

OKT 2025 / BIL. 14 / 2025

EON

Epitome of Nature

MENJULANG INOVASI, MEMPERKASA EKONOMI



MAJALAH PP BIOLOGI
UITM CNS

ISSN 2773-5869



9 772773 586005

BIOINOVASI BAJA DARIPADA SISA UNTUK PERTANIAN LESTARI

Siti Norazura Jamal ^{1,2*}

¹Pusat Pengajian Biologi, UiTM Cawangan Negeri Sembilan, Kampus Kuala Pilah, Pekan Parit Tinggi, 72000 Kuala Pilah, Negeri Sembilan

²Microbial Sustainable Technology (MISTEC), Special Interest Group, Universiti Teknologi MARA (UiTM), Cawangan Negeri Sembilan, Kampus Kuala Pilah, 72000 Kuala Pilah, Negeri Sembilan

norazura6775@uitm.edu.my

EDITOR: MUHAMMAD AIDIL IBRAHIM

Pengenalan

Gabungan inovasi dan pertanian menawarkan potensi besar dalam menangani dua cabaran global yang paling mendesak: kemerosotan alam sekitar dan ketidakstabilan ekonomi. Ketika dunia berdepan dengan impak perubahan iklim, ketidakjaminan bekalan makanan, dan kemerosotan kesuburan tanah, tumpuan semakin terarah kepada pembangunan input pertanian yang lebih lestari. Salah satu pendekatan yang semakin mendapat perhatian ialah penghasilan baja bio daripada sumber sisa organik. Artikel ini membincangkan secara menyeluruh sebuah projek inovatif yang menggunakan sisa cendawan terpakai dan sisa pertanian yang ditapai bersama bakteria tanah bermanfaat iaitu *Rhizobium*. Inovasi ini bukan sekadar menyumbang kepada penyelesaian pertanian mampan, malah membawa potensi ekonomi yang signifikan kepada komuniti luar

bandar, sejajar dengan agenda pembangunan lestari dan hala tuju negara.

Asas saintifik baja bio

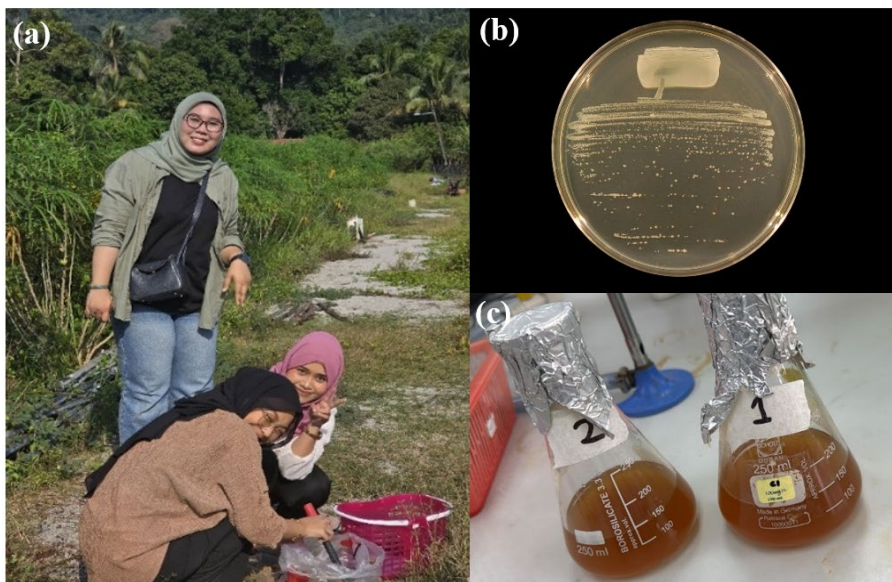
Baja bio merupakan input pertanian semula jadi yang mengandungi mikroorganisma hidup yang bertindak secara

aktif untuk meningkatkan ketersediaan nutrien kepada tumbuhan. Dalam projek ini, bakteria *Rhizobium* dipilih kerana keupayaannya menjalinkan hubungan simbiosis dengan tumbuhan kekacang, yang membolehkannya menukarkan nitrogen daripada atmosfera kepada bentuk yang mudah diserap oleh tumbuhan. Untuk memastikan keberkesanan dan kelestarian produk, bahan pembawa yang digunakan terdiri daripada sisa cendawan terpakai dan sisa pertanian, yang secara semula jadi kaya dengan lignoselulosa dan nutrien baki. Kombinasi bahan ini menyediakan medium yang sesuai untuk pertumbuhan dan aktiviti metabolik mikroorganisma.

Gambarajah 1 menggambarkan keseluruhan proses inovatif ini, bermula



Gambarajah 1: Kitaran bioinovasi daripada sisa kepada baja bio; bermula dengan pengumpulan sisa organik, fermentasi menggunakan mikrob *Rhizobium*, aplikasi di ladang, dan pemulihan tanah melalui kitaran semula bahan organik. (Sumber: Dihasilkan oleh AI)



Gambar 1: (a) Pengumpulan sampel tanah dari ladang untuk pengasingan bakteria *Rhizobium*, (b) Koloni *Rhizobium* yang berjaya diasingkan daripada sampel tanah, (c) Kultur *Rhizobium* dalam MNA bagi tujuan pencirian lanjut. (Sumber: Koleksi peribadi penulis)

daripada pengumpulan sisa organik, proses penapaian menggunakan *Rhizobium*, sehinggalah kepada aplikasi baja bio di ladang serta pemulihan kesuburan tanah melalui kitaran semula bahan organik. Melalui proses penapaian ini, *Rhizobium* memperkayakan substrat dengan keupayaan penetapan nitrogen, menjadikannya baja bio yang berfungsi tinggi. Selain itu, bahan pembawa organik yang digunakan turut membantu dalam mengekalkan kelembapan serta meningkatkan daya tahan mikrob sepanjang penyimpanan dan penggunaan di ladang.

Perkaitan dengan kajian bioteknologi mikroorganisma

Inovasi ini merupakan kesinambungan daripada penyelidikan dalam bidang

mikrob, khususnya berkaitan pengasingan, pencirian, dan aplikasi mikroorganisma tanah bagi menyokong pertanian lestari. Kajian ini menumpukan kepada peningkatan keberkesanan bioinokulan dalam substrat organik melalui pelbagai pendekatan saintifik seperti proses penapaian berskala makmal, pengoptimuman ketumpatan inokulum, pemilihan bahan pembawa yang sesuai, pelarasan nilai pH, serta penilaian keberkesanan mikrob melalui ujian kebolehhidupan dan aplikasi berskala ladang.

Gambar 2(a) menunjukkan proses pengumpulan sampel tanah di kawasan pertanian bagi tujuan pengasingan bakteria *Rhizobium*. Sampel tanah ini kemudiannya digunakaproses fermentasi bersama sisa cendawan terpakai.

Gambar 2(b) pula menunjukkan koloni *Rhizobium* yang telah berjaya diasingkan daripada sampel tanah tersebut, manakala Gambar 2(c) memperlihatkan kultur tulen *Rhizobium* yang ditumbuhkan dalam medium modified nutrient agar (MNA) bagi tujuan pencirian dan ujian keberkesanan.

Aktiviti penyelidikan dan aplikasi ini dijalankan di Kebun Sayur Ereen Azlina Plantation Sdn. Bhd., yang terletak di Kampung Buyau, Seri Menanti, Negeri Sembilan. Hasil aplikasi baja bio ini pada tanaman kekacang dan sayur-sayuran berdaun di kawasan tanah terdegradasi menunjukkan peningkatan signifikan dalam kadar percambahan biji benih, pertumbuhan sistem akar dan batang, serta pemulihan kepelbagaian mikrob dalam tanah.

Transformasi sisa kepada nilai ekonomi

Salah satu elemen teras dalam projek ini ialah transformasi sisa organik yang sebelum ini dianggap sebagai bahan buangan kepada produk pertanian bernilai tinggi. Sisa cendawan terpakai dan sisa pertanian, yang kebiasaannya dibuang atau dibakar, telah diolah melalui proses bioteknologi menjadi baja bio yang bukan sahaja meningkatkan kesuburan tanah, malah mampu menjana nilai ekonomi yang signifikan kepada komuniti luar bandar. Transformasi ini bukan sahaja menyumbang kepada kelestarian alam sekitar, tetapi turut memperkukuh daya saing sektor pertanian melalui

pengurangan kebergantungan kepada input sintetik. Pendekatan ini mencerminkan aplikasi praktikal model ekonomi pusingan, di mana sisa dijadikan sumber baharu yang terus menyokong sistem pertanian secara berterusan. Konsep ini bermula daripada penghasilan sisa pertanian, pemprosesan kepada baja bio, penggunaannya dalam tanaman, dan akhirnya sisa hasil pertanian tersebut dikitar semula sebagai input baharu. Pendekatan ini bukan sahaja menutup kitaran nutrien, malah membina sistem pertanian yang lebih tangkas, mampan dan berdaya tahan terhadap tekanan alam sekitar.

Impak ekonomi dan potensi pasaran

Permintaan global terhadap baja bio menunjukkan tren peningkatan selaras dengan kesedaran masyarakat terhadap amalan pertanian organik dan kelestarian alam

sekitar. Pada tahun 2022, pasaran baja bio telah mencapai nilai USD 2.3 bilion dan dijangka melepasi USD 4 bilion menjelang tahun 2028. Di Malaysia, potensi pertumbuhan pasaran ini turut tinggi, khususnya dalam kalangan pengusaha pertanian berskala kecil dan sederhana. Projek inovasi ini bukan sahaja berupaya menjana sumber pendapatan baharu, malah membuka peluang keusahawanan komuniti luar bandar melalui penubuhan unit pengeluaran kecil yang berasaskan sumber tempatan. Gambarajah 3 menunjukkan graf peningkatan permintaan global, disertai infografik sasaran pengguna seperti petani kecil, pekebun bandar, dan ladang organik.

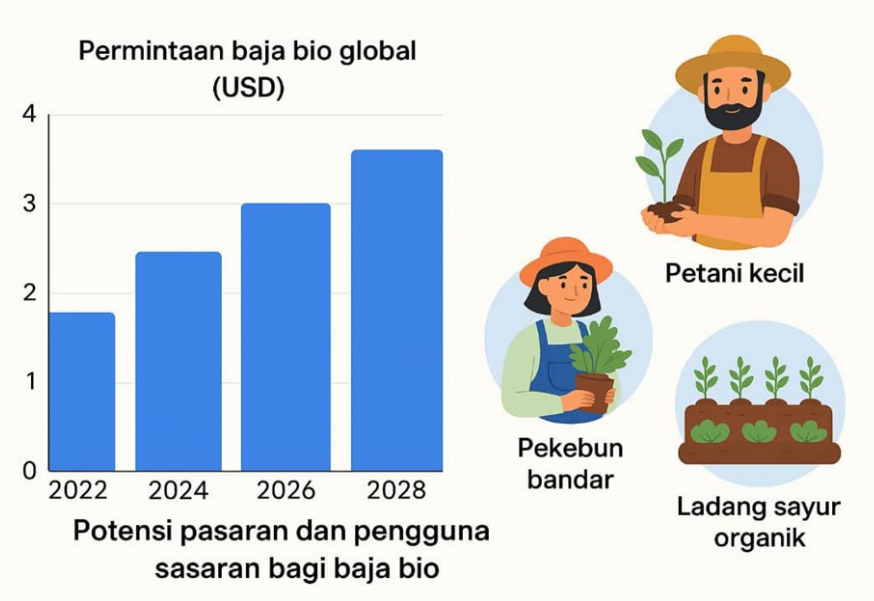
Manfaat alam sekitar

Salah satu kelebihan utama inovasi baja bio ini ialah sumbangannya kepada kelestarian alam sekitar.

la . menggantikan baja kimia sintetik yang menyumbang kepada pencemaran melalui pelepasan gas rumah hijau seperti nitrus oksida (N₂O), sekali gus membantu menurunkan jejak karbon sistem pertanian. Tanah yang dirawat dengan baja bio menunjukkan peningkatan kandungan bahan organik, kelembapan, dan agregasi zarah tanah, selain menyediakan tenaga kepada mikroorganisma. Terdapat juga peningkatan nitrogen tersedia hasil aktiviti *Rhizobium* yang menyokong pertumbuhan tanaman. Aktiviti mikroorganisma tanah turut bertambah, memperkayakan biodiversiti mikrob, mengukuhkan kitaran nutrien, serta melindungi tanaman daripada patogen. Semua manfaat ini memulihkan dan memelihara tanah, menjadikan pertanian lebih mampan, berdaya tahan dan mesra alam.

Cabaran dan Langkah Penyelesaian

Sepanjang pelaksanaan projek inovasi baja bio ini, dua cabaran utama dikenal pasti. Pertama ialah jangka hayat simpanan baja bio yang terhad kerana mikroorganisma hidup seperti *Rhizobium* sensitif terhadap suhu dan kelembapan. Bagi mengatasinya, formulasi lebih stabil akan dibangunkan menggunakan bahan pembawa sesuai, seperti sisa cendawan dan pertanian yang diproses untuk mengekalkan viabiliti mikrob. Cabaran kedua ialah tahap kesedaran petani yang rendah, kerana masih



Gambarajah 3: Potensi pasaran dan pengguna sasaran bagi baja bio. (Sumber: Dihasilkan oleh AI)

bergantung pada baja kimia yang memberi hasil pantas. Untuk meningkatkan penerimaan, latihan, demonstrasi, bengkel, dan bahan promosi mudah difahami akan dilaksanakan agar teknologi ini diterima meluas dan menyokong pertanian lestari.

Penyelarasan Dasar dan Pembangunan Mampan

Projek inovasi baja bio ini menyokong secara langsung Dasar Agromakanan Negara 2.0 (DAN 2.0) yang memberi tumpuan kepada pemodenan sektor pertanian melalui pendekatan lestari, peningkatan produktiviti, dan pemeraksanaan petani. Usaha mengitar semula sisa pertanian dan cendawan kepada baja bernilai tinggi selari dengan objektif dasar untuk mengurangkan kebergantungan kepada input kimia import serta mempelbagaikan sumber nutrien tanaman melalui pendekatan bioteknologi tempatan. Selain itu, projek ini turut menyumbang kepada pencapaian Matlamat Pembangunan Lestari (Sustainable Development Goals, SDG) yang ditetapkan oleh Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu. Antaranya:

- SDG 1 (Pembasmian Kemiskinan) melalui peningkatan pendapatan petani kecil hasil penggunaan input kos rendah dan peluang keusahawanan.
- SDG 2 (Kelaparan Sifar) melalui peningkatan hasil dan kesuburan tanah secara

mampan.

- SDG 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi) dengan mewujudkan industri komuniti berasaskan teknologi tempatan.
- SDG 12 (Penggunaan dan Pengeluaran Bertanggungjawab) melalui pengurusan sisa dan pengeluaran pertanian hijau.
- SDG 13 (Tindakan Terhadap Perubahan Iklim) melalui pengurangan penggunaan baja sintetik dan pelepasan gas rumah hijau.

Dengan memetakan impak projek kepada agenda global ini, jelas bahawa inovasi ini bukan sahaja menyumbang kepada pembangunan tempatan tetapi juga menyokong komitmen Malaysia terhadap kelestarian global.

Pemeriksaan Komuniti Luar Bandar

Melalui pendekatan berasaskan komuniti, projek inovasi baja bio ini turut menyumbang kepada pemeraksanaan sosioekonomi penduduk luar bandar. Pelaksanaan projek bukan sahaja tertumpu kepada pembangunan teknologi, tetapi turut memberi fokus kepada pemindahan pengetahuan dan kemahiran secara langsung kepada golongan sasar. Beberapa siri bengkel praktikal akan dianjurkan melibatkan petani tempatan, pengusaha kecil, dan komuniti pertanian, dengan tujuan memberi pendedahan terhadap kaedah penghasilan dan penggunaan baja bio yang efektif. Dalam

masa yang sama, pelajar institusi pengajian tinggi diberi peluang untuk terlibat dalam aktiviti demonstrasi ladang, penyelidikan lapangan, dan penghasilan produk secara langsung. Penglibatan ini bukan sahaja memperkukuh proses pemindahan teknologi dari makmal ke ladang, tetapi juga menyemai semangat inovasi sosial dalam kalangan generasi muda sebagai pelapis dalam agenda pembangunan mampan negara. Pendekatan ini membuktikan bahawa kerjasama antara komuniti dan institusi pendidikan mampu menjana transformasi yang menyeluruh dan berimpak tinggi.

Arah tuju masa hadapan

Sebagai perancangan jangka panjang, projek ini dirancang untuk diperluas secara sistematik agar manfaatnya lebih meluas. Langkah strategik termasuk penubuhan pusat pengeluaran baja bio berskala kecil di luar bandar berpotensi sebagai hab pertanian. Usaha ini meningkatkan kapasiti pengeluaran, mewujudkan pekerjaan dan menjana ekonomi setempat. Kerjasama penyelidikan rentas agensi diperkukuh bagi menambah baik formulasi, aplikasi, serta menjamin kualiti. Pembangunan aplikasi digital diteroka untuk pemantauan, pendaftaran petani dan penyampaian maklumat. Usaha advokasi dasar diteruskan agar inovasi ini mendapat sokongan kerajaan dalam strategi agroekologi negara.

Kesimpulan

Secara keseluruhannya, inovasi baja bio berasaskan sisa cendawan terpakai dan sisa pertanian membuktikan penyelidikan saintifik berteraskan komuniti mampu memberi impak ekonomi, sosial dan alam sekitar. Ia berperanan sebagai alternatif lestari kepada baja kimia, menyuburkan tanah

terdegradasi, meningkatkan hasil pertanian, dan merangsang ekonomi hijau inklusif. Melalui penglibatan komuniti luar bandar dan pelajar, inovasi ini menyemai pemeraksanaan serta kepemimpinan tempatan, membuka lembaran baharu pertanian lestari sebagai pemangkin pembangunan negara seimbang dan berdaya tahan.

Rujukan

