



Evaluasi *Plant Growth-Promoting Bacteria* (PGPB) Indigenus Perakaran Kelapa Sawit Pada Pembibitan Kelapa Sawit

Evaluation of Indigenous Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) From The Oil Palm Rhizosphere in Oil Palm Nursery

Fandi Hidayat*, Yudha Yudhistira, Rizki Desika Putri Pane, Fadilla Sapalina, Eka Listia, dan Winarna

Abstrak Kesehatan tanah merupakan salah satu aspek penting dalam mencapai pertanian atau kelapa sawit yang berkelanjutan. Berbagai upaya dapat dilakukan dengan meningkatkan produktivitas tanah baik untuk mendukung pertumbuhan maupun produktivitas tanaman. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan pemanfaatan bakteri pemacu pertumbuhan tanaman atau lebih dikenal sebagai *plant growth-promoting bacteria* (PGPB). Eksplorasi bakteri bermanfaat tersebut perlu dilakukan untuk mendapatkan isolat unggul yang nantinya dimanfaatkan sebagai pupuk hayati. Sebanyak empat strain kandidat bakteri pemacu pertumbuhan tanaman yaitu NT2, NT5, PD1, dan PK1 telah berhasil diisolasi dari perakaran kelapa sawit. Keempat strain tersebut diidentifikasi sebagai *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus alkalicellulosilyticus*, dan *Pseudomonas brassicacearum*. Keempat strain tersebut dikonfirmasi sebagai multi fungsi bakteri pemacu pertumbuhan tanaman berdasarkan uji kualitatif dan uji kuantitatif. Aplikasi konsorsium keempat strain tersebut dalam bentuk biofertilizer pada bibit kelapa sawit dapat meningkatkan serapan hara, performa vegetatif tanaman yang lebih baik, biomassa bibit yang lebih tinggi, pengurangan dosis pupuk anorganik hingga 50%, dan 7-30% lebih efisien dibandingkan dengan penggunaan 100% pupuk anorganik.

Kata Kunci: rizosfer, kelapa sawit, *plant growth-promoting bacteria*, biofertilizer, bibit kelapa sawit

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Fandi Hidayat* (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158 Indonesia

Email: fandi.hidayat87@gmail.com

Abstract Achieving sustainability in oil palm cultivation depends on maintaining soil health. Various methods have been employed to improve soil productivity, including the use of plant growth-promoting bacteria (PGPB). Identifying and utilizing superior PGPB strains as biofertilizers can be a solution to enhance soil productivity. Four PGPB candidate strains – NT2, NT5, PD1, and PK1 – were isolated from the oil palm rhizosphere, identified as *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus alkalicellulosilyticus*, and *Pseudomonas brassicacearum*, respectively, and confirmed as multifunctional PGPB through qualitative and quantitative trait screening. Application of the PGPB consortium as biofertilizer in oil palm nurseries has shown effectively increase nutrient uptake, growth performance, biomass production, and reduce inorganic fertilizer usage by up to 50%. Furthermore, this biofertilizer was found to be 7-30% more efficient compared to 100% inorganic fertilizers.

Keywords: rhizosphere, oil palm, plant growth-promoting bacteria, biofertilizer, oil palm's nursery

PENDAHULUAN

Degradasi kesehatan tanah merupakan salah satu perhatian utama yang berdampak pada produktivitas pertanian dan perkebunan, termasuk perkebunan kelapa sawit (Barnes *et al.*, 2014). Peningkatan kegiatan produksi kelapa sawit yang memanfaatkan baik tanah (lahan) maupun sumberdaya alam lainnya tanpa memperhatikan kelestariannya dapat menyebabkan degradasi kesehatan tanah (Imanda *et al.*, 2019). Kondisi tersebut menyebabkan rendahnya produktivitas tanah, sehingga secara ekonomis pemanfaatan tanah tersebut menjadi tidak menguntungkan. Selain itu, degradasi kesehatan



tanah juga dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati, banjir, longsor, kekeringan, bahkan penurunan penyerapan karbon (Imanda *et al.*, 2019).

Secara umum, degradasi kesehatan tanah pada lahan perkebunan dipengaruhi oleh beberapa bentuk kerusakan diantaranya teknik pertanian yang tidak sesuai, pembasmian gulma dengan herbisida secara berlebihan, berkurangnya stok bahan organik, dan meningkatnya erosi. Selain itu, penggunaan pupuk kimia yang tidak seimbang juga dapat menyebabkan degradasi kesehatan tanah dan menimbulkan efek negative terhadap lingkungan seperti keasaman tanah dan pencemaran air tanah (Zakry *et al.*, 2019). Penggunaan produk pupuk tertentu juga dapat menyebabkan penambahan logam berat pada tanaman dan tanah (Gall *et al.*, 2015). Beberapa tahun terakhir, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengatasi dampak negatif pupuk kimia terhadap lingkungan (Gupta *et al.*, 2015). Salah satu pendekatannya adalah dengan menggunakan *plant growth-promoting bacteria* atau PGPB (Hidayat *et al.*, 2022; Pane *et al.*, 2022; Sapalina *et al.*, 2022).

Bakteri pemacu pertumbuhan tanaman atau PGPB termasuk dalam kelompok mikroorganisme bermanfaat yang dapat ditemukan di daerah perakaran tanaman (rhizosfer), dan mampu meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman serta melindunginya dari penyakit dan cekaman abiotik (Glick, 2012; Schillaci *et al.*, 2019). Hasil dari percobaan Vejan *et al.* (2016) menunjukkan bahwa terdapat peningkatan hasil hingga 50-70% pada perlakuan dengan inokulasi PGPR. Menurut Hidayat *et al.* (2018), aplikasi bakteri endofit sebagai PGPB dapat meningkatkan pertumbuhan dan efisiensi pemupukan pada bibit kelapa sawit hingga 25%.

Mekanisme PGPB dalam mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman secara langsung berupa kemampuan menghasilkan hormon tanaman (IAA, etilen, sitokinin, dan asam giberelat), fiksasi nitrogen, pelarut P, pelarut potassium, peningkatan pengambilan unsur hara dan air, serta mekanismenya terhadap cekaman dengan aktivitas enzim ACC deaminase. Sementara itu, mekanisme tidak langsung PGPB yaitu sebagai agen biokontrol (pertahanan tanaman) berupa produksi protease, kitinase, sianida ataupun antibiotik (Gupta *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2016). Selain itu, mikroorganisme ini tidak

hanya memastikan ketersediaan nutrisi penting bagi tanaman, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi (Khalid *et al.*, 2009). Berbagai isolat seperti *Pseudomonas* sp., *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Enterobacter* sp., *Bacillus* sp., *Brevibacillus* sp., and *Burkholderia* sp. dan *Serratia* sp. diketahui berfungsi sebagai PGPB yang ditemukan pada perakaran tanaman kelapa sawit (Nor, 2020).

Pemanfaatan PGPB sebagai bakteri bermanfaat untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman dirasa perlu untuk dikembangkan secara optimal untuk memacu pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanah sehingga mampu mendukung terciptanya pertanian yang berkelanjutan (Vejan *et al.*, 2016). Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kelompok PGPB potensial dari perakaran kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan sebagai kandidat agensia pupuk hayati sebagai pupuk yang ramah lingkungan dan nantinya mampu menjadi komponen pendukung pertanian yang berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Informasi sampel

Pengambilan sampel tanah dilakukan di perkebunan kelapa sawit yang berlokasi di Tanjung Morawa, Deli Serdang, Sumatera Utara. Sampel tanah tersebut diambil secara komposit dari daerah perakaran (*rhizosphere*) tanaman menghasilkan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) pada kedalaman 0-10 cm.

Isolasi dan preservasi bakteri

Sebanyak 10 gram sampel tanah dimasukkan secara aseptik ke dalam 90 ml larutan salin (0.85% NaCl) yang telah disterilkan terlebih dahulu. Larutan tersebut selanjutnya diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30°C dengan kecepatan rotasi 150 rpm. Selanjutnya, sebanyak 1 ml suspensi diencerkan ke dalam 9 ml larutan salin dengan beberapa serial pengenceran hingga 10^{-7} . Sebanyak 100 μ l larutan hasil pengenceran 10^{-4} hingga 10^{-7} diinokulasi di atas media Nutrient Agar (NA) dengan metode sebar (*spread plate*) untuk kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 72 jam.

Koloni bakteri yang tumbuh pada media tersebut

diseleksi dan diamati morfologinya meliputi warna koloni, bentuk koloni, dan batas koloni. Isolat terpilih tersebut selanjutnya dimurnikan sebanyak tiga kali pada media NA sebelum diawetkan pada larutan 30% glycerol.

Seleksi plant growth-promoting bacteria (PGPB)

Seleksi PGPB dilakukan secara bertahap dengan dua metode yaitu kualitatif dan kuantitatif. Uji kualitatif dilakukan dengan menumbuhkan isolat murni pada media selektif seperti N-free Agar untuk bakteri penambat nitrogen (BPN), Pikovskaya Agar untuk bakteri pelarut fosfat (BPF), dan Aleksandrov Agar untuk bakteri pelarut Kalium (BPK). Sebanyak 100 μ l larutan *freeze stock* dari masing-masing strain ditumbuhkan pada 10 ml media NB dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 24 jam dengan kecepatan 150 rpm. Selanjutnya, sebanyak 10 μ l suspensi kultur murni (OD=0,8) diteteskan di atas media agar selektif untuk kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 72 jam. Isolat yang tumbuh di atas media agar N-free menunjukkan bakteri dapat menambat Nitrogen. Sementara itu, bakteri yang membentuk zona bening di media Pikovskaya Agar dan Aleksandrov Agar menunjukkan dapat melarutkan P dan K yang tidak larut.

Uji konsentrasi Ammonia dilakukan secara kuantitatif dengan metode Nessler's reagent (Chen *et al.*, 2015). Isolat terpilih ditumbuhkan dalam media Peptone Water (pH 7.2) selama 72 jam pada suhu 30°C. Selanjutnya, sebanyak 2 ml suspensi bakteri disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 20 menit. Sebanyak 100 μ l larutan pereaksi Nessler ditambahkan ke 900 μ l supernatant dan diinkubasi selama 15 menit. Intensitas warna kuning yang terbentuk selanjutnya dikuantifikasi pada panjang gelombang 425 nm dengan spektrofotometer.

Sementara itu, uji kuantitatif kemampuan isolat dalam melarutkan fosfat dilakukan dengan menumbuhkan bakteri dalam media Pikovskaya cair dengan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ sebagai sumber P tidak larut. Isolat ditumbuhkan pada suhu 30°C selama 120 jam dengan kecepatan rotasi 175 rpm. Selanjutnya, supernatant hasil sentrifugasi direaksikan dengan reagen Barton untuk kemudian dibaca kekeruhannya pada panjang gelombang 430 nm (Pande *et al.*, 2017).

Uji kuantitatif kemampuan bakteri dalam

melarutkan K dilakukan dengan inokulasi isolat murni ke dalam media Aleksandrov cair pada suhu 30°C selama 120 jam berkecepatan 175 rpm. Mika digunakan sebagai sumber K-tak larut dalam media cair tersebut (Sun *et al.*, 2020). Selanjutnya, konsentrasi K dalam supernatant hasil sentrifugasi dibaca dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Kuantifikasi IAA (*indole acetic acid*) yang dihasilkan oleh bakteri tersebut dilakukan dengan inokulasi strain murni ke dalam media Luria Bertani yang diperkaya dengan 5 mM L-tryptophan dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 48 jam dengan kecepatan rotasi 150 rpm. Selanjutnya, supernatant hasil sentrifugasi direaksikan dengan reagen pewarna Salkowski untuk kemudian diukur kepekatan warna yang terbentuk pada absorbansi 530 nm (Mohite, 2013). Hasil pengujian kualitatif dan kuantitatif selanjutnya digunakan untuk menentukan isolat unggul terpilih.

Identifikasi isolat PGPB

Identifikasi strain PGPB terpilih dilakukan secara molekuler yaitu melalui 16S rRNA gene sequencing. Ekstraksi DNA isolat terpilih dilakukan kit ekstraksi komersial (NucleoSpin Tissue, Takara, Shiga, Japan). Amplifikasi 16S rRNA dilakukan dengan menggunakan universal primer 8F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') dan 1492R (5'-GGTTACCTTGTTACGAC-3') (Chin *et al.*, 2017). Larutan PCR terdiri dari 2 μ l DNA, 10 pmol primer 8F dan 1492R, 25 μ l Premix Taq (Takara), dan 19 μ l Milli Q. Reaksi PCR dilakukan pada Thermocycler yang diawali dengan denaturasi awal (*Initial Denaturation*) pada suhu 94°C selama 5 menit dan diikuti 30 siklus: denaturasi (*Denaturation*) pada suhu 94°C selama 1 menit, penempelan (*Annealing*) pada suhu 55°C selama 45 detik, pemanjangan (*Extension*) pada suhu 72°C selama 2 menit, dan *Final Exntension* pada suhu 72°C selama 5 menit. Identifikasi spesies bakteri dilakukan secara blast menggunakan database yang tersedia di EzBioCloud pada www.ezbiocloud.net (Yoon *et al.*, 2017). Selanjutnya, pohon kekerabatan (*phylogenetic tree*) dibuat untuk menentukan kedekatan spesies isolat terhadap type strain menggunakan *software* MEGA X dengan metode *neighbor-joining* (Tamura *et al.*, 2013).

Evaluasi PGPB pada pembibitan kelapa sawit

Evaluasi isolat terpilih dilakukan pada pembibitan utama (*main nursery*) kelapa sawit DxP Simalungun dengan rancangan acak kelompok (RAK) selama sembilan bulan. Konsorsium isolat PGPB terpilih terlebih dahulu diinokulasikan ke dalam media pembawa (*carrier*) berupa bahan organik steril menjadi biofertilizer (B). Perlakuan yang diujikan adalah: (i) Kontrol (K), tanpa inokulasi PGPB dan pupuk anorganik; (ii) S₁₀₀, 100% pupuk anorganik; (iii) S₇₅, 75% pupuk anorganik; (iv) S₅₀, 50% pupuk anorganik; (v) S₇₅B, 75% pupuk anorganik + 50 gram biofertilizer; (vi) S₅₀B, 50% pupuk anorganik + 50 gram biofertilizer. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali dengan empat bibit per ulangan. Aplikasi Biofertilizer dilakukan dengan cara dicampur dengan media tanam. Parameter yang diamati pada akhir perlakuan yaitu pertumbuhan bibit kelapa sawit (tinggi tanaman, diameter bonggol, klorofil daun), biomassa bibit, serapan hara bibit, dan nilai efektivitas agronomi nisbi (EAN) atau RAE (*relative agronomic effectiveness*). Analisis varian (ANOVA) dilakukan untuk menentukan signifikansi perbedaan antar perlakuan berdasarkan nilai rata-rata dari masing-masing parameter. Selanjutnya, uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test*

(DMRT) pada tingkat kepercayaan 95% digunakan untuk menentukan perlakuan yang berbeda nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi dan seleksi PGPB

Sebelas strain potensial PGPB telah berhasil diisolasi dari daerah perakaran kelapa sawit. Kesebelas koloni tersebut memiliki morfologi yang beragam berwarna krem dan putih serta berbentuk bulat dan tak beraturan. Beberapa koloni memiliki tepian licin dan sebagian berlekuk dengan elevasi datar hingga cembung. Hasil uji kualitatif menunjukkan bahwa sebanyak delapan strain berpotensi sebagai bakteri penambat nitrogen (BPN) yang ditunjukkan dengan tumbuhnya koloni tersebut pada media selektif N-free Agar. Selanjutnya, tujuh strain diketahui berpotensi sebagai bakteri pelarut fosfat (BPF) yang membentuk zona bening di atas media selektif Pikovskaya Agar dengan indeks pelarutan berkisar 2,3 hingga 8,1. Sementara itu, hasil uji kualitatif terhadap kemampuan sebagai bakteri pelarut Kalium (BPK), menunjukkan bahwa tidak satupun koloni dapat membentuk zona bening pada media selektif Aleksandrov Agar.

Tabel 1. Karakterisasi dan uji kualitatif PGPB isolat yang berasal dari perakaran kelapa sawit

Table 1. Characterization and qualitative screening of indigenous isolates from the oil palm rhizosphere for plant growth-promoting bacteria (PGPB)

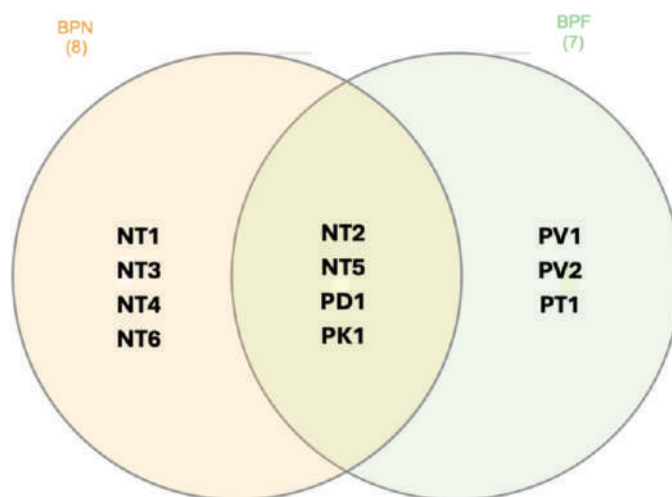
| Strain | Morfologi Koloni | | | Seleksi Kualitatif | | | |
|--------|------------------|---------------|----------|--------------------|-----|---------|-----|
| | Warna | Bentuk | Tepian | Elevasi | BPN | BPF | BPK |
| NT1 | Krem | Bulat | Berlekuk | Datar | + | - | - |
| NT2 | Krem | Tak beraturan | Berlekuk | Datar | + | + (3,3) | - |
| NT3 | Putih | Bulat | Licin | Cembung | + | - | - |
| NT4 | Putih | Filamen | Berombak | Datar | + | - | - |
| NT5 | Putih | Tak beraturan | Licin | Datar | + | + (2,8) | - |
| NT6 | Krem | Bulat | Licin | Datar | + | - | - |
| PV1 | Krem | Tak beraturan | Berlekuk | Datar | - | + (3,0) | - |
| PV2 | Putih | Tak beraturan | Berlekuk | Datar | - | + (2,6) | - |
| PT1 | Putih | Bulat | Licin | Cembung | - | + (2,3) | - |
| PD1 | Krem | Bulat | Licin | Cembung | + | + (2,3) | - |
| PK1 | Putih | Bulat | Licin | Datar | + | + (8,1) | - |

Keterangan: BPN (bakteri penambat nitrogen); BPF (bakteri pelarut fosfat); BPK (bakteri pelarut Kalium)

Notes: BPN (*nitrogen fixing bacteria*); BPF (*phosphate-solubilizing bacteria*); BPK (*potassium-solubilizing bacteria*)

Berdasarkan uji kualitatif tersebut, diperoleh empat strain yang berpotensi memiliki fungsi ganda baik sebagai BPN maupun BPF yaitu NT2, NT5, PD1, dan PK1 (Gambar 1). Untuk mengetahui kemampuan keempat strain tersebut dalam menghasilkan

Ammonia dan melarutkan fosfat, selanjutnya dilakukan uji kuantitatif pada media selektif cair. Selain itu, uji kuantitatif pelarutan Kalium dan penghasil fitohormon atau *indole acetic acid* (IAA) juga dilakukan seperti disajikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Diagram kelompok strain potensial bakteri penambat nitrogen (BPN) dan bakteri pelarut fosfat (BPF)
 Figure 1. The Venn diagram illustrates proportion of nitrogen fixing bacteria, phosphate-solubilizing bacteria, and multifunctional PGPB

Pengamatan fenotipe keempat strain tersebut disajikan pada Tabel 2. Keempat strain tersebut diketahui sebagai bakteri mesofil yang dapat tumbuh pada suhu 25-40°C (optimum di 30-35°C). Strain NT2 diketahui dapat tumbuh pada pH

berkisar 5,5-11, sedangkan strain NT5, PD1, dan PK1 dapat bertahan pada pH 5-11. Pada Tabel 2 juga dapat dilihat bahwa keempat strain toleran terhadap salinitas dengan kehadiran NaCl hingga 3%.

Tabel 2. Fenotipe dan uji kuantitatif empat strain multi fungsi PGPB
 Table 2. Phenotypic and quantitative screening of four candidate PGPBs

| Strain | Fenotipe strain | | | Uji Kuantitatif (ppm) | | | |
|--------|-----------------|------------|------|-----------------------|-------|-------|-------|
| | Suhu | pH | NaCl | BPN | BPF | BPK | IAA |
| NT2 | 25-40°C | 5,5 – 11,0 | 0-3% | 62,46 | 12,50 | 11,03 | 14,81 |
| NT5 | 25-40°C | 5,0 – 11,0 | 0-3% | 71,86 | 25,50 | 10,72 | 47,13 |
| PD1 | 25-40°C | 5,0 – 11,0 | 0-3% | 62,23 | 74,50 | 10,70 | 16,20 |
| PK1 | 25-40°C | 5,0 – 11,0 | 0-3% | 33,54 | 33,50 | 11,32 | 23,89 |

Keterangan: BPN (bakteri penambat nitrogen); BPF (bakteri pelarut fosfat); BPK (bakteri pelarut Kalium); IAA (indole acetic acid)

Notes: BPN (nitrogen fixing bacteria); BPF (phosphate-solubilizing bacteria); BPK (potassium-solubilizing bacteria); IAA (indole acetic acid)

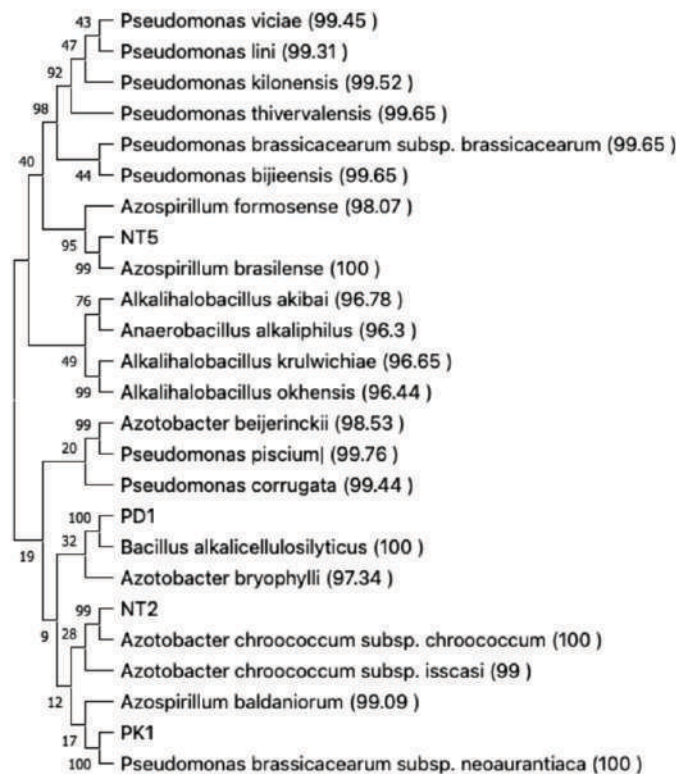
Sementara itu, hasil uji kuantitatif menunjukkan bahwa strain NT2, NT5, PD1, dan PK1 berpotensi dapat menghasilkan ammonium (33-71 ppm), melarutkan fosfat tidak larut (12-74 ppm), melarutkan Kalium tidak larut (10-11 ppm), dan menghasilkan fitohormon atau IAA (14-47 ppm). Hal ini menunjukkan bahwa keempat strain memiliki fungsi ganda yang dapat membantu meningkatkan ketersediaan hara di dalam tanah sebagai BPN, BPF, dan BPK. Selain itu, keempat strain tersebut berpotensi dapat menghasilkan zat perangsang tumbuh (ZPT) berupa hormon yang dapat memacu pertumbuhan tanaman.

Identifikasi kandidat PGPB

Hasil analisis *16S rRNA gene sequence* dan pohon kekerabatan (Gambar 2) menunjukkan bahwa strain

NT2 memiliki kemiripan 100% dengan *type strain Azotobacter chroococcum* subsp. *chroococcum* ATCC 9043^T. *Type strain* tersebut merupakan bakteri Gram-negatif yang dapat tumbuh pada suhu 20-37°C, toleran pada salinitas hingga 0,5% NaCl, dan pH 6,5-10. *Type strain* ATCC 9043 tersebut dilaporkan sebagai bakteri penambat nitrogen yang juga dapat menghasilkan siderofor, pelarut Fosfat, dan penghasil IAA berdasarkan uji *in vitro* (Jin *et al.*, 2020).

Sementara itu, strain NT5 diidentifikasi sebagai *Azospirillum brasilense* dengan indeks 100% terhadap *type strain* SP13t Sr2 (Tien *et al.*, 1979). *Type strain* tersebut dilaporkan dapat tumbuh optimal pada suhu 28°C dan berperan sebagai bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PGPB) melalui penambatan nitrogen serta penghasil fitohormon (IAA) (Tien *et al.*, 1979).



Gambar 2. Pohon kekerabatan (*neighbor-joining maximum phylogenetic tree*) empat strain kandidat PGPB dari perakaran kelapa sawit berdasarkan sekuen gen 16S rRNA

Figure 2. *Neighbor-joining maximum phylogenetic tree* of indigenous PGPB candidate isolates from the oil palm rhizosphere based on the 16S rRNA gene sequencing

Di sisi lain, strain PD1 dan PK1 berturut-turut diidentifikasi sebagai *Bacillus alkalicellulosilyticus* dan *Pseudomonas brassicacearum*. Strain PD1 dan PK1 tersebut berturut-turut memiliki kemiripan 100% dengan type strain FJAT-44921^T (Liu *et al.*, 2021) dan DBK11^T (Ivanova *et al.*, 2009). Type strain FJAT-44921^T dapat tumbuh pada suhu 10-40°C (optimum 20-25°C), pH 8-10, dan toleran dengan salinitas hingga 8%. Sementara itu, type strain DBK11^T dilaporkan sebagai Gram-negative yang dapat tumbuh pada suhu 4-37°C (optimum 25°C) dan pH 6,0-10,0 (optimum 7,0) (Ivanova *et al.*, 2009).

Evaluasi pada pembibitan kelapa sawit

Hasil pengamatan terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (Tabel 3) menunjukkan adanya perbedaan nyata pada seluruh perlakuan aplikasi pupuk anorganik dan biofertilizer dibandingkan dengan kontrol. Peningkatan parameter tinggi tanaman, diameter bonggol terbesar diperoleh pada perlakuan S₅₀B (50% anorganik + biofertilizer) diikuti oleh perlakuan S₇₅B (75% anorganik + biofertilizer). Pertumbuhan vegetatif pada kedua perlakuan tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan perlakuan S₁₀₀ (100% pupuk anorganik). Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi konsorsium PGPB dalam bentuk biofertilizer yang diberikan dengan pupuk anorganik secara efektif dapat meningkatkan performa pertumbuhan bibit kelapa sawit.

Tabel 3. Perbandingan performa vegetatif bibit kelapa sawit antar perlakuan setelah sembilan bulan aplikasi perlakuan

Table 3. Comparison of nine-months-treated vegetative performance of the oil palm nursery among the treatments

| Perlakuan | Tinggi tanaman (cm) | Diameter bonggol (cm) | Klorofil daun (µg/ml) |
|---|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Kontrol (K) | 32,46 ^c | 2,96 ^c | 0,38 ^b |
| 100% anorganik (S ₁₀₀) | 71,49 ^{ab} | 4,82 ^b | 0,55 ^a |
| 75% anorganik (S ₇₅) | 67,65 ^b | 4,94 ^b | 0,60 ^a |
| 50% anorganik (S ₅₀) | 67,22 ^b | 4,87 ^b | 0,56 ^a |
| 75% anorganik + Biofertilizer (S ₇₅ B) | 75,20 ^a | 5,62 ^a | 0,57 ^a |
| 50% anorganik + Biofertilizer (S ₅₀ B) | 77,95 ^a | 6,20 ^a | 0,56 ^a |

Keterangan: angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada tingkat kepercayaan 95%

Notes : values with the same letter in the same column are not significantly different ($p < 0.5$) according to *Duncan's Multiple Ranges Test (DMRT)*

Sementara itu, analisis statistik terhadap parameter kehijauan daun atau jumlah klorofil tanaman juga menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata antara perlakuan kombinasi pupuk anorganik dan biofertilizer (S₅₀B dan S₇₅B) dengan perlakuan 100% pupuk anorganik (S₁₀₀). Perlakuan kombinasi cenderung memberikan dampak lebih baik dibandingkan perlakuan 100% pupuk anorganik terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman karena mengandung konsorsium bakteri penambat N, bakteri pelarut P, bakteri pelarut K, dan bakteri penghasil IAA

(*indole acetic acid*) yang berfungsi sebagai *plant growth promoting bacteria* (PGPB) sehingga mampu meningkatkan efisiensi pupuk yang diberikan.

Hasil analisis serapan hara N, P, dan K bibit kelapa sawit disajikan pada Tabel 4. Serapan hara N, P, dan K pada perlakuan S₅₀B dan S₇₅B tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata dibandingkan dengan perlakuan 100% pupuk anorganik (S₁₀₀). Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi konsorsium PGPB dapat meningkatkan hara tersedia yang dapat diserap secara efektif oleh bibit kelapa sawit. Secara umum,

mekanisme penyediaan hara di dalam tanah oleh PGPB dapat berlangsung melalui transformasi nitrogen bebas yang ditambat dari atmosfer menjadi bentuk yang dapat terserap langsung oleh tanaman (ammonium maupun nitrat) serta pelarutan P dan K yang terikat kuat di dalam tanah dengan asam-asam organik eksudat PGPB (Bahulikar *et al.*, 2014; Charana Walpola, 2012; Cobo-Díaz *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2018; Saiyad

et al., 2015; Simon *et al.*, 2014; T. Nikitha *et al.*, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi PGPB dapat meningkatkan efisiensi pemupukan melalui reduksi penggunaan pupuk anorganik hingga 50%. Peningkatan serapan hara N, P, dan K pada perlakuan kombinasi pupuk anorganik dan biofertilizer (S₇₅B dan S₅₀B) ini juga diikuti dengan peningkatan klorofil (kehijauan daun) dan biomassa bibit kelapa sawit.

Tabel 4. Perbandingan serapan hara, biomassa, dan efisiensi agronomi antar perlakuan
Table 4. Comparison of nutrient uptake, biomass, and agronomy efficiency among the treatments

| Perlakuan | Serapan hara bibit (mg/tanaman) | | | Biomassa kering (g) | RAE (%) |
|---|------------------------------------|------------------|--------------------|---------------------------|------------|
| | N | P | K | | |
| Kontrol (K) | 2.767 ^b | 243 ^b | 2.430 ^b | 242,33 ^b | - |
| 100% anorganik (S ₁₀₀) | 8.743 ^a | 700 ^a | 6.920 ^a | 658,67 ^a | 100,00 |
| 75% anorganik (S ₇₅) | 9.557 ^a | 627 ^a | 6.570 ^a | 644,00 ^a | 96,48 |
| 50% anorganik (S ₅₀) | 6.700 ^a | 620 ^a | 6.460 ^a | 650,33 ^a | 98,00 |
| 75% anorganik + Biofertilizer (S ₇₅ B) | 7.870 ^a | 773 ^a | 7.610 ^a | 689,00 ^a | 107,29 |
| 50% anorganik + Biofertilizer (S ₅₀ B) | 7.790 ^a | 667 ^a | 8.150 ^a | 787,00 ^a | 130,82 |

Keterangan: angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada tingkat kepercayaan 95%

Notes: values with the same letter in the same column are not significantly different ($p < 0.5$) according to *Duncan's Multiple Ranges Test (DMRT)*

Biomassa tanaman merupakan hasil akumulasi dari berat kering total (tajuk dan akar) yang dapat dijadikan gambaran dari pertumbuhan tanaman pasca aplikasi biofertilizer (Tabel 4). Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa aplikasi konsorsium PGPB dalam bentuk biofertilizer (S₇₅B dan S₅₀B) tidak berbeda nyata dengan perlakuan aplikasi pupuk anorganik (S₁₀₀, S₇₅, S₅₀), namun berbeda nyata terhadap kontrol (K). Secara umum, perlakuan kombinasi biofertilizer dan pupuk anorganik 75% dan 50% (S₇₅B dan S₅₀B) menghasilkan biomassa bibit kelapa sawit yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa inokulasi biofertilizer. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan hara dan produksi fitohormon (IAA) oleh konsorsium PGPB berimplikasi positif dalam meningkatkan elongasi dan pembesaran sel, pertumbuhan tanaman, serta biomassa total tanaman. Aplikasi *Azospirillum*

brasilense dilaporkan dapat meningkatkan pertumbuhan dan biomassa tanaman gandum (Hernaández-Esquivel *et al.*, 2020). Pada penelitian yang lain, inokulasi bakteri *Pseudomonas brassicacearum* juga dapat meningkatkan jumlah polong dan biomassa tanaman kanola'.

Berdasarkan analisis efektivitas agronomi pada Tabel 4 juga dapat dilihat bahwa perlakuan S₇₅B dan S₅₀B memiliki nilai EAN atau RAE yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan 100% pupuk anorganik (S₁₀₀) berturut-turut sebesar 107,29% dan 130,82%. Lebih lanjut, kedua perlakuan tersebut merupakan kombinasi perlakuan terbaik yang menghasilkan performa pertumbuhan tanaman maupun produksi biomassa tidak berbeda nyata dengan perlakuan 100% pupuk anorganik. Hal ini

menunjukkan bahwa strain NT2, NT5, PD1, dan PK1 dalam bentuk konsorsium PGPB tersebut berpotensi dikembangkan menjadi pupuk hayati yang dapat meningkatkan pertumbuhan maupun produktivitas tanaman.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini diperoleh empat strain unggul indigenus perakaran kelapa sawit yang berpotensi sebagai bakteri penambat nitrogen (BPN), bakteri pelarut fosfat (BPF), bakteri pelarut kalium (BPK), dan penghasil fitohormon atau IAA. Keempat strain tersebut diidentifikasi sebagai *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus alkalicellulosilyticus*, dan *Pseudomonas brassicacearum*. Hasil pengujian konsorsium empat PGPB tersebut dalam bentuk biofertilizer dapat meningkatkan efisiensi pemupukan, mereduksi penggunaan pupuk anorganik hingga 50%, meningkatkan pertumbuhan dan produksi biomassa bibit kelapa sawit. Pengujian lebih lanjut pada tanaman menghasilkan kelapa sawit sangat diperlukan untuk mengetahui efektivitas keempat strain PGPB tersebut dalam pencapaian produktivitas tandan buah segar (TBS) dan *crude palm oil* (CPO).

DAFTAR PUSTAKA

- Bahulikar, R. A., Torres-Jerez, I., Worley, E., Craven, K., & Udvardi, M. K. (2014). Diversity of nitrogen-fixing bacteria associated with switchgrass in the native tallgrass prairie of Northern Oklahoma. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(18), 5636–5643.
<https://doi.org/10.1128/AEM.02091-14>
- Barnes, A. D., Jochum, M., Mumme, S., Haneda, N. F., Farajallah, A., Widarto, T. H., & Brose, U. (2014). Consequences of tropical land use for multitrophic biodiversity and ecosystem functioning. *Nature Communications*, 5(1), 5351. <https://doi.org/10.1038/ncomms6351>
- Charana Walpola, B. (2012). Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: a review. *African Journal of Microbiology Research*, 6(37).
<https://doi.org/10.5897/AJMR12.889112>
- Chen, Z., Zhang, W., Wang, D., Ma, T., & Bai, R. (2015). Enhancement of activated sludge dewatering performance by combined composite enzymatic lysis and chemical re-flocculation with inorganic coagulants: Kinetics of enzymatic reaction and re-flocculation morphology. *Water Research*, 83, 367–376.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.06.026>
- Chin, C. F. S., Furuya, Y., Zainudin, M. H. M., Ramli, N., Hassan, M. Ali., Tashiro, Y., & Sakai, K. (2017). Novel multifunctional plant growth-promoting bacteria in co-compost of palm oil industry waste. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 124(5), 506–513.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.05.016>
- Cobo-Díaz, J. F., Fernández-González, A. J., Villadas, P. J., Robles, A. B., Toro, N., & Fernández-López, M. (2015). Metagenomic assessment of the potential microbial nitrogen pathways in the rhizosphere of a Mediterranean forest after a wildfire. *Microbial Ecology*, 69(4), 895–904.
<https://doi.org/10.1007/s00248-015-0586-7>
- Gall, J. E., Boyd, R. S., & Rajakaruna, N. (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4), 201. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4436-3>
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 1–15.
<https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Gupta, G., Ahirwar, N. K., Parihar, S. S., & Snehi, S. K. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (pgpr): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 07(02). <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000188>
- Hernaández-Esquivel, A. A., Castro-Mercado, E., Valencia-Cantero, E., Alexandre, G., & García-Pineda, E. (2020). Application of *Azospirillum brasilense* lipopolysaccharides to promote early wheat plant growth and analysis of related biochemical responses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 579976.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.579976>



- Hidayat, F., Rahutomo, S., Farrasati, R., Pradiko, I., Syarovy, M., Sutarta, E. S., & Widayati, W. E. (2018). PEMANFAATAN bakteri endofit untuk meningkatkan keragaan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 26(2), 71–78.
<https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v26i2.36>
- Hidayat, F., Sapalina, F., Pane, R. D. P., & Winarna. (2022). Peluang dan tantangan pemanfaatan produk hayati di perkebunan kelapa sawit. *Warta PPKS*, 27(1), 1–8.
- Imanda, N., Wawan, & Herman. (2019). Evaluasi status kerusakan tanah untuk produksi kelapa sawit pada perkebunan perusahaan dan rakyat di Kecamatan Pasir Penyu. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 8(1).
- Ivanova, E. P., Christen, R., Bizet, C., Clermont, D., Motreff, L., Bouchier, C., Zhukova, N. V., Crawford, R. J., & Kiprianova, E. A. (2009). *Pseudomonas brassicacearum* subsp. *neaurantiaca* subsp. *nov.*, orange-pigmented bacteria isolated from soil and the rhizosphere of agricultural plants. *International Journal of Systematic And Evolutionary Microbiology*, 59(10), 2476–2481.
<https://doi.org/10.1099/ijs.0.009654-0>
- Jiménez-Gómez, A., Saati-Santamaría, Z., Kostovcik, M., Rivas, R., Velázquez, E., Mateos, P. F., Menéndez, E., & García-Fraile, P. (2020). Selection of the root endophyte *Pseudomonas brassicacearum* CDVBN10 as plant growth promoter for Brassica napus L. crops. *Agronomy*, 10(11), 1788.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10111788>
- Jin, H., Wang, H., Zhang, Y., Hu, T., Lin, Z., Liu, B., Ma, J., Wang, X., Liu, Q., Lin, X., & Xie, Z. (2020). Description of *Azotobacter chroococcum* subsp. *isscasi* subsp. *nov.* isolated from paddy soil and establishment of *Azotobacter chroococcum* subsp. *chroococcum* subsp. *nov.* *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(3), 2124–2131.
<https://doi.org/10.1099/ijssem.0.004026>
- Khalid, A., Arshad, M., Shaharoon, B., & Mahmood, T. (2009). Plant growth promoting rhizobacteria and sustainable agriculture. In M. S. Khan, A. Zaidi, & J. Musarrat (Eds.), *Microbial Strategies for Crop Improvement* (pp. 133–160). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-01979-1_7
- Kumar, A., Kumar, A., & Patel, H. (2018). Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(05), 1344–1347.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.161>
- Liu, G.-H., Narsing Rao, M. P., Wang, X.-Y., Chu, T.-W., Liu, B., & Li, W.-J. (2021). *Bacillus alkalicellulosilyticus* sp. *Nov.*, isolated from extremely alkaline bauxite residue (red mud) site. *Archives of Microbiology*, 203(2), 719–723.
<https://doi.org/10.1007/s00203-020-02063-y>
- Mohite, B. (2013). Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, ahead*, 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000051>
- Nor, M. N. M. (2020). Isolation and characterization of effective microorganism from oil palm rhizospheric soil and evaluation of their potential as biofertiliser. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 515(1), 012040.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/515/1/012040>
- Pande, A., Pandey, P., Mehra, S., Singh, M., & Kaushik, S. (2017). Phenotypic and genotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria and their efficiency on the growth of maize. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15(2), 379–391.
<https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.06.005>
- Pane, R. D. P., Ginting, E. N., & Hidayat, F. (2022). Mikroba pelarut fosfat dan potensinya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. *Warta PPKS*, 27(1), 51–59.
- Saiyad, S. A., Jhala, D. Y. K., & Vyas, D. R. V. (2015). Comparative efficiency of five potash and phosphate solubilizing bacteria and their key enzymes useful for enhancing and

- improvement of soil fertility. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(2), 6.
- Sapalina, F., Ginting, E. N., & Hidayat, F. (2022). Bakteri penambat nitrogen sebagai agen biofertilizer. *Warta PPKS*, 27(1), 41–50.
- Schillaci, M., Gupta, S., Walker, R., & Roessner, U. (2019). The role of plant growth-promoting bacteria in the growth of cereals under abiotic stresses. In T. Ohyama (Ed.), *Root Biology—Growth, Physiology, and Functions*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.87083>
- Simon, Z., Mtei, K., Gessesse, A., & Ndakidemi, P. A. (2014). Isolation and characterization of nitrogen fixing rhizobia from cultivated and uncultivated soils of Northern Tanzania. *American Journal of Plant Sciences*, 05(26), 4050–4067.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2014.526423>
- Sun, F., Ou, Q., Wang, N., Guo, Z. xuan, Ou, Y., Li, N., & Peng, C. (2020). Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from *Mikania micrantha* rhizospheric soil and their effect on *M. micrantha* plants. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01141.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01141>
- T. Nikitha, M. S., B. Sadhana, E. U. B. R., & Vani, S. S. (2017). Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 2133–2144.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.251>
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A., & Kumar, S. (2013). MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30(12), 2725–2729.
<https://doi.org/10.1093/molbev/mst197>
- Tien, T. M., Gaskins, M. H., & Hubbell, D. H. (1979). Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *APPL. ENVIRON. MICROBIOL.*, 37.
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq Boyce, A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—a review. *Molecules*, 21(5), 573.
<https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
- Yoon, S.-H., Ha, S.-M., Kwon, S., Lim, J., Kim, Y., Seo, H., & Chun, J. (2017). Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 67(5), 1613–1617.
<https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001755>
- Zakry, F., Ammal, P., Malahubban, M., Faridah, A. R., & Umar, A. H. M. (2019). Selecting the most effective plant growth-promoting bacteria from oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) roots. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 17(3), 344–348.
<https://doi.org/10.3329/jbau.v17i3.43208>
- Zhou, D., Huang, X.-F., Chaparro, J. M., Badri, D. V., Manter, D. K., Vivanco, J. M., & Guo, J. (2016). Root and bacterial secretions regulate the interaction between plants and PGPR leading to distinct plant growth promotion effects. *Plant and Soil*, 401(1–2), 259–272.
<https://doi.org/10.1007/s11104-015-2743-7>

