

## **Penilaian rizobakteria untuk kawalan biologi yang efektif dan peningkatan pertumbuhan tanaman**

(Evaluation of rhizobacteria for effective biological control and plant growth enhancement)

Farah Farhanah Haron

### **Pengenalan**

Rizobakteria adalah kumpulan bakteria tanah yang bermanfaat dan hidup di sekitar akar tumbuhan yang memainkan peranan penting dalam meningkatkan kesihatan dan pertumbuhan tanaman. Mikroorganisma ini semakin mendapat perhatian dalam pertanian lestari kerana potensinya untuk merencat penyakit tumbuhan dan meningkatkan kekuatan tanaman melalui pelbagai mekanisme. Penggunaan rizobakteria sebagai agen kawalan biologi menawarkan alternatif mesra alam kepada racun perosak kimia, sekali gus menyumbang kepada pengurangan penggunaan bahan kimia dalam pertanian dan menyokong kesihatan ekosistem.

Keupayaan rizobakteria untuk mengawal patogen tumbuhan dimediasi melalui beberapa strategi, termasuk penghasilan sebatian antimikrob, persaingan untuk nutrien dan ruang, induksi ketahanan sistemik dalam tumbuhan dan parasitisme langsung terhadap patogen. Selain itu, rizobakteria juga boleh merangsang pertumbuhan tanaman dengan menghasilkan fitohormon, meningkatkan pengambilan nutrien dan memperbaiki struktur akar. Manfaat berganda ini menjadikan rizobakteria sebagai alat yang berpotensi tinggi untuk pengurusan perosak bersepadu dan peningkatan produktiviti tanaman.

Cameron Highlands, Malaysia merupakan lokasi yang unik dan strategik untuk kajian kepelbagaian rizobakteria. Terletak pada altitud tinggi dengan iklim sejuk dan lembap sepanjang tahun, kawasan ini terkenal sebagai pusat utama pertanian hortikultur di Malaysia, terutama untuk tanaman seperti teh, sayur-sayuran dan bunga. Keadaan tanah dan iklim yang spesifik di Cameron Highlands mencipta ekosistem mikro berbeza yang boleh mempengaruhi kepelbagaian dan aktiviti mikrob tanah, termasuk rizobakteria. Tanah yang kaya dengan bahan organik dan amalan pertanian intensif di kawasan ini menawarkan peluang yang baik untuk meneroka kepelbagaian rizobakteria yang mungkin tidak terdapat di kawasan lain.

Selain itu, peningkatan penggunaan input pertanian seperti baja dan racun kimia di Cameron Highlands untuk meningkatkan hasil tanaman telah menimbulkan kebimbangan mengenai impak jangka panjang terhadap kesihatan tanah dan alam sekitar. Ini menjadikan kawasan ini sebagai tapak kajian yang sesuai untuk mencari alternatif berasaskan biologi seperti rizobakteria yang dapat membantu mengurangkan kebergantungan kepada bahan kimia sintetik. Hasil pengenalpastian dan pencirian rizobakteria

yang berpotensi sebagai penggalak pertumbuhan tanaman dan fungsinya sebagai agen kawalan biologi, kajian ini dapat menyumbang kepada amalan pertanian yang lebih mampan dan mesra alam. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk meneroka kepelbagaian rizobakteria di Cameron Highlands, menjalankan perincian bakteria sebagai penggalak pertumbuhan tanaman dan menilai aktiviti sebagai agen kawalan biologi. Adalah diharapkan pemahaman yang lebih mendalam tentang rizobakteria tempatan ini, kajian ini diharap dapat memberikan maklumat berguna untuk aplikasi pertanian mampan yang lebih berkesan di Malaysia.

### **Pemencilan rizobakteria daripada sampel tanah**

Pemencilan rizobakteria daripada tanah merupakan langkah awal yang penting dalam mengkaji kepelbagaian dan peranan fungsionalnya. Proses ini melibatkan beberapa peringkat, bermula daripada pengumpulan sampel tanah sehingga mendapatkan isolat bakteria yang tulen.

#### **(i) Pengumpulan dan penyediaan sampel tanah**

Sampel tanah dikumpulkan di kawasan penanaman kubis di sekitar Cameron Highlands. Sampel tanah biasanya dikumpulkan dari zon rizosfera iaitu kawasan tanah yang secara langsung dipengaruhi oleh rembesan akar dan mikroorganisma yang berkaitan. Zon ini biasanya lebih padat dengan bakteria bermanfaat berbanding dengan tanah biasa.

#### **(ii) Pencairan bersiri dan pengkulturan**

Tanah rizosfera yang dikumpulkan dicampur dengan larutan garam steril atau air suling steril untuk menghasilkan suspensi tanah yang kemudiannya dicairkan secara bersiri, biasanya daripada  $10^{-1}$  –  $10^{-6}$ , untuk mengurangkan kepekatan bakteria bagi memudahkan pemencilan. Suspensi daripada setiap pencairan dipindahkan ke medium pemilihan iaitu *Nutrient Agar* (NA) dan *Luria-Bertani Medium* (LB) untuk mengasingkan pelbagai spesies bakteria. Plat diinkubasi pada suhu bilik (biasanya 28 – 30 °C) selama 24 – 48 jam.

#### **(iii) Penulenan kultur isolat rizobakteria**

Koloni yang mempunyai ciri morfologi berbeza dipilih dan dipindahkan ke plat agar baru untuk mendapatkan kultur tulen. Isolat-isolat ini disubkultur sehingga koloni tunggal yang tulen diperoleh.

## **Pencirian rizobakteria berdasarkan pengecaman Gram dan morfologi**

### ***Kaedah pengecaman Gram***

Pewarnaan Gram merupakan teknik pewarnaan pembezaan yang penting untuk mengklasifikasikan bakteria kepada dua kumpulan utama iaitu Gram-positif dan Gram-negatif, berdasarkan perbezaan struktur dinding sel. Proses ini bermula dengan penyediaan calitan bakteria pada slaid kaca, diikuti dengan penetapan haba untuk memastikan bakteria melekat pada permukaan slaid. Calitan tersebut kemudian diwarnakan dengan kristal violet, diikuti dengan penambahan larutan iodin yang berfungsi untuk membentuk kompleks kristal violet-iodin. Slaid seterusnya dinyahwarna menggunakan alkohol atau aseton; bakteria Gram-positif mengekalkan warna kristal violet disebabkan oleh lapisan peptidoglikan yang lebih tebal, menjadikannya kelihatan ungu di bawah mikroskop. Sebaliknya, bakteria Gram-negatif kehilangan warna tersebut dan diwarnakan semula dengan safranin, menyebabkan ia kelihatan merah jambu atau merah. Teknik ini amat penting untuk pengenalpastian awal dan pengelasan isolat bakteria dalam kajian mikrobiologi.

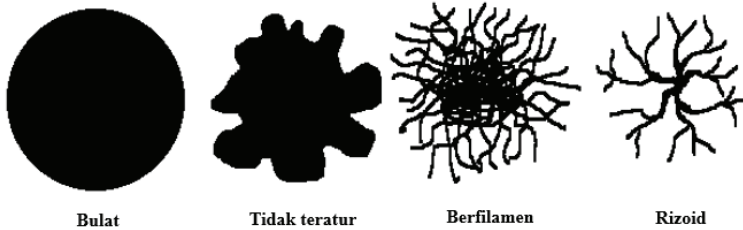
### ***Ciri morfologi***

Selepas pewarnaan Gram, isolat bakteria dapat dicirikan lebih lanjut berdasarkan morfologi fenotip mereka, termasuk bentuk, susunan dan ciri koloni. Dari segi morfologi, bakteria boleh diklasifikasikan sebagai kokus (bulat), rod atau spirila (berbentuk lingkaran) dengan susunan seperti sel tunggal, pasangan (diplo-), rantai (strepto-) atau kelompok (staphylo-) bergantung kepada organisasi sel mereka. Morfologi koloni dinilai pada medium pepejal dengan mengambil kira faktor seperti saiz (daripada titik kecil hingga besar), bentuk (bulat, tidak teratur, filamen), margin (lurus, bergelombang, berlobus) dan ketinggian (rata, terangkat, cembung, umbonat). Sifat optik seperti ketelusan (lut sinar, separa lut/lut cahaya, legap) dan tekstur permukaan (licin, kasar, berkerut) turut dinilai, bersama dengan pigmen yang boleh berbeza daripada putih dan krim kepada kuning, merah atau warna-warna lain. Ciri-ciri morfologi ini sangat berguna dalam membezakan spesies bakteria dan sering digunakan bersama-sama dengan ujian molekular dan biokimia untuk pengenalpastian yang lebih tepat (*Gambar rajah 1*).

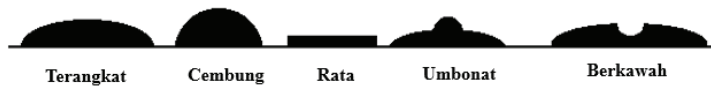
Berdasarkan pemencilan dan penulenan rizobakteria daripada sampel tanah yang dikumpulkan di kawasan penanaman kubis di sekitar Cameron Highlands, sebanyak 42 isolat bakteria berjaya diasingkan daripada lima sampel rizosfera. Pewarnaan Gram dan pemerhatian morfologi menggunakan mikroskop menunjukkan bahawa 22 isolat tersebut adalah Gram-positif dan terdiri daripada tiga bentuk iaitu rod dan kokus. Isolat-isolat tersebut kebanyakannya membentuk koloni yang bulat, licin, terangkat, berwarna putih hingga kuning, legap dan berkelompok. Ciri-ciri morfologi kesemua isolat bakteria yang dipencilkan

telah ditunjukkan secara terperinci (*Jadual 1, Gambar 1 dan Gambar 2*). Secara fenotip, 22 isolat ini menunjukkan ciri-ciri yang sama dengan spesies bakteria yang berasal daripada keluarga Bacillaceae. Keluarga ini merangkumi pelbagai bakteria berbentuk rod Gram-positif yang dikenali kerana keupayaan membentuk endospora, yang membolehkan mereka bertahan dalam keadaan persekitaran yang sukar. Spesies ini juga kebiasaannya ditemui di pelbagai habitat seperti tanah dan air.

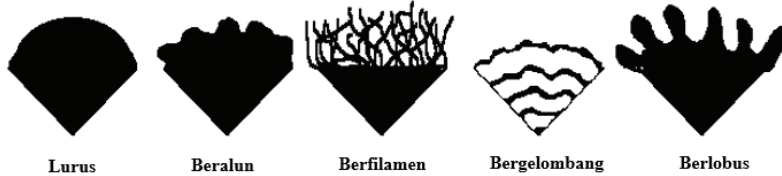
**Bentuk**



**Ketinggian**



**Margin**



*Gambar rajah 1. Ciri koloni bakteria di atas plat agar*

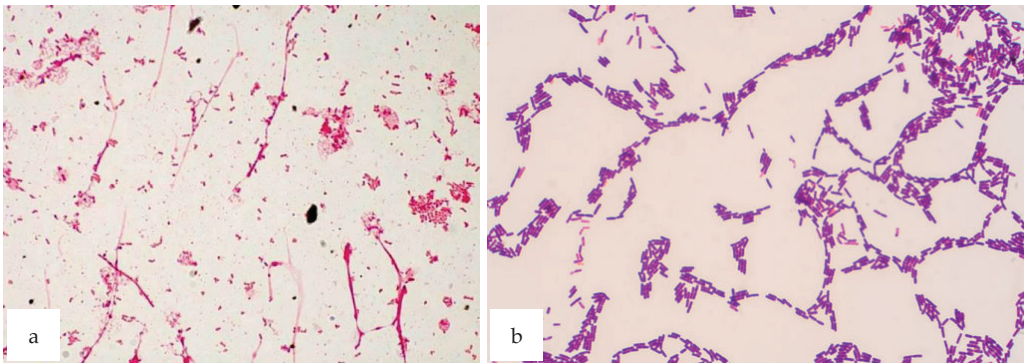
Jadual 1. Ciri morfologi dan pewarnaan Gram isolat rizobakteria yang dipencilkan

No. isolat	Gram	Bentuk	Optik	Struktur	Margin	Saiz	Ketinggian	Susunan	Warna
S1	Negatif	Kokus	Legap	Bulat	Lurus	Sederhana	Cembung	Tunggal	Merah
S2	Positif	Rod	Legap	Rizoid	Berfilamen	Besar	Rata	Tunggal	Putih pudar
S3	Negatif	Kokus	Legap	Bulat	Lurus	Kecil	Cembung	Tunggal	Putih
S4	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Tidak teratur	Bergelombang	Besar	Umbonat	Tunggal	Kuning cair
S5	Negatif	Kokus	Legap	Bulat	Lurus	Sederhana	Cembung	Tunggal	Kuning telur
S6	Positif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Lurus	Kecil	Cembung	Diplo	Kuning cair
S7	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Lurus	Kecil	Cembung	Staphylo	Putih kekuningan
S8	Positif	Kokus	Legap	Tidak teratur	Berfilamen	Besar	Terangkat	Strepto	Putih pudar
S9	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Lurus	Kecil	Umbonat	Diplo	Putih kekuningan
S10	Positif	Kokus	Legap	Tidak teratur	Bergelombang	Besar	Umbonat	Strepto	Jingga
S11	Negatif	Kokus	Legap	Bulat	Lurus	Kecil	Cembung	Staphylo	Putih pudar
S12	Positif	Kokus	Lut cahaya	Tidak teratur	Beralun	Sederhana	Terangkat	Diplo	Putih kekuningan
S13	Positif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Lurus	Besar	Terangkat	Strepto	Putih kekuningan
S14	Negatif	Kokus	Lut sinar	Tidak teratur	Berlobus	Besar	Terangkat	Strepto	Kuning cair
S15	Positif	Kokus	Legap	Tidak teratur	Berlobus	Besar	Terangkat	Strepto	Putih pudar
S16	Positif	Kokus	Lut cahaya	Tidak teratur	Beralun	Besar	Terangkat	Staphylo	Putih pudar
S17	Positif	Rod	Lut cahaya	Tidak teratur	Lurus	Sederhana	Terangkat	Diplo	Putih kekuningan
S18	Positif	Kokus	Legap	Tidak teratur	Lurus	Sederhana	Rata	Staphylo	Putih kekuningan
S19	Positif	Rod	Legap	Bulat	Berlobus	Besar	Terangkat	Staphylo	Kuning cair
S20	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Lurus	Kecil	Umbonat	Staphylo	Kuning
S21	Negatif	Kokus	Lut sinar	Tidak teratur	Berfilamen	Besar	Terangkat	Staphylo	Putih kekuningan

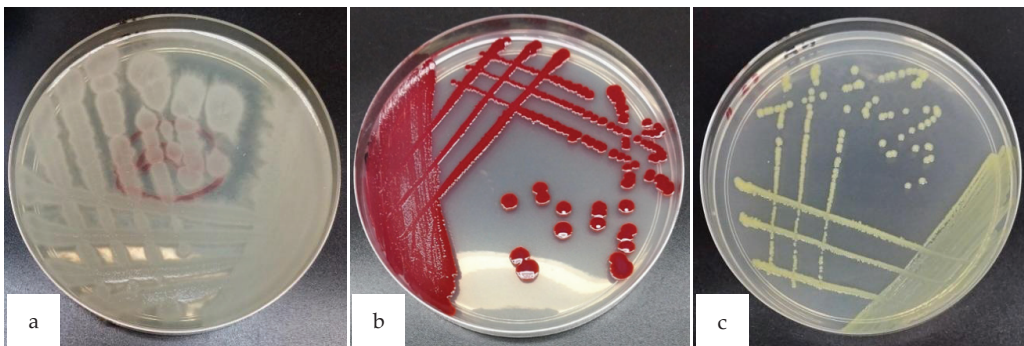
(samb.)

Jadual 1. (Samb.)

No. isolat	Gram	Bentuk	Optik	Struktur	Margin	Saiz	Ketinggian	Susuman	Warna
S22	Positif	Kokus	Legap	Tidak teratur	Bergelombang	Kecil	Cembung	Staphylo	Putih pudar
S23	Positif	Kokus	Lut cahaya	Tidak teratur	Berlobus	Sederhana	Terangkat	Staphylo	Kuning cair
S24	Positif	Kokus	Legap	Tidak teratur	Berlobus	Kecil	Rata	Strepto	Putih pudar
S25	Positif	Kokus	Legap	Bulat	Lurus	Kecil	Cembung	Staphylo	Putih kekuningan
S26	Positif	Kokus	Legap	Bulat	Beralun	Besar	Rata	Strepto	Putih kekuningan
S27	Negatif	Rod	Lut cahaya	Bulat	Bergelombang	Kecil	Terangkat	Strepto	Putih kekuningan
S28	Positif	Kokus	Legap	Tidak teratur	Berlobus	Besar	Rata	Strepto	Putih kekuningan
S29	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Lurus	Sederhana	Cembung	Staphylo	Kuning
S30	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Lurus	Kecil	Terangkat	Diplo	Kuning
S31	Negatif	Kokus	Lutsinar	Bulat	Lurus	Kecil	Cembung	Diplo	Putih kekuningan
S32	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Tidak teratur	Lurus	Kecil	Cembung	Staphylo	Kuning telur
S33	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Beralun	Sederhana	Cembung	Staphylo	Putih kekuningan
S34	Negatif	Kokus	Legap	Bulat	Bergelombang	Sederhana	Cembung	Staphylo	Putih kekuningan
S35	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Tidak teratur	Beralun	Sederhana	Cembung	Staphylo	Putih pudar
S36	Negatif	Kokus	Lut sinar	Bulat	Lurus	Sederhana	Terangkat	Diplo	Putih pudar
S37	Positif	Kokus	Legap	Tidak teratur	Beralun	Sederhana	Terangkat	Staphylo	Putih pudar
S38	Positif	Kokus	Lut cahaya	Tidak teratur	Lurus	Besar	Rata	Strepto	Putih pudar
S39	Negatif	Kokus	Lut cahaya	Bulat	Lurus	Sederhana	Cembung	Staphylo	Putih kekuningan
S40	Positif	Kokus	Legap	Bulat	Berfilamen	Kecil	Cembung	Staphylo	Putih pudar
S41	Positif	Kokus	Legap	Bulat	Lurus	Kecil	Cembung	Staphylo	Kuning telur
S42	Positif	Kokus	Lut cahaya	Tidak teratur	Berlobus	Sederhana	Terangkat	Staphylo	Kuning



Gambar 1. Pemerhatian mikroskop rizobakteria selepas pewarnaan Gram. (a) Isolat S1, Gram negatif (kokus) dan (b) Isolat S2, Gram positifif (rod)



Gambar 2. Koloni tunggal rizobakteria yang diisolat di atas medium NA menunjukkan saiz dan ciri yang berbeza. (a) Isolat S8, berbentuk tidak sekata, berfilamen, bersaiz besar dan berwarna putih legap, (b) Isolat S1, berbentuk bulat, lurus, bersaiz sederhana dan berwarna merah legap dan (c) Isolat S6, berbentuk bulat, lurus, bersaiz kecil dan berwarna kuning cair legap

### Saringan aktiviti antimikrob sebagai agen kawalan biologi

Aktiviti antibakteria rizobakteria terpilih yang dipencilkan telah dinilai terhadap *Xanthomonas* sp., patogen tanaman kubis, menggunakan kaedah resapan cakera (*disc diffusion assay*). Isolat rizobakteria dikultur dalam *Nutrient Broth* dan diinkubasi pada suhu bilik selama 24 jam, manakala *Xanthomonas* sp. dikultur pada plat NA pada suhu bilik selama 48 jam. Permukaan plat NA disapu secara seragam dengan suspensi *Xanthomonas* sp. Cakera kertas turas steril (berdiameter 6 mm) direndam dengan 20  $\mu$ L kultur rizobakteria (OD600 = 0.5) dan diletakkan pada plat NA yang diinokulasi dengan *Xanthomonas* sp. Cakera yang direndam dengan *Nutrient Broth* steril digunakan sebagai kawalan negatif. Plat diinkubasi pada suhu bilik selama 24 jam dan diameter zon perencatan di sekitar setiap cakera diperhatikan [Jadual 2, Gambar 3(a)].

Manakala bagi saringan aktiviti antikulat pula, teknik dwikultur (*dual culture assay*) telah dijalankan terhadap *Fusarium* sp., salah satu patogen utama penyakit tanaman. Medium *potato dextrose agar* (PDA) dituang ke dalam piring Petri berdiameter

9 cm. Jalur bakteria dicalit dan plag agar kulat (0.5 cm) telah dikultur di kiri dan kanan pada jarak 2 cm dari pertengahan piring Petri yang sama dengan empat replikasi pada suhu bilik. Kesemua piring Petri dalam ujian dwikultur ini diinkubasi dan pertumbuhan serta zon perencatan (zon jernih) di antara kulat dan bakteria diperhatikan berbanding dengan kawalan [Jadual 2, Gambar 3(b)].

### Penilaian aktiviti peningkatan pertumbuhan tanaman

Aktiviti peningkatan pertumbuhan tanaman bagi rizobakteria terpilih telah dijalankan. Keupayaan setiap isolat rizobakteria untuk mengikat nitrogen dinilai menggunakan medium bebas nitrogen Jensen. Kultur-kultur ini diinkubasi pada suhu bilik selama seminggu dan pertumbuhan bakteria diperhatikan setiap hari. Keupayaan isolat untuk melarutkan fosfat diuji menggunakan Agar Pikovskaya; setiap isolat dicoretkan pada agar tersebut dan diperhatikan. Kehadiran zon jernih di sekeliling koloni menunjukkan kejayaan melarutkan fosfat. Kaedah yang sama digunakan dengan menggunakan Agar Aleksandrow untuk menilai keupayaan melarutkan kalium. Isolat dicalit di atas medium dan diinkubasi pada suhu bilik. Zon jernih di sekeliling koloni yang muncul selepas 72 jam menandakan aktiviti positif (Jadual 2, Gambar 4).

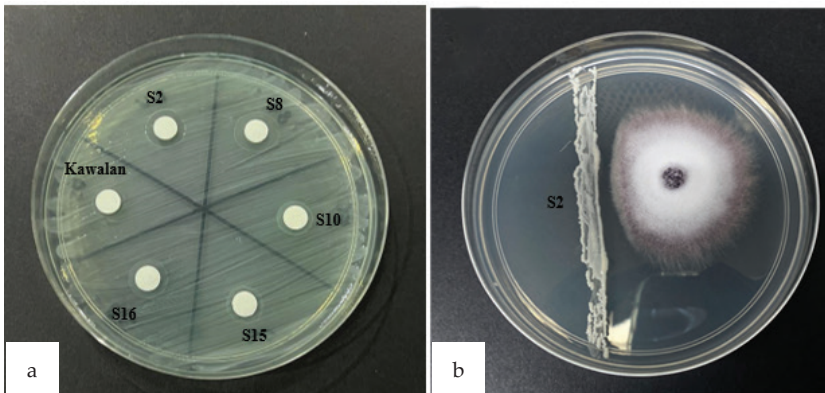
Jadual 2. Aktiviti peningkatan pertumbuhan dan antimikrob rizobakteria terpilih

No. isolat	Aktiviti penggalak pertumbuhan tanaman			Aktiviti Antimikrob	
	Pengikat nitrogen	Pelarut fosfat	Pelarut kalium	Antibakteria	Antikulat
S2	+	-	-	+	+
S3	+	+	-	+	+
S8	+	-	-	+	-
S9	+	+	+	+	+
S10	+	-	-	-	-
S14	+	+	-	-	+
S15	+	+	-	-	+
S16	+	+	+	-	+
S17	+	+	-	-	+
S22	-	+	-	+	+
S24	+	+	-	+	+
S28	-	+	-	+	+
S30	+	+	+	+	+
S33	+	+	-	+	+
S36	+	+	+	-	+

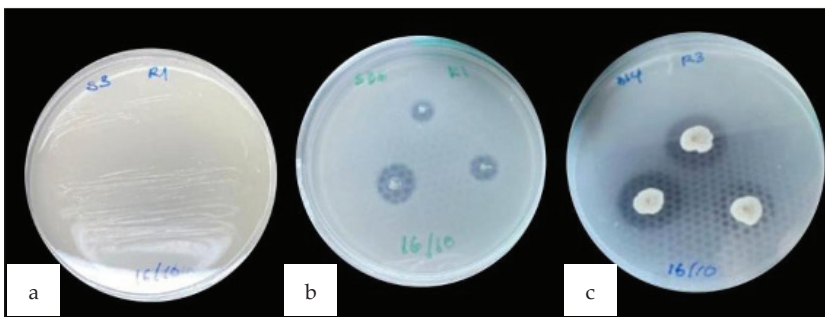
\*Nota: + : ada aktiviti

- : Tiada aktiviti





Gambar 3. Aktiviti antimikrob rizobakteria terpilih. (a) Aktiviti antibakteria isolat S2, S8, S10, S16 dan S16 menunjukkan hasil positif melalui zon jernih yang terbentuk selepas diinkubasi selama 24 jam terhadap *Xanthomonas* sp. pada plat resapan cakera dan (b) Aktiviti antikulat isolat S2 menunjukkan hasil positif melalui zon perencatan selepas diinkubasi selama 72 jam terhadap *Fusarium* sp. pada plat dwikultur



Gambar 4. Aktiviti penggalak pertumbuhan tanaman rizobakteria terpilih. (a) Koloni isolat S3 tumbuh pada agar Jensen bebas nitrogen, menunjukkan hasil positif untuk aktiviti pengikatan nitrogen, (b) Zon jernih di sekeliling koloni isolat S36 menunjukkan hasil positif untuk pelarutan fosfat dan (c) Zon jernih di sekeliling koloni isolat S14 menunjukkan hasil positif untuk pelarutan kalium selepas 72 jam inkubasi

Sebanyak 15 rizobakteria telah dipilih untuk menjalani saringan aktiviti peningkatan pertumbuhan tanaman dan aktiviti antimikrob bagi menilai keupayaannya sebagai bakteria penggalak pertumbuhan tanaman dan agen kawalan biologi yang efektif (Jadual 2). Kehadiran bagi kesemua aktiviti dapat dilihat pada isolat S9 dan S30. Rizobakteria ini berpotensi menjadi rizobakteria penggalak pertumbuhan tanaman (PGPR) dan agen kawalan biologi yang efektif.

Nitrogen merupakan nutrien penting untuk pertumbuhan tanaman kerana ia adalah komponen utama asid amino, protein, dan klorofil, tetapi tanaman tidak boleh menggunakan nitrogen atmosfera ( $N_2$ ) secara langsung. Rizobakteria pengikat nitrogen mampu menukar nitrogen atmosfera menjadi ammonia ( $NH_3$ ) atau ammonium ( $NH_4^+$ ), bentuk yang boleh diserap dan digunakan

oleh tanaman, mengurangi keperluan penggunaan baja nitrogen kimia dan menjadikan proses ini lebih lestari serta kos efektif. Selain itu, fosforus adalah penting untuk pemindahan tenaga, fotosintesis dan perkembangan akar, namun sering terdapat dalam bentuk yang tidak larut di dalam tanah. Bakteria pelarut fosfat seperti *Pseudomonas* dan *Bacillus* mengeluarkan asid organik dan enzim yang menukar fosfat tidak larut kepada bentuk larut, meningkatkan ketersediaan fosforus untuk tanaman dan memperbaiki pertumbuhan serta perkembangan akar. Selain itu, Bakteria pelarut kalium membantu menukar kalium tidak larut kepada bentuk yang boleh diserap oleh tanaman, memastikan tahap kalium yang optimum dalam tanah dan menjadikan tanaman lebih sihat dan kukuh. Kalium penting untuk pengawalan air, pengaktifan enzim dan fotosintesis serta ketahanan terhadap penyakit. Rizobakteria dengan keupayaan ini memastikan tanaman menerima nutrien penting yang seimbang, meningkatkan ketahanan terhadap tekanan persekitaran seperti kemarau, kemasinan, serangan patogen serta menggalakkan pertumbuhan akar yang lebih baik dan penyerapan nutrien. Di samping itu, penggunaan rizobakteria ini mengurangkan kebergantungan terhadap baja kimia yang berbahaya kepada alam sekitar, serta menyumbang kepada kesihatan tanah yang lebih baik dan sistem pertanian yang lebih lestari. Oleh itu, rizobakteria yang mampu mengikat nitrogen, melarutkan fosfat dan kalium adalah calon PGPR terbaik kerana menyediakan nutrien penting kepada tanaman, meningkatkan pertumbuhan dan menyokong amalan pertanian yang lebih lestari.

Rizobakteria yang berfungsi sebagai agen kawalan biologi juga mampu melindungi tanaman daripada serangan patogen seperti kulat dan bakteria yang boleh menyebabkan penyakit. Hal ini dapat mengurangkan kebergantungan kepada penggunaan racun perosak kimia yang bukan sahaja semakin mahal, tetapi juga berpotensi menggugat kesihatan tanah dan alam sekitar. Dengan menggunakan rizobakteria sebagai agen kawalan biologi, pertanian dapat dijalankan dengan lebih lestari, kerana ia membantu mengekalkan keseimbangan ekosistem tanah dan mengurangkan pencemaran akibat bahan kimia. Tambahan pula, rizobakteria yang berfungsi sebagai agen kawalan biologi juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap tekanan biotik, menjadikan tanaman lebih kuat dan produktif. Secara keseluruhannya, rizobakteria yang berfungsi sebagai agen kawalan biologi bukan sahaja meningkatkan pertumbuhan tanaman, tetapi juga melindungi tanaman daripada penyakit, menjadikan rizobakteria pilihan yang lebih berkesan untuk pertanian moden.

## Kesimpulan

Kesimpulannya, kajian ini menunjukkan bahawa rizobakteria dari kawasan tanah tinggi di Malaysia iaitu Cameron Highlands mempunyai potensi yang besar sebagai agen kawalan biologi dan penggalak pertumbuhan tanaman. Dengan keupayaan untuk mengikat nitrogen, melarutkan fosfat dan kalium, rizobakteria ini bukan sahaja dapat menyediakan nutrien penting kepada tanaman, tetapi juga dapat mengurangkan kebergantungan kepada baja kimia. Selain itu, aktiviti antimikrob rizobakteria terpilih terhadap patogen tanaman seperti *Xanthomonas* sp. dan *Fusarium* sp. membuktikan bahawa rizobakteria ini berfungsi dengan berkesan sebagai agen kawalan biologi. Kajian ini juga menekankan kepentingan mengenal pasti dan mengkaji rizobakteria tempatan yang unik di Cameron Highlands, di mana keadaan tanah dan iklim yang spesifik mencipta ekosistem mikro yang berbeza, memberikan peluang untuk penerokaan lebih lanjut dalam pengurusan perosak bersepadu dan peningkatan produktiviti tanaman. Secara keseluruhan, penggunaan rizobakteria ini menawarkan pendekatan yang lebih mampan dalam amalan pertanian yang bukan sahaja meningkatkan hasil dan kualiti tanaman, tetapi juga menyumbang kepada kesihatan tanah dan perlindungan alam sekitar.

## Penghargaan

Pengarang merakamkan ucapan terima kasih kepada semua yang terlibat dalam kajian ini melalui projek khas antarabangsa yang dibiayai dibawah UN Environment Programme bertajuk “The Impacts of MyGAP Certification among Farmers in Cameron Highlands: The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Agriculture (K-RE347)”.

## Bibliografi

- Abdullah, M., Ismail, M. R., Jaafar, H. Z., & Hassan, S. A. (2016). Microclimate characterization and its effect on crop production in highland agriculture of Malaysia. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(6), 1094–1100.
- Bancroft, J. D., & Gamble, M. (2008). Theory and practice of histological techniques. Elsevier Health Sciences.
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*, 35(4), 1044–1051.
- Berg, G., & Smalla, K. (2009). Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, 68(1), 1–13.
- Beveridge, T. J. (2001). Use of the Gram stain in microbiology. *Biotechnic & Histochemistry*, 76(3), 111–118.
- Cappuccino, J. G., & Sherman, N. (2014). Microbiology: A Laboratory Manual (10th ed.). Pearson.

- Chong, K. P., Sulong, M., & Noh, N. M. (2012). Ecological study on soil microbial population and its relationship with leaf diseases of potato in highlands of Malaysia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 35(4), 799–812.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 4951–4959.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 1–15.
- Kloepper, J. W., Ryu, C. M., & Zhang, S. (2004). Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology*, 94(11), 1259–1266.
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556.
- Rahman, F. A., Abdul Rahim, A., & Ahmad, S. (2014). Effects of highland vegetable farming on water quality and macroinvertebrate communities in Cameron Highlands, Malaysia. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(3), 561–568.
- Rajpar, I., Datta, A., Zaman, H. M., & Mehmood, K. (2019). Soil fertility and tomato yield as influenced by organic and inorganic amendments in Cameron Highlands, Malaysia. *Agronomy Journal*, 111(1), 278–288.
- Singh, A., Marappan, R., & Palanivelu, P. (2010). Environmental pollution and their risk factors: A case study of vegetable cultivation in Cameron Highlands, Malaysia. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 2(2), 190–197.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2018). *Microbiology: An introduction*. Pearson.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586.
- Willey, J. M., Sherwood, L. L., & Woolverton, C. J. (2017). *Prescott's Microbiology*. McGraw-Hill Education.
- Yusoff, M. N., Abdullah, M. P., & Hussein, N. (2010). Bacterial diversity in soil: The ecology of Cameron Highlands. *Tropical Life Sciences Research*, 21(2), 67–78.
- Zulkefli, N. A. M., Abdullah, R., & Mahmud, T. M. M. (2017). The use of organic fertilizers in vegetable production in Cameron Highlands: A case study. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 45(2), 185–194.

## **Ringkasan**

Potensi rizobakteria dari Cameron Highlands sebagai agen kawalan biologi dan penggalak pertumbuhan tanaman dinilai. Sebanyak 42 isolat rizobakteria berjaya diasingkan daripada tanah rizosfera di kawasan penanaman kubis dan ciri-ciri morfologi serta pengecaman Gram telah dilakukan untuk mengenal pasti bakteria yang berpotensi. Sebahagian besar isolat yang diperolehi adalah Gram-positif dan terdiri daripada bentuk rod dan kokus. Aktiviti penggalak pertumbuhan tanaman dinilai melalui kemampuan rizobakteria untuk mengikat nitrogen, melarutkan fosfat dan kalium, di mana beberapa isolat menunjukkan aktiviti yang signifikan dalam menyediakan nutrien penting kepada tanaman. Saringan aktiviti antimikrob menggunakan kaedah resapan cakera dan dwikultur menunjukkan bahawa beberapa isolat mampu menghalang pertumbuhan patogen tanaman seperti *Xanthomonas* sp. dan *Fusarium* sp. membuktikan potensi mereka sebagai agen kawalan biologi yang efektif. Keberkesanan rizobakteria ini bukan sahaja dapat mengurangkan kebergantungan kepada baja dan racun perosak kimia, tetapi juga menyumbang kepada peningkatan kesihatan tanah dan kelestarian pertanian. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa rizobakteria dari Cameron Highlands berpotensi tinggi untuk diaplikasikan dalam amalan pertanian mampan sebagai agen kawalan biologi dan penggalak pertumbuhan tanaman.

## **Summary**

The potential of rhizobacteria from Cameron Highlands was evaluated as biological control agents and plant growth promoters. A total of 42 rhizobacterial isolates were successfully obtained from rhizosphere soil in cabbage cultivation areas and their morphological characteristics and Gram staining were performed to identify potential bacteria. Most of the isolates were Gram-positive and consisted of rod and cocci forms. Plant growth-promoting activities were assessed based on their ability to fix nitrogen, solubilize phosphate and potassium, with several isolates showing significant activity in providing essential nutrients to plants. Antimicrobial activity screening using disc diffusion and dual culture methods demonstrated that some isolates could inhibit the growth of plant pathogens such as *Xanthomonas* sp. and *Fusarium* sp., indicating their potential as effective biological control agents. The effectiveness of these rhizobacteria not only reduces dependence on chemical fertilizers and pesticides but also contributes to improved soil health and sustainable agriculture. The results of this study suggest that rhizobacteria from Cameron Highlands have high potential for application in sustainable agricultural practices as biological control agents and plant growth promoters.

## **Pengarang**

Farah Farhanah Haron (Ts. Dr.)

Pusat Penyelidikan Agrobiodiversiti dan Persekitaran

Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

E-mel: farahfarhanah@mardi.gov.my