>Bacillus subtilis</i>	PE	30	9.26
<i>Aspergillus niger</i>	PE	160	N/A
<i>Aspergillus flavus</i>	PE	28	3.9
<i>Idiconccla sakaicnsis</i> 201-f6	PET	42	58
<i>Bacillus subtilis</i> UCP 999	PET	60	0.06
<i>Penicillium funiculosum</i> .	PET	84	0.21
Soil and sewage consortia	PET	30	11.77
<i>Bacillus cereus</i>	PET	40	6.6
<i>Bacillus gottheilii</i>	PET	40	3

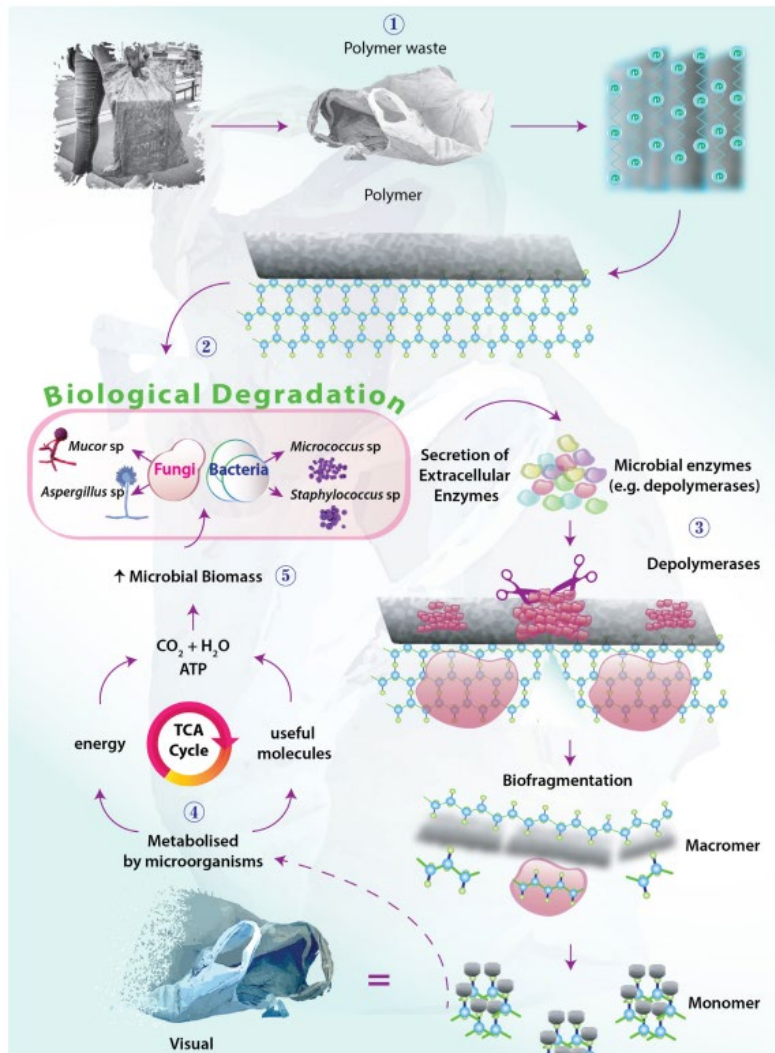


Gambar 8. Hasil gambar mikroskop elektron (SEM) dari sampel kontrol (a dan b) dan degradasi film PC oleh strain mikroba (NyZ600) selama 30 hari (c dan d). Bentuk elips menunjukkan adanya sel bakteri (Yue et al., 2021)

Mekanisme biodegradasi polimer terdiri dari tiga langkah; (a) perlekatan mikroorganisme pada permukaan polimer, (b) pemanfaatan polimer sebagai sumber karbon, dan (c) degradasi polimer. Mikroorganisme menempel pada permukaan polimer dan mendegradasi polimer tersebut dengan mensekresikan enzim untuk memperoleh energi untuk pertumbuhannya (Danso et al., 2019). Polimer besar terdegradasi menjadi monomer monomer dan oligomer yang merupakan molekul dengan berat molekul rendah. Beberapa oligomer dapat berasimilasi di lingkungan internal mikroorganisme setelah berdifusi di dalamnya (gambar 9).



Gambar 9. Mekanisme umum degradasi plastik pada kondisi aerob (Zeenat et al., 2021)



Gambar 10. Biodegradasi polietilen.(Zeenat et al., 2021)

Keterangan gambar 10

(1) Penggunaan kantong plastik setiap hari menghasilkan bahan limbah polimer dalam jumlah besar. Tas belanja terbuat dari polimer etilen yaitu PE. (2) Mikroorganisme tertentu seperti bakteri (mis., *Micrococcus sp.*, *Staphylococcus sp.*) dan jamur (mis., *Mucor sp.*, *Rhizopus sp.*), menghasilkan enzim pendegradasi PE ekstraseluler. (3) Depolimerase adalah salah satu jenis enzim pendegradasi polietilen, yang dapat

memecah rantai PE menjadi fragmen makromer (yaitu, oligomer, dimer) yang kemudian diubah menjadi monomer yaitu etilen. (4) Mikroorganisme dapat memetabolisme monomer tesis (etilen) melalui jalur aerobik atau anaerobik dan memanfaatkannya sebagai sumber karbon dan energi. (5) Mikroorganisme memanfaatkan energi ini untuk bereproduksi yang menghasilkan peningkatan biomassa mikroba.

8. Biodegradasi logam berat

Industrialisasi dan kemajuan teknologi telah memberikan dampak yang luar biasa ke lingkungan termasuk area yang berada di daerah industri memiliki potensi yang tinggi tercemar polutan berbahaya dari sisa-sisa industri yang dijalankan. Logam berat (kadmium, kromium, dan timbal) dan metaloid (elemen dengan sifat perantara antara logam biasa dan non-logam, seperti arsenik dan antimon), dan kontaminan organik yang telah menimbulkan kerusakan serius pada ekosistem. Penumpukan logam berat dan metaloid di tanah dan perairan terus menimbulkan masalah Kesehatan yang serius, karena logam dan metaloid ini tidak dapat didegradasi menjadi senyawa yang tidak beracun, tetapi bertahan dalam ekosistem. Kontaminasi lingkungan dengan logam berat telah meningkat melampaui batas yang direkomendasikan dan merugikan semua bentuk kehidupan (Ayangbenro & Babalola, 2017).

Seperti studi literatur tentang pencemaran logam berat golongan kromium pernah dilakukan di daerah Jetis, Mojokerto. Di alam, Kromium ada dalam dua bentuk yaitu Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Cr^{6+} merupakan bentuk yang tidak stabil, dan sering ditemukan sebagai kromat $(\text{CrO}_4)^{2-}$ atau dikromat $(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-}$. Sedangkan Cr^{3+} lebih cenderung terserap di permukaan tanah atau terendapkan dalam bentuk $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (kromium hidroksida). Kromium ini banyak digunakan pada industri electroplating, industri logam, penyamakan kulit, pendingin air, pulp, pemurnian bijih, dan petroleum/minyak, penggunaan pestisida dan kompos pada kegiatan pertanian juga menyumbang limbah kromium (Kaur & Kumar, 2014);(Dhal et al., 2013). Hasil dari studi literatur ini menunjukkan bahwa Potensi kontaminasi kromium pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto diakibatkan sektor pertanian sebesar 57,2% dan sektor industri sebesar 23,6% terhadap luas total Kecamatan Jetis.

Jenis-jenis mikroorganisme yang berperan dalam biodegradasi logam berat antara lain *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Methosinus*, *Rhodococcus*, *Mycobacterium*, *Stereum hirsutum*, *Nocardia*, *Methanogens*, *Aspergillus niger*, *Pleurotus ostreatus*,

Rhizopus arrhizus, *Azotobacter*, *Alcaligenes*, *Phormidium valderium*, *Ganoderma applantus* (Awaluddin & Tangahu, 2020; Verma & Kuila, 2019).

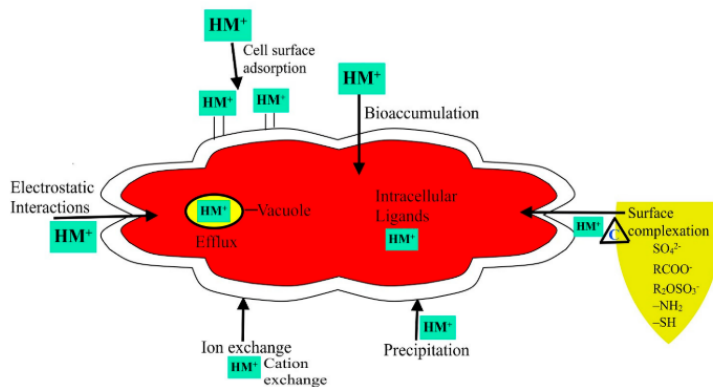
Tabel 12. Jenis mikroorganisme pengabsorpsi logam berat (Ayangbenro & Babalola, 2017)

Microbial Group	Microbial Biosorbent	Metal	pH	Temperature (°C)	Time (h)	Initial Metal Ion Concentration (mg/L)	Sorption Capacity (mg/g)
Bacteria	<i>Bacillus cereus</i> (Immobilize on alginate)	Hg	7	30	72	10	104.1
	<i>B. laterosporus</i>	Cd	7	25	2	1000	159.5
		Cr(VI)	2.5				72.6
	<i>B. licheniformis</i>	Cd	7	25	2	1000	142.7
		Cr(VI)	2.5				62
	<i>Desulfovibrio desulfuricans</i> (immobilize on zeolite)	Cu	7.8	37	168	100	98.2
		Ni				100	90.1
		Cr(VI)				100	99.8
	<i>Enterobacter cloacae</i>	Pb	-	30	48	7.2	2.3
	<i>Kocuria rhizophila</i>	Cd	8	35	1	150	9.07
		Cr	4			150	14.4
	<i>Micrococcus luteus</i>	Cu	7	27	12	80.24	408
		Pb				272.39	1965
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Co	5.2	25	10	58.93	8.92
		Ni	5.5			58.69	8.26
Cr(III)		3.4			52	6.42	
<i>P. jessenii</i>	Ni	-	25	6	275	1.36	
	Cu				300	10.22	
	Zn				400	4.39	
<i>Pseudomonas sp.</i>	Ni		25	6	275	2.79	
	Cu				300	5.52	
	Zn				275	3.66	
Sulphate-reducing bacteria	As(III)	6.9	-	24	1	0.07	
	As(V)					0.11	
Fungi	<i>Aspergillus niger</i>	Cu	5	30	1	100	15.6
		Pb	4.5			100	34.4
		Cr(VI)	3.5			50	6.6
	<i>Botrytis cinereal</i>	Pb	4	25	1.5	350	107.1
	<i>Phanerochaete chrysosporium</i> (immobilized on loofa sponge)	Pb	6	20	1	100	88.16
		Cu				100	68.73
		Zn				100	39.62
	<i>Pleurotus platypus</i>	Ag	6	20	2	200	46.7
	<i>Rhizopus oryzae</i>	Cu	4	35	2	100	34

Mekanisme Penyerapan Logam Berat oleh Mikroorganisme

Struktur sel mikroorganisme dapat menjebak ion logam berat dan selanjutnya menyerap ke tempat ikatan dinding sel. Proses ini disebut biosorpsi atau serapan pasif, proses ini tidak tergantung pada siklus metabolisme. Jumlah logam yang diserap tergantung pada kesetimbangan kinetik dan komposisi logam pada permukaan sel. Mekanisme tersebut melibatkan beberapa proses, termasuk interaksi

elektrostatik, pertukaran ion, pengendapan, proses redoks, dan kompleksasi permukaan. Proses dapat berjalan cepat dan dapat mencapai keseimbangan dalam beberapa menit. Biosorpsi dapat dilakukan oleh fragmen sel dan jaringan, oleh biomassa mati/ sel hidup sebagai serapan pasif melalui kompleksasi permukaan ke dinding sel dan lapisan luar lainnya. Metode lainnya adalah proses di mana ion logam berat melewati membran sel ke dalam sitoplasma, melalui siklus metabolisme sel. Ini disebut sebagai bioakumulasi atau serapan aktif. Bioakumulasi adalah mekanisme/proses yang terjadi sel hidup yang bergantung pada berbagai mekanisme fisik, kimia, dan biologis (Gambar 9). Organisme yang akan mengakumulasi logam berat harus memiliki toleransi terhadap satu atau lebih logam pada konsentrasi yang lebih tinggi, dan harus menunjukkan kemampuan transformasional yang ditingkatkan, mengubah bahan kimia beracun menjadi bentuk yang tidak berbahaya yang memungkinkan organisme untuk mengurangi efek toksik logam tersebut, dan pada saat yang sama waktu, menjaga logam yang terkandung. (Fomina & Gadd, 2014; Mosa et al., 2016)



Gambar 11. Mekanisme penyerapan logam berat oleh mikroorganisme (Ayangbenro & Babalola, 2017)

9. Teknologi mikroba untuk pangan

Teknologi mikroba yang digunakan untuk pangan dan pengembangan pedesaan biasanya adalah jenis produk fermentasi dikembangkan pada industri rumahan. Mikroba potensial pada proses fermentasi makanan didominasi oleh mikroorganisme probiotika atau disebut juga bakteri asam laktat (BAL)/Lactid Acid Bacteria (LAB). Fermentasi dikenal sebagai salah satu bentuk pengawetan makanan tertua di dunia. Fermentasi dapat meningkatkan daya simpan /

pengawetan pada daging, ikan, buah dan sayuran notabene mudah rusak karena kandungan air dan nilai gizinya yang tinggi. Proses pengawetan pada makanan terjadi melalui asam laktat, alkohol, asam asetat dan fermentasi garam tinggi. Selain mengawetkan makanan, fermentasi juga mengubah karakteristik organoleptik makanan (Mayrowani, 2016). Jenis-jenis produk fermentasi yang dikembangkan pada tingkat umkm di pedesaan antara lain *nata decoco*, brem, kecap, tape, tempe, yoghurt, kefir, tempoyak, oncom.

Tabel 13. Keberadaan bakteri asam laktat pada pangan fermentasi dari Indonesia

No	Jenis makanan	Bahan dasar	Proses fermentasi	BAL yang ditemukan
1.	Sayur asin	Sawi	Fermentasi laktat	<i>Lactobacillus farciminis</i> , <i>Lb. fermentum</i> , <i>Lb. namurensis</i> , <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. helveticus</i> , <i>Lb. brevis</i> , <i>Lb. versmoldensis</i> , <i>Lb. casei</i> , <i>Lb. rhamnosus</i> , <i>Lb. fabifermentans</i> , <i>Lb. satsumensis</i> <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lb. confusus</i> , <i>Lb. curvatus</i> , <i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Lb. plantarum</i>
2.	Tempoyak	Daging durian	Fermentasi laktat	<i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. coryneformis</i> , <i>Lb. casei</i> <i>Lb. plantarum</i> , <i>Lactobacillus</i> sp., <i>Weissella paramesenteroides</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> <i>Enterococcus</i>
3.	Mandai	Daging cempedak	Fermentasi laktat	<i>Lb. plantarum</i> <i>P. pentosaceus</i>
4.	Ragi tape	Tepung beras		<i>P. pentosaceus</i> , <i>E. faecium</i> , <i>Lb. curvatus</i> , <i>W. confusa</i> , <i>W. paramesenteroides</i>
5.	Tape ketan	ketan	Fermentasi alkohol	<i>P. pentosaceus</i> , <i>Weissella</i> sp.
6.	Growol	Ketela pohon	Fermentasi laktat	<i>Lb. plantarum</i> , <i>Lb. rhamnosus</i>
7.	Tempe	kedelai	Fermentasi jamur	<i>Lb. fermentum</i> , <i>Lb. plantarum</i> , <i>P. pentosaceus</i> , <i>W. confusa</i> , <i>Lb. delbrueckii</i> ssp. <i>delbrueckii</i> <i>Lb. plantarum</i>
8.	Kecap	kedelai	Fermentasi jamur dilanjutkan dengan fermentasi kadar garam tinggi	<i>Tetragenococcus halophilus</i>

9.	Bakasang	Ikan	High salt fermentation	<i>P. acidilactici</i>
----	----------	------	------------------------	------------------------



Gambar 12. Jenis produk pangan fermentasi sederhana (kambucha, VCO, nata de coco, brem, dadih, tempoyak, kecap dan tempe)

C. Pengembangan Desa sebagai Sumber Belajar melalui Pendekatan STEM

Desa merupakan lingkungan yang paling dekat dengan peserta didik. Segala potensi dan sumber daya yang ada dalam sebuah desa dapat dijadikan sebagai sumber belajar peserta didik. Sumber belajar sendiri merupakan segala sesuatu yang ada disekitar lingkungan kegiatan belajar yang secara fungsional dapat digunakan untuk membantu optimalisasi hasil belajar (Sanjaya, 2016). Berdasarkan pengertian tersebut desa atau lingkungan tempat tinggal peserta didik merupakan salah satu sumber belajar

Penerapan STEM dalam kegiatan pembelajaran meliputi semua aspek keterampilan yang ada pada abad 21 yang meliputi keterampilan 4C yaitu *creativity, critical thinking, collaboration, dan communication*, sehingga peserta didik dapat menemukan solusi inovatif pada masalah yang dihadapi secara nyata dan dapat menyampaikan atau mendesiminasikan dengan baik (Rahmatina, 2019). STEM sendiri merupakan pendekatan pembelajaran antara dua atau lebih dalam komponen STEM (*Science, technology, Engineering, Mathematic*) atau antara satu komponen STEM dengan disiplin ilmu lain. Dan juga ada peneliti lain yang berpendapat bahwa pembelajaran STEM merupakan

kolaborasi dari keempat bidang ilmu yang serasi untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi di dunia nyata

Generasi STEM sebagai agen perubahan yang tangguh dimasa depan harus belajar mampu menerapkan pengetahuan teoritis yang mereka peroleh untuk mengatasi permasalahan yang ada di lingkungan mereka. Sehingga ada keberlanjutan dari ilmu-ilmu dasar yang mereka dapatkan. Adapun keberlanjutan yang dimaksud meliputi 3 pilar utama (*three pillars of sustainability*) yaitu Ekonomi, lingkungan, dan sosial (Zizka et al., 2021). Pengalaman untuk mengaplikasikan teori yang sudah diperoleh ke lapangan merupakan salah satu strategi untuk menciptakan generasi unggul di masa mendatang.

Adapun strategi yang dapat dilakukan oleh perguruan tinggi agar mahasiswa dapat secara langsung berperan serta dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada di lingkungan mereka sesuai dengan kepakaran dan disiplin ilmu mereka antara lain melibatkan dalam kegiatan tridharma yang mengusung/mengangkat tema potensi kearifan local serta mendukung terealisasinya 8 program Merdeka Belajar Kampus Merdeka terkait pengalaman belajar mahasiswa di luar kampus.

Dalam pengembangan desa atau lingkungan yang ada di sekitar pengalaman-pengalaman belajar yang dapat diperoleh peserta didik meliputi:

1. Belajar berkomunikasi dengan masyarakat, melakukan observasi sebagai upaya untuk pencarian data di lapangan
2. Belajar menemukan atau mengidentifikasi permasalahan lingkungan mereka
3. Belajar menemukan ide/solusi yang kreatif dan inovatif berdasarkan pengetahuan dasar yang diperoleh
4. Mendesain metode atau prosedur untuk merealisasikan ide kreatif sebagai solusi mengatasi permasalahan lingkungan
5. Berkolaborasi dengan rekan atau teman sejawat dengan disiplin ilmu yang sama maupun berbeda untuk menyelesaikan permasalahan yang lebih komprehensif.
6. Membuat *report* dari data-data yang diperoleh baik yang bersifat kuantitatif maupun kualitatif
7. Mendiseminasi kegiatan yang dilakukan.



Gambar 13. Salah satu kegiatan mahasiswa dalam pengembangan desa: pemanfaatan mikroba untuk mengatasi residu pestisida pada lahan pertanian di desa Puntukdoro, Magetan (dokumentasi pribadi)



Gambar 14. Contoh hasil dari project pengembangan desa (penelitian dan pengabdian) yang dapat dijadikan sumber belajar mahasiswa (dokumentasi pribadi)

Daftar Pustaka

- Akmal, D., Asiska, P. D., Wangi, Q. A., Rivai, H., & Agustien, A. (2015). Biosynthesis of copolymer poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) from palm oil and N-pentanol in a 10l bioreactor. *Rasayan Journal of Chemistry*, 8(3), 389–395.
- Al-Hawash, A. B., Dragh, M. A., Li, S., Alhujaily, A., Abbood, H. A., Zhang, X., & Ma, F. (2018). Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(2), 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.06.001>
- Ambar Pertiwiningrum, Ngesti Hidayah, & Siti Syamsiah. (2016). The Use of Sludge from Cow Manure Biodigester as Fertilizer and Carrier of

- Cordyceps sp. for White Grub Pest Control. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 6(3), 149–153. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2016.03.001>
- Awaluddin, M., & Tangahu, B. V. (2020). Studi Literatur Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Kromium di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto Menggunakan Bakteri Azotobacter S8 dan Bacillus substillis. *Jurnal Teknik Its*, 9(2), 6.
- Ayangbenro, A. S., & Babalola, O. O. (2017). A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph14010094>
- Danso, D., Chow, J., & Streita, W. R. (2019). Plastics: Environmental and biotechnological perspectives on microbial degradation. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(19). <https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19>
- Dhal, B., Thatoi, H. N., Das, N. N., & Pandey, B. D. (2013). Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 250–251, 272–291. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.01.048>
- Dong, L., Cao, G., Tian, Y., Wu, J., Zhou, C., Liu, B., Zhao, L., Fan, J., & Ren, N. (2020). *Bioresource Technology Reports Improvement of biogas production in plug flow reactor using biogas slurry pretreated cornstalk*. 9(January).
- Fomina, M., & Gadd, G. M. (2014). Biosorption: Current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Technology*, 160, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>
- Forhad Hossain, M., Ambia Akter, M., Sohanur Rahman Sohan, M., Sultana, D. N., Abu Reza, M., & Md. Faisal Hoque, K. (2021). Bioremediation Potential of Hydrocarbon Degrading Bacteria: Isolation, Characterization, and Assessment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, xxxx, 0–5. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.069>
- Getachew, A., & Woldesenbet, F. (2016). Production of biodegradable plastic by polyhydroxybutyrate (PHB) accumulating bacteria using low cost agricultural waste material. *BMC Research Notes*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13104-016-2321-y>
- Kale, S. K., Deshmukh, A. G., Dudhare, M. S., & Patil, V. B. (2015). Microbial degradation of plastic: a review Swapnil. *Journal of Biochemical Technology*, 6(2), 952–961.
- Kaur, H., & Kumar, A. (2014). Bioremediation of Hexavalent Chromium in Wastewater Effluent By Pseudomonas Putida (Mtcc 102). *International Journal*, 1(4), 2311–2484.
- Khan, S., Afzal, M., Iqbal, S., & Khan, Q. M. (2013). Plant-bacteria partnerships for the remediation of hydrocarbon contaminated soils.

- Khemili-Talbi, S., Kebbouche-Gana, S., Akmoussi-Toumi, S., Angar, Y., & Gana, M. L. (2015). Isolation of an extremely halophilic archaeon *Natrialba* sp. C21 able to degrade aromatic compounds and to produce stable biosurfactant at high salinity. *Extremophiles*, 19(6), 1109–1120. <https://doi.org/10.1007/s00792-015-0783-9>
- Kour, D., Rana, K. L., Kaur, T., Yadav, N., Halder, S. K., Yadav, A. N., Sachan, S. G., & Saxena, A. K. (2020). Potassium solubilizing and mobilizing microbes: Biodiversity, mechanisms of solubilization, and biotechnological implication for alleviations of abiotic stress. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820526-6.00012-9>
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A. N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., Vyas, P., Dhaliwal, H. S., & Saxena, A. K. (2020). Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23, 101487. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487>
- Liu, N., Shao, C., Sun, H., Liu, Z., Guan, Y., Wu, L., Zhang, L., Pan, X., Zhang, Z., Zhang, Y., & Zhang, B. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi biofertilizer improves American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) growth under the continuous cropping regime. *Geoderma*, 363(November 2019), 114155. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114155>
- Mahmudul, H. M., Rasul, M. G., Akbar, D., Narayanan, R., & Mofijur, M. (2021). A comprehensive review of the recent development and challenges of a solar-assisted biodigester system. *Science of the Total Environment*, 753. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141920>
- Mayrowani, H. (2016). Pengembangan Pertanian Organik di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 30(2), 91. <https://doi.org/10.21082/fae.v30n2.2012.91-108>
- Mihovilovic, L., Gutierrez, A., Cabrera, G., Gidekel, M., Barrientos, L., & Berrios, G. (2014). *Biofertilizer formulation* (Patent No. PCT/US2008/005131). <https://patentimages.storage.googleapis.com/e5/5c/15/94e628f9a8b8eb/AU2008242441B2.pdf>
- Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., Azarbaijani, R., Parsa Yeganeh, L., Angelidaki, I., Nizami, A. S., Bhat, R., Dashora, K., Vijay, V. K., Aghbashlo, M., Gupta, V. K., & Tabatabaei, M. (2021). Pretreatment of lignocelluloses for enhanced biogas production: A review on influencing mechanisms and the importance of microbial diversity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(August 2019), 110173. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110173>
- Mosa, K. A., Saadoun, I., Kumar, K., Helmy, M., & Dhankher, O. P. (2016). Potential biotechnological strategies for the cleanup of heavy metals and

- metalloids. *Frontiers in Plant Science*, 7(MAR2016), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00303>
- Naibaho, F. G., Priyani, N., Munir, E., & Damanik, N. S. (2020). Isolasi Bakteri Penghasil Biosurfaktan Menggunakan Media yang Mengandung Pestisida Karbosulfan. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 2(1), 21–24. <https://doi.org/10.36873/jjms.2020.v2.i1.345>
- Piergiovanni, L., & Limbo, S. (2016). Oil Derived Polymers. *Food Packaging : Principles and Practice*, 38–41. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24732-8>
- Pujiati; Joko Widiyanto. (2017). Kapang Selulolitik. In *Madiun : Program Studi Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP PGRI Madiun, 2017* (Vol. 1, Issue 9). Madiun : Program Studi Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP PGRI Madiun, 2017. <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=1071906#>
- Pujiati, Dewi, N. K., & Setiawan, D. (2020). *Produksi Biogas Berbasis Biomassa* (U. Editor (ed.); 1st ed.). UNIPMA press. <http://eprint.unipma.ac.id/118/1/57>.
Produksi_biogas_berbasis_biomassa.pdf
- Pujiati, P., Dewi, N. K., & Setiawan, D. (2021). Pemanfaatan Limbah Tani, Ternak dan Konsorsium kapang selulolitik Pada Produksi Biogas Di Desa Puntukdoro Magetan Melalui Program Pengembangan Desa Mitra. *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 33–41. <https://doi.org/10.20527/btjpm.v3i1.2455>
- Puspitasari, D. J., & Khaeruddin. (2016). *KAJIAN BIOREMEDIASI PADA TANAH TERCEMAR PESTISIDA*. 2(7 (141)), 98–106.
- Rahmatina, C. A. (2019). *PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBASIS STEM (SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING, AND MATHEMATICS) DI SMA/MA* (Vol. 9, Issue Desember) [UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY DARUSSALAM-BANDA ACEH]. <https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/11264/1/Cut> Awwali Rahmatina%2C 150204009%2C FTK%2C PFS%2C 085362369254.pdf
- Raimi, A., Roopnarain, A., & Adeleke, R. (2021). Biofertilizer production in Africa: Current status, factors impeding adoption and strategies for success. *Scientific African*, 11, e00694. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00694>
- Sanjaya, W. (2016). Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan. In *Prenadamedia* (Vol. 12, Issue May). Prenadamedia. <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=1146639>
- Sarker, A., Nandi, R., Kim, J. E., & Islam, T. (2021). Remediation of chemical pesticides from contaminated sites through potential microorganisms and their functional enzymes: Prospects and challenges. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101777. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101777>
- Sayuti, I., Siregar, Y. I., Amin, B., Agustien, A., Studi, P., Lingkungan, I., Sarjana, P., & Riau, U. (2018). Skrining Bakteri Hidrokarbonoklastik

- Dalam Peningkatan Degradasi Minyak Bumi Dari Gas Boot. *Seminar Nasional Pelestarian Lingkungan (SENPLING)*, 303–309.
- Setiawati, T. C., & Mutmainnah, L. (2016). Solubilization of Potassium Containing Mineral by Microorganisms From Sugarcane Rhizosphere. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.134>
- Shams, M., Alam, I., & Chowdhury, I. (2020). Aggregation and stability of nanoscale plastics in aquatic environment. *Water Research*, 171, 115401. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115401>
- Sun, B., Bai, Z., Bao, L., Xue, L., Zhang, S., Wei, Y., Zhang, Z., Zhuang, G., & Zhuang, X. (2020). *Bacillus subtilis* biofertilizer mitigating agricultural ammonia emission and shifting soil nitrogen cycling microbiomes. *Environment International*, 144(July), 105989. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105989>
- Taghavi, N., Singhal, N., Zhuang, W. Q., & Baroutian, S. (2021). Degradation of plastic waste using stimulated and naturally occurring microbial strains. *Chemosphere*, 263, 127975. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127975>
- Thakur, N., Kaur, S., Tomar, P., Thakur, S., & Yadav, A. N. (2020). Microbial biopesticides: Current status and advancement for sustainable agriculture and environment. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820526-6.00016-6>
- Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of plastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9), 3722–3742. <https://doi.org/10.3390/ijms10093722>
- Verma, S., & Kuila, A. (2019). Bioremediation of heavy metals by microbial process. *Environmental Technology and Innovation*, 14, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100369>
- Wang, J., Zhao, X., Wu, A., Tang, Z., Niu, L., Wu, F., Wang, F., Zhao, T., & Fu, Z. (2021). Aggregation and stability of sulfate-modified polystyrene nanoplastics in synthetic and natural waters. *Environmental Pollution*, 268, 114240. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114240>
- Wicaksono, R., Pangaribuan, D. H., Edy, A., & Pujiswanto, H. (2019). PENGARUH PUPUK BIO-SLURRY PADAT DENGAN KOMBINASI DOSIS PUPUK NPK PADA PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI JAGUNG MANIS (*Zea mays saccharata* Sturt). *Jurnal Agrotek Tropika*, 7(1), 265. <https://doi.org/10.23960/jat.v7i1.2991>
- Yadav, A. N., Kumar, R., Kumar, S., Kumar, V., Sugitha, T. C. K., & Singh, B. (2017). Beneficial microbiomes: Biodiversity and potential biotechnological applications for sustainable agriculture and human health. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, November. <https://doi.org/10.7324/jabb.2017.50607>
- Yue, W., Yin, C. F., Sun, L., Zhang, J., Xu, Y., & Zhou, N. Y. (2021).

- Biodegradation of bisphenol-A polycarbonate plastic by Pseudoxanthomonas sp. strain NyZ600. *Journal of Hazardous Materials*, 416(January), 125775. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125775>
- Zeenat, Elahi, A., Bukhari, D. A., Shamim, S., & Rehman, A. (2021). Plastics degradation by microbes: A sustainable approach. *Journal of King Saud University - Science*, 33(6), 101538. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101538>
- Zhang, W., Li, Y. X., Niu, Y., Zhang, F., Li, Y. B., & Zeng, R. J. (2021). Two-stage enrichment of hydrogen-oxidizing bacteria as biofertilizers. *Chemosphere*, 266(xxxx), 128932. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128932>
- Zizka, L., McGunagle, D. M., & Clark, P. J. (2021). Sustainability in science, technology, engineering and mathematics (STEM) programs: Authentic engagement through a community-based approach. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123715>

Dr. Marheny Lukitasari, S.P., M.Pd



Marheny Lukitasari Lahir di Madiun, 14 Mei 1974. Menyelesaikan program S1 di Universitas Brawijaya Malang lulus tahun 1999, selanjutnya Program S2 dan S3 Pendidikan Biologi ditempuh di Universitas Negeri Malang lulus tahun 2011 dan tahun 2014. Penulis aktif sebagai dosen di Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Madiun sejak tahun 2000-saat ini. Kepakaran dalam bidang pengajaran adalah pembelajaran Biologi, Biologi Sel, Tumbuhan Rendah, *Higher Order*

Thinking Skills (HOTs) dan *Lesson Study for Learning Community* (LSLC).

Penelitian dan publikasi yang dilakukan menekankan pada tema pengembangan model pembelajaran, metakognisi, dan penggunaan teknologi serta *e-learning* dalam pembelajaran. Penelitian yang pernah diterima dari Ristekdikti antara lain; penelitian hibah bersaing tahun 2016-2017; penelitian terapan unggulan perguruan tinggi (PTUPT) tahun 2021-2022; penelitian terapan unggulan perguruan tinggi (PTUPT) tahun 2021-2023. Tahun 2017 penulis terpilih mengikuti program *short term training on lesson study* (STOLS) dari Belmawa Dikti ke Jepang selama satu bulan. Selain aktif di bidang penelitian, penulis juga aktif dalam bidang pengabdian masyarakat khususnya peningkatan serta pengembangan profesionalitas guru melalui workshop Penelitian Tindakan Kelas (PTK), publikasi ilmiah (PI), serta penyusunan perangkat pembelajaran berbasis HOTs dan LSLC. Penulis juga aktif dalam membimbing kegiatan kemahasiswaan seperti Program Kreativitas Mahasiswa serta Lomba karya tulis ilmiah. Buku yang pernah ditulis antara lain; Biologi Sel (2015); Budidaya Bawang Merah Pada Lahan Sempit (2017); Evaluasi Pembelajaran Mempergunakan Elektronik Portofolio sebagai Sarana Mengembangkan Kemampuan Metakognisi (2017); Mengenal Tumbuhan Lumut (*Bryophyta*), Deskripsi, Klasifikasi, Potensi dan Cara Mempelajarinya (2018); *Book Chapter*. Best Practise: Revitalisasi LPTK Melalui Penugasan Dosen di Sekolah (2019); Bunga rampai Paradigma Baru Sains, Matematika dan Pembelajarannya di Masa Pandemi Covid 19 (2020); dan Model Pembelajaran Berdasarkan Masalah Melalui Digital Argumentation (PBM-DA) (2021).

Dr. Waris, M.Kes.

Lahir di Cilacap pada 20 September 1966. Dosen program studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Argopuro Jember sejak tahun 1992 sampai sekarang. Pendidikan Sarjana Pendidikan Biologi dari UPI Bandung tahun



1991. Program Magister dari Program Studi BIOMEDIK UNAIR Surabaya tahun 2002. Program Doktoral dari Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang tahun 2016.

Penulis mengampu mata kuliah Genetika, Perencanaan Pembelajaran Biologi, Evaluasi Hasil Pembelajaran Biologi, Evaluasi Hasil dan Pelaksanaan Pembelajaran (S2), Pengembangan Produksi Media Pembelajaran, Strategi Belajar dan Pembelajaran, dan Microteaching. Asesor BKD LLDIKTI, dan Ketua Tim Penilai Jabatan Fungsional Akademik Dosen di Universitas PGRI Argopuro Jember.

Penelitian dan pengabdian kepada masyarakat yang telah dilakukan adalah di bidang biologi dan pendidikan biologi. Hasil penelitian dan pengabdian kepada masyarakat telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah dan seminar baik nasional maupun internasional.

Dr. drh. Cicilia Novi Primiani, M.Pd



Cicilia Novi Primiani lahir di Yogyakarta pada 27 November 1969. Dosen program studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas PGRI Madiun sejak tahun 1996 sampai sekarang. Pendidikan Sarjana Kedokteran Hewan dari Universitas Gadjah Mada tahun 1992. Program Profesi Dokter Hewan tahun 1994. Program Magister dari Program Studi Teknologi Pembelajaran Universitas Adibwana Surabaya tahun 2005 dan Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang tahun 2011. Program Doktor diselesaikan pada tahun 2014 di

Pendidikan Biologi dari Universitas Negeri Malang.

Penulis mengampu matakuliah Anatomi dan Histologi Hewan, Embriologi Hewan, Fisiologi Hewan. Penelitian yang ditekuni adalah pengembangan potensi kearifan lokal khususnya herbal medicine. Hasil-hasil penelitian telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah internasional dan nasional, seminar serta buku ajar. Penelitian yang telah dilakukan antara lain adalah “Potensi *Pachyrhizus erosus* (bengkuang) dan *Cajanus cajan* (kacang gude), *Moringa oleifera* (kelor) sebagai fitoestrogen alami”. “Pengembangan tumbuhan *Elaeocarpus* sebagai imunomodulator” juga telah dilakukan dengan berbagai luaran yang ada antara lain hak cipta. Hasil-hasil penelitian telah diimplementasikan dalam kegiatan pengabdian masyarakat. Pendampingan kepada masyarakat yang telah dilakukan dalam pengembangan jamu.

Penulis sebagai Asesor BKD LLDIKTI VII Jawa Timur serta aktif sebagai reviewer pada berbagai jurnal, *Aquaculture*, *Aquarium*, *Conservation & Legislation-International Journal of the Bioflux Society Rumania*, *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology Journal (PCBMB) Tamil Nadu State India*, *Annual Research and Review in Biology India*, *Jurnal Metamorfosa Universitas Udayana*, *Jurnal Jambura Universitas Negeri Gorontalo*, *JMANS UIN Palembang*, *Jurnal Ilmu Alamiah Dasar Universitas Jember*, *JPBI Universitas Muhammadiyah Malang*, *Jurnal Edubiotik IKIP Budi Utomo*, *Jurnal Bioeksperimen Universitas Muhammadiyah Surakarta*, *Jurnal Florea Universitas PGRI Madiun*, *Jurnal Biota Universitas Ahmad Dahlan*, *Journal of Community Service and Empowerment Universitas Muhammadiyah Malang*, *Metamorphosa Universitas Udayana*.

Mohammad Arfi Setiawan, S.Si., M.Pd



Mohammad Arfi Setiawan lahir di Trenggalek, Jawa Timur pada tanggal 23 April 1991. Putra pertama dari dua bersaudara, pasangan Bapak Bustari dan Ibu Karsini. Menempuh pendidikan SMA yang diselesaikan di SMAN 1 Trenggalek, lulus pada tahun 2009. Gelar S.Si diperoleh pada tahun 2013 di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Negeri Malang mengambil jurusan Kimia, Program Studi S1 Kimia. Sedangkan gelar M.Pd diperoleh pada tahun 2016 di Universitas Negeri Malang, program studi Pendidikan Kimia. Kimia organik bahan alam merupakan bidang keahlian dan konsentrasi. Publikasi yang telah dilakukan pada 2 tahun terakhir membahas tentang antibakteri biji jeruk pada jurnal nasional terakreditasi Sinta 2.

Wachidatul Linda Yuhanna, S.Pd., M.Si



Wachidatul Linda Yuhanna lahir di Ngawi, 15 Januari 1990. Program S1 ditempuh di Program Studi Pendidikan Biologi IKIP PGRI Madiun lulus tahun 2011. Program S2 ditempuh pada Program Studi Biosain Universitas Sebelas Maret lulus tahun 2014. Saat ini sedang menempuh Program Doktorat di Universitas Negeri Malang. Saat ini penulis aktif di Program Studi Pendidikan Biologi dan Biro Kemahasiswaan Universitas PGRI Madiun.

Kepakaran dalam bidang pengajaran adalah pembelajaran zoologi vertebrata, profesi pendidikan, pengembangan media pembelajaran dan bahan ajar biologi. Penelitian dan publikasi selama 3 tahun terakhir terkait dengan tema *Green living*, pengembangan metode *Small Research Project*, pengembangan media pembelajaran, etnosains dan pengembangan *e-learning*. Tahun 2019, penulis juga mendapatkan hibah Pembelajaran Berpusat pada Mahasiswa Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi (PBMTIK) dari Kemristekdikti. Penulis telah mendapatkan 14 hak cipta dan menulis 10 buku. Publikasi ilmiah juga banyak dilakukan di jurnal internasional dan nasional terkait tema biologi dan pendidikan.

Selain aktif di bidang penelitian, penulis juga aktif dalam bidang pengabdian masyarakat. Hibah abdimas selama 3 tahun terakhir diantara 1) lbM Dusun Suweru Desa Kare dalam pengolahan kopi lokal. 2) Program Pengembangan Kewirausahaan Di Universitas PGRI Madiun Berbasis ICE (*Innovative and Competitive Entrepreneurship*). 3) Peningkatan produktivitas kelompok koperasi wanita desa hutan "Putri Jati Emas" melalui pembuatan *vinyl handycraft dan houseware* berbasis ekonomi kreatif. Penulis juga aktif dalam membimbing kegiatan kemahasiswaan seperti Program Kreativitas Mahasiswa, Kompetisi Bisnis Mahasiswa Indonesia, Pertukaran Mahasiswa Tanah Air Nusantara, Program Hibah Bina Desa, ONMIPA, pemilihan mahasiswa berprestasi, LKTI debat dan berbagai kegiatan mahasiswa lainnya.

Trio Ageng Prayitno, S.Pd., M.Pd



Trio Ageng Prayitno lahir di Banyuwangi pada tahun 1990. Menyelesaikan studi Program Sarjana Pendidikan Biologi di Universitas Jember pada tahun 2012 dan Program Magister Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Malang pada tahun 2014. Penulis seorang dosen Pendidikan Biologi IKIP Budi Utomo yang aktif meneliti pada bidang pengembangan bahan ajar tingkat Sarjana. Penulis telah menghasilkan multimedia interaktif bermuatan materi mikrobiologi berbasis Edmodo android, mikrobiologi multimedia berbasis STEM (M-STEM), dan baru-baru ini ide reka ciptanya mendapatkan hibah *matching fund* dari Kemendikbudristek bersama mitra CV. Maliki Edulogi Nusantara untuk mengembangkan materi biologi umum berbasis web dan android. Penulis aktif menulis buku dan artikel ilmiah yang dipublikasikan pada seminar nasional, seminar internasional, jurnal nasional terakreditasi, dan jurnal internasional bereputasi. Penulis adalah *Editor in Chief* jurnal terakreditasi Sinta 3 dan reviewer dari jurnal terakreditasi Sinta 1 dan Sinta 2. Selain itu, ia merupakan sekretaris organisasi profesi Himpunan Pendidik dan Peneliti Biologi Indonesia (HPPBI) Wilayah Provinsi Jawa Timur.

Nuril Hidayati, S.Pd., M.Pd



Nuril Hidayati lahir di Sidoarjo pada tahun 1990. Menyelesaikan studi Program Sarjana Pendidikan Biologi pada tahun 2011 dan Program Magister Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Malang pada tahun 2014. Penulis adalah dosen Pendidikan Biologi IKIP Budi Utomo yang aktif meneliti pada bidang pengembangan bahan ajar tingkat Sarjana. Penulis telah menghasilkan multimedia berbasis STEM untuk mata kuliah anatomi fisiologi manusia dan multimedia berbasis SETS-PBL pada mata kuliah anatomi fisiologi manusia. Penulis aktif menulis buku dan artikel ilmiah yang dipublikasikan pada seminar nasional, seminar internasional, dan jurnal terakreditasi. Penulis adalah editor pada jurnal terakreditasi Sinta 3 dan reviewer jurnal nasional. Penulis baru-baru ini ide reka ciptanya mendapatkan hibah *matching fund* dari Kemendikbudristek bersama mitra CV. Maliki Edulogi Nusantara untuk mengembangkan materi biologi umum berbasis web dan android.

Hardani, S.Pd., M.Si



Hardani lahir di Mataram pada 07 Desember 1988. Dosen Program Studi D3 Farmasi Politeknik Medica Farma Husada Mataram sejak tahun 2016 sampai sekarang. Pendidikan Sarjana Fisika dari Universitas Hamzanwadi tahun 2012. Program Magister dari Program Studi Ilmu Fisika Universitas Sebelas Maret tahun 2015. Penulis mengampu mata kuliah Farmasi Fisika, Metodologi Penelitian dan Fisika Dasar.

Reviewer pada jurnal internasional bereputasi pada Renewable Sustainable Energy Reviews (Q1) sampai sekarang dan Science of the Total Environment (Q1) sampai sekarang. Assistant Editor pada Journal of Pharmaceutical and Traditional Medicine (PTM) Program Studi Farmasi Politeknik Medica Farma Husada Mataram sampai sekarang. Reviewer di berbagai jurnal terakreditasi antara lain jurnal Elkawnie SINTA 2, Jurnal Fisika Flux SINTA 3, Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia SINTA 2, Indonesian Journal for Health Science SINTA 4, JPKIK SINTA 6.

Dosen di Politeknik Medica Farma Husada. Karya yang telah dihasilkan berupa buku Mekanika untuk SMA/MA, Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Teori dan Aplikasinya, Metodologi Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif dan buku ajar Farmasi Fisika. Memiliki 2 Hak Cipta karya ilmiah (HKI). SINTA ID: 185209, SCOPUS ID: 57202384137. Link Google Scholar bisa di akses pada link

berikut

ini:

<https://scholar.google.co.id/citations?user=TKtR3a8AAAAJ&hl=id>

Motto : “Jika Engkau Bukan anak Raja,,,,,Bukan pula anak Ulama,,,maka Menulislah!”

Pujiati, S.Si., M.Si



Pujiati lahir di Magetan, Jawa Timur pada tanggal 15 Juni 1986. Gelar sarjana dan Magister di peroleh dari Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Sejak tahun 2013 penulis bekerja sebagai dosen dan peneliti di Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Madiun.

Bidang kepakaran penulis adalah mikrobiologi. Bidang mikrobiologi yang ditekuni adalah mikrobiologi pertanian, energi, lingkungan dan

pangan. Penulis aktif dalam pelaksanaan tridharma perguruan tinggi. Beberapa hibah penelitian yang pernah diperoleh oleh penulis antara Penelitian Dosen Pemula, Hibah Bersaing, Hibah Fundamental dan Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi. Sedangkan hibah pengabdian masyarakat yang pernah diterima oleh penulis antara lain Iptek Bagi Masyarakat, Program Kemitraan Masyarakat, KKN-PPM, Program Diseminasi Teknologi ke Masyarakat (PTDM) dan Program Pengembangan Desa Mitra (PPDM). Pada tahun 2020-2021 penulis mendapatkan penghargaan sebagai dosen produktif bidang pengabdian masyarakat di lingkup Universitas PGRI Madiun.

Penulis juga aktif dalam asosiasi profesi nasional dan internasional seperti Persatuan Mikologi Indonesia (MIKOINA), Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia (PERMI), Himpunan Pendidik dan Peneliti Biologi Indonesia (HPPBI), American Society of Microbiology (ASM). Selain itu penulis juga terdaftar dalam International Register of Certificated Auditors ISO 14001: 2015 terkait system manajemen lingkungan.