

Analisis Kemampuan Produksi Auksin dari Bakteri Endofit dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dalam Akar Cabai Merah Keriting (*Capsicum annum* L.)

Nurdalila Maulida^{1*}, Arrum Rahmawati², Tirta Kumala Dewi³, Rumella Simarmata³, Tiwit Widowati³, Titik Kartika⁴, Ikhsan Guswenrivo⁴, Deddy Triyono Nugroho⁵, Ateng Supriatna¹

¹*Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung, Bandung, Indonesia*

²*Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia*

³*Pusat Riset Mikrobiologi Terapan, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Bogor, Indonesia*

⁴*Pusat Riset Zoologi Terapan, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Bogor, Indonesia*

⁵*Pusat Riset Biomassa Bioproduk Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Bogor, Indonesia*

**nurdalilamaulida.265@gmail.com*

Diterima: 8 Agustus 2024 | Disetujui: 24 Agustus 2024

ABSTRAK

Bakteri endofit yang terdapat dalam akar, batang, dan daun tanaman memiliki potensi sebagai agen biokontrol dan pendorong perkembangan tanaman, selain itu dalam akar tanaman juga terdapat *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) dengan kemampuan yang sama. Konsorsium kedua bakteri tersebut akan menghasilkan senyawa Indol 3 asam asetat (IAA) yang selanjutnya dirubah menjadi auksin yang menguntungkan bagi tanaman. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri endofit dan PGPR dari akar tumbuhan cabai merah keriting dalam memproduksi hormon auksin. Prosedur kerja penelitian meliputi peremajaan isolat bakteri, karakteristik makroskopik dan mikroskopik, mengukur kadar auksin menggunakan HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari konsorsium 6 bakteri (3 endofit dan 3 PGPR) menghasilkan konsentrasi auksin sebesar 46,122 ppm, konsorsium bakteri endofit sebesar 24,201 ppm, konsorsium bakteri PGPR sebesar 162,723 ppm, dan terakhir single bakteri endofit dan single bakteri PGPR menghasilkan auksin sebesar A 158,913 ppm; B 64,882 ppm; C 93,923 ppm; CB1 240,817 ppm; CB2 186,807 ppm; dan CMBC 11,689 ppm, sedangkan untuk kontrol 0 ppm. Kesimpulannya konsentrasi auksin tertinggi diperoleh dari hasil single bakteri PGPR CB1 240,817 ppm.

Kata Kunci: *auksin, bakteri endofit, HPLC, PGPR*

Analysis of Auxin Production Ability of Endophytic Bacteria and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Curly Red Pepper Root (Capsicum annum L.)

ABSTRACT

Endophytic bacteria found in the roots, stems, and leaves of plants have potential as biocontrol agents and drivers of plant development, besides that in plant roots there are also plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) with the same ability. The consortium of the two bacteria will produce Indole 3 acetic acid (IAA) compounds which are then converted into auxins that are beneficial to plants. The research aims to determine the ability of endophytic bacteria and PGPR from the roots of curly red chili plants in producing auxin hormones. The research work procedure includes rejuvenation of bacterial isolates, macroscopic and microscopic characteristics, measuring auxin levels using HPLC (High Performance Liquid Chromatography). The results showed that the consortium of 6 bacteria (3 endophytes and 3 PGPR) produced an auxin concentration of 46.122 ppm, a consortium of endophytic bacteria of 24.201 ppm, a consortium of PGPR bacteria of 162.723 ppm, and finally single endophytic bacteria and single PGPR bacteria produced auxin of A 158.913 ppm; B 64.882 ppm; C 93.923 ppm; CB1 240.817 ppm; CB2 186.807 ppm; and CMBC 11.689 ppm, while for the control 0 ppm. In conclusion, the highest auxin concentration was obtained from the single result of PGPR bacteria CB1 240.817 ppm.

Keywords: *auxin, endophytic bacteria, HPLC, PGPR*

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara dengan keanekaragaman flora dan fauna yang sangat tinggi. Diprediksi dari seluruh spesies flora dan fauna yang terdapat di dunia (1.812.700 spesies), 1,75% (31.750 spesies) ditemukan di seluruh kawasan nusantara ini, dengan potensi keanekaragaman lumut kurang lebih sebesar 10% nya (Setiawan, 2022). Dengan kondisi tersebut Indonesia menempati urutan kedua setelah Brazil dalam kekayaan faunanya, karena diketahui bahwa jumlah mamalia yang teridentifikasi sebesar 12%, 16% reptil, dan burung sebanyak 17% (Setiawan, 2022).

Besaran lahan pertanian yang terdapat di Indonesia diperkirakan seluas 20 juta ha. Pada saat ini, faktor utama dalam peningkatan dan pengembangan produksi pertanian, cenderung mengedepankan pada faktor efektivitas pemakaian pupuk dengan mengutamakan tingkat kesuburan tanah secara berkelanjutan dan penurunan efek eutrofikasi (Rizqiyah *et al.*, 2022). Biasanya salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan penggunaan pupuk anorganik, walaupun pemakaian pupuk anorganik memiliki dampak negatif terhadap lingkungan apabila dilakukan dalam kurun waktu yang lama (Kalay *et al.*, 2020). Pesatnya kemajuan teknologi berdampak pada terciptanya produk-produk unggulan baru yang ramah lingkungan, di antaranya teknik rekayasa peningkatan fitohormon untuk memacu pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Astriani & Murtiyaningsih, 2018).

Di antara beragam bakteri yang ada di muka bumi ini, salah satunya mampu hidup di dalam jaringan tanaman inang dan bakteri tersebut memiliki sifat tidak memicu gejala-gejala penyakit, dikenal sebagai bakteri endofit. Bakteri endofit memiliki potensi sebagai agen biokontrol dan pendorong perkembangan tanaman (Rizqiyah *et al.*, 2022). Pada tanaman, seringkali bakteri endofit dapat ditemukan di bagian akar, batang, dan daun. Selain itu, di dalam organ tanaman khususnya bagian akar juga dapat ditemukan bakteri lain yang dikenal dengan nama *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR). Bakteri ini juga bersifat positif bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, secara fisiologi kehidupan PGPR bergantung pada eksudat yang dikeluarkan dari sekitar akar tanaman. Bakteri endofit dan bakteri PGPR memiliki kemampuan dapat menghasilkan hormon tumbuhan. Hormon tumbuhan (fitohormon) merupakan bahan organik yang dapat mengatur mekanisme fisiologi pada tumbuhan yang aktif dengan konsentrasi rendah, sehingga berpengaruh besar dalam pertumbuhannya (Ayesha *et al.*, 2023).

Hormon mempunyai dua karakteristik utama, pertama setiap hormon akan memberikan berbagai respon pertumbuhan dan morfogenetik yang bersifat pleiotropik terhadap dampaknya. Hal tersebut dapat dilihat dari berbagai respon tumbuh pada auksin, seperti dominasi apikal, pembelahan dan pertumbuhan sel, respon organik, pengaturan buah, dan juga respon yang sifatnya stimulator. Kedua, terdapat beberapa hormon yang memberikan respon yang sama, seperti proses perpanjangan sel yang disebabkan oleh auksin, brassinosteroid, dan giberelin (Debitama *et al.*, 2022). Pada umumnya hormon yang terdapat pada tumbuhan terdiri atas 5 macam, yaitu auksin, giberelin, sitokinin, etilen, dan asam absisat, setiap hormon tersebut memberikan dampak berbeda terhadap fisiologi tanaman (Cokrowati & Diniarti, 2019). Auksin merupakan salah satu hormon yang mampu memacu proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Auksin terdapat pada bagian ujung akar, batang, dan daun yang berperan untuk mengatur pembesaran serta pemicu pemanjangan sel (Sharfina *et al.*, 2021).

Konsorsium bakteri merupakan penggabungan beberapa jenis bakteri pada suatu media yang diinkubasi atau pada suatu media bahan organik lain. Simbiosis mutualisme dan komensalisme terjadi antarbakteri tersebut, sehingga diperoleh hasil kerja berupa senyawa menguntungkan bagi tanaman (Sondang *et al.*, 2020). Berdasarkan konsep tersebut, diharapkan melalui penelitian ini diperoleh senyawa Indol 3 asam asetat yang relatif tinggi dengan merekayasa suatu konsorsium bakteri endofit dengan bakteri PGPR.

Senyawa Indole 3 asam asetat (IAA) disintesis untuk menghasilkan auksin, hormon ini mengaktifkan proses perpanjangan sel, perbanyakan sel, dan diferensiasinya. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa IAA dihasilkan dalam konsentrasi tinggi oleh *Enterobacter* sp., *Pseudomonas* sp, dan *Azospirillum* sp. (Taghavi *et al.*, 2009; Herlina *et al.*, 2016)). Kinerja produksi untuk menghasilkan IAA yang akan dirubah menjadi auksin oleh suatu konsorsium bakteri memiliki dayaguna yang lebih efektif dibandingkan hanya dengan mikrob tunggal (Agustina *et al.*, 2022). Penelitian ini menggunakan metode *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dalam analisis hormon. HPLC merupakan teknik kromatografi cair (LC) yang berfungsi dalam pemisahan berbagai komponen dalam suatu senyawa. Keunggulan teknologi kromatografi cair dengan kinerja tinggi adalah memiliki resolusi yang tinggi, kolom yang terbuat berdiameter kecil berbahan kaca atau baja tahan karat, sehingga menghasilkan pemisahan yang sempurna, analisis proses yang cepat dan tekanan fase gerak yang diberikan relatif tinggi (Tumanduk *et al.*, 2023). Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik makroskopis dan mikroskopis serta menganalisis kemampuan bakteri endofit dan PGPR dari akar tanaman cabai dalam memproduksi hormon auksin.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan selama 4 bulan, dari Maret sampai dengan Juni 2024, dengan lokasi di Laboratorium *Integrated Laboratory of Bioproduct* (iLaB), Pusat Riset Zoologi Terapan, Cibinong. Bogor. Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu:

Peremajaan Isolat

Bahan isolat 3 bakteri kelompok endofit dan 3 bakteri kelompok PGPR dari akar cabai merah diperoleh dari Laboratorium Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong. Peremajaan isolat bakteri endofit dan PGPR dilakukan dengan cara isolat bakteri digoreskan secara aseptis pada media Nutrient Agar (NA) dengan menggoresnya secara quadran. Bakteri yang telah digores, diinkubasi pada inkubator dengan suhu 27°C-30°C selama 1 × 24 jam, kemudian diperbanyak dengan media *Nutrient Broth* (NB).

Karakterisasi Isolat Bakteri Endofit dan PGPR

Isolat bakteri endofit dan PGPR yang mempunyai kemampuan produksi auksin diamati secara makroskopis dan mikroskopis. Karakteristik makroskopisnya meliputi warna, bentuk, elevasi, margin dan tepi koloni, sedangkan karakteristik morfologi secara mikroskopis meliputi sifat gram dan bentuk sel bakteri tersebut (Zuraidah *et al.*, 2020).

Pewarnaan Gram

Satu ose isolat bakteri yang digoreskan pada kaca objek, ditambahkan dengan satu tetes akuades steril lalu dikeringkan di atas bunsen sampai terlihat kering. Reagen kristal violet diteteskan pada isolate, sebagai pewarna dasar, lalu dibiarkan selama 1 menit, kaca objek untuk pewarnaan gram dibersihkan dengan aquades mengalir. Lugol kemudian diteteskan di atas isolat sebagai pewarna mordant dan dibiarkan selama 1 menit, lalu kaca objek untuk pewarnaan dibersihkan dengan akuades mengalir. Secara perlahan diteteskan alkohol sebagai pemucat pada isolat hingga tetes terakhir metanol berubah warna menjadi bening, kembali kaca objek dibersihkan dengan akuades mengalir perlahan. Langkah berikutnya, diberikan reagen safranin yang diteteskan pada isolat sebagai pewarna kontrol dan dibiarkan selama 1 menit. Kaca objek tersebut lalu dibersihkan dengan akuades mengalir dan dikeringkan atau diangin-anginkan sebelum diamati di bawah mikroskop (Hamidah *et al.*, 2019).

Uji Kompatibilitas

Kultur bakteri yang digunakan sebagai konsorsium harus kompatibel. Kombinasi konsorsium bakteri menggunakan kombinasi dari 3 isolat bakteri endofit, 3 isolat bakteri endofit dan 3 isolat bakteri PGPR yang memiliki kemampuan untuk memproduksi hormon auksin. Uji kompatibilitas bakteri dilakukan dengan cara metode cross streak method (metoda goresan silang).. Pada cawan petri, 3 bakteri endofit yang berbeda digoreskan secara vertikal dan horizontal. Hal tersebut dilakukan juga pada 6 bakteri (3 bakteri endofit dan 3 bakteri PGPR). Selanjutnya, diinkubasi selama 24 sampai 48 jam dengan suhu ruang, kemudian amati terjadi lisis atau tidak pada perpotongan goresan vertikal dan horizontal (Resti *et al.*, 2018).

Persiapan Konsorsium Bakteri

Bakteri endofit yang kompatibel, dibiakkan dalam medium NB. Konsorsium dibuat dengan menggabungkan semua kemungkinan kombinasi yang kompatibel. Pengambilan masing-masing kultur biakan tunggal bakteri, lalu dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi media NB (Resti *et al.*, 2018). Konsorsium yang dibuat yaitu konsorsium 3 bakteri endofit, 3 bakteri PGPR, dan 3 bakteri endofit dan 3 PGPR. Konsorsium tersebut diinkubasi selama 24-48 jam.

Ekstraksi Auksin

Isolat bakteri ditumbuhkan di dalam 100 ml media NB yang dilengkapi dengan 0,5 g L-triptofan dalam labu erlenmeyer 250 ml. Kultur bakteri ditambahkan 100 µl ke dalam media uji dan vortex untuk mendapatkan suspensi yang seragam. Selanjutnya, diinkubasi pada kondisi gelap (dengan cara membungkus wadah dengan aluminium foil) pada suhu 30°C dalam kondisi dihomogenkan dengan kecepatan 120 rpm selama 72 jam. Untuk memisahkan sel-sel bakteri, kultur disentrifugasi pada suhu 4°C selama 20 menit dengan kecepatan 5000 rpm. Supernatan dipindahkan ke dalam Erlenmeyer 250 ml, kemudian untuk mengatur keasamannya dengan menambahkan 2-3 tetes HCl pekat 1 N hingga mencapai pH 2,5-3. Untuk mengekstrak hormon tambahkan dua kali lipat volume etil asetat ke supernatan, lalu digoyang selama 5 menit (sebagai alternatif, corong pemisah dapat digunakan). Didiamkan campuran pada suhu ruang selama 10 menit untuk mendapatkan lapisan atas etil asetat, gunakan lapisan ini untuk selanjutnya. Dalam *rotary evaporator*, suhu penangas air diatur ke suhu didih etil asetat 77,1°C (sebagai alternatif, fase etil asetat dapat dikeringkan secara vakum dalam evaporator rotasi pada suhu 40°C). Waktu pengeringan sistem pelarut bervariasi sesuai dengan volume sampel. Lapisan etil asetat dipindahkan ke dalam labu alas bulat dan sesuaikan putarannya untuk menghindari terbenturnya sampel cair. Setelah penguapan etil asetat cair selesai, hormon murni tertinggal dalam bentuk kristal yang melekat pada bagian bawah labu putar. Matikan semua unit *rotary evaporator* dan keluarkan labu alas bulat. Kristal hormon dilarutkan kembali dalam 5 ml metanol dan disimpan pada kulkas untuk penggunaan selanjutnya.

Pembuatan Larutan Standar Auksin (IAA)

Pembuatan kurva standar IAA dimulai dengan menyiapkan larutan IAA (larutan stok) 500 ppm. Sebanyak 0,05 mg IAA dilarutkan dalam 10 ml methanol (Mogea *et al.*, 2022). Larutan IAA 500 ppm yang telah disiapkan digunakan sebagai larutan komponen untuk pembuatan larutan IAA dengan konsentrasi 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, dan 250 ppm.

Pembuatan Fase Gerak

Eluen adalah fase gerak yang digunakan pada kromatografi kolom. Eluen yang digunakan yaitu campuran asam asetat glacial 1 ml dengan metanol 30 ml, dan asam asetat glacial 1 ml dengan 70 ml aquabidest untuk 100 ml dimasukkan ke dalam botol reagen. Selanjutnya, di ultrasonic dengan suhu 44°C selama 15 menit.

Prosedur Analisa Hormon Auksin

HPLC yang digunakan adalah HPLC Shimadzu LC-2030C 3DPlus. Kondisi alat HPLC pada saat analisa diatur sebagai berikut.

Fase gerak : (A) Acetic acid water : (B) Acetic acid-methanol
 Fase diam : Kolom C-18
 Laju alir : 1 mL/min
 Volum injeksi : 10 µL
 Panjang gelombang : 277 nm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Makroskopis Bakteri Endofit dan PGPR

Karakterisasi morfologi koloni merupakan proses indentifikasi bakteri yang dilakukan peneliti konvensional. Morfologi koloni merupakan karakteristik kultur secara visual dari koloni bakteri pada cawan petri. Isolasi koloni perlu dilakukan dengan baik dari koloni lain untuk mengamati karakteristik bentuk, tepi, bentuk permukaan/elevasi, warna, dan ukuran koloni. Mikroba memiliki berbagai bentuk koloni yang berbeda namun khas. Pada kondisi yang sesuai, bentuk dan ukuran koloni mikroba relatif stabil (Rafif *et al.*, 2023).

Tabel 1. Karakterisasi makroskopis bakteri

	Bentuk	Margin	Elevasi	Ukuran	Warna
A	<i>Irregular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Convex</i>	<i>Large</i>	<i>Cream</i>
B	<i>Irregular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Convex</i>	<i>Large</i>	<i>Cream</i>
C	<i>Circular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Convex</i>	<i>Large</i>	<i>Cream</i>
CB1	<i>Irregular</i>	<i>Entire</i>	<i>Convex</i>	<i>Large</i>	<i>Cream</i>
CB2	<i>Irregular</i>	<i>Undulate</i>	<i>Convex</i>	<i>Large</i>	<i>Cream</i>
CMBC	<i>Irregular</i>	<i>Curlate</i>	<i>Convex</i>	<i>Large</i>	<i>Cream</i>

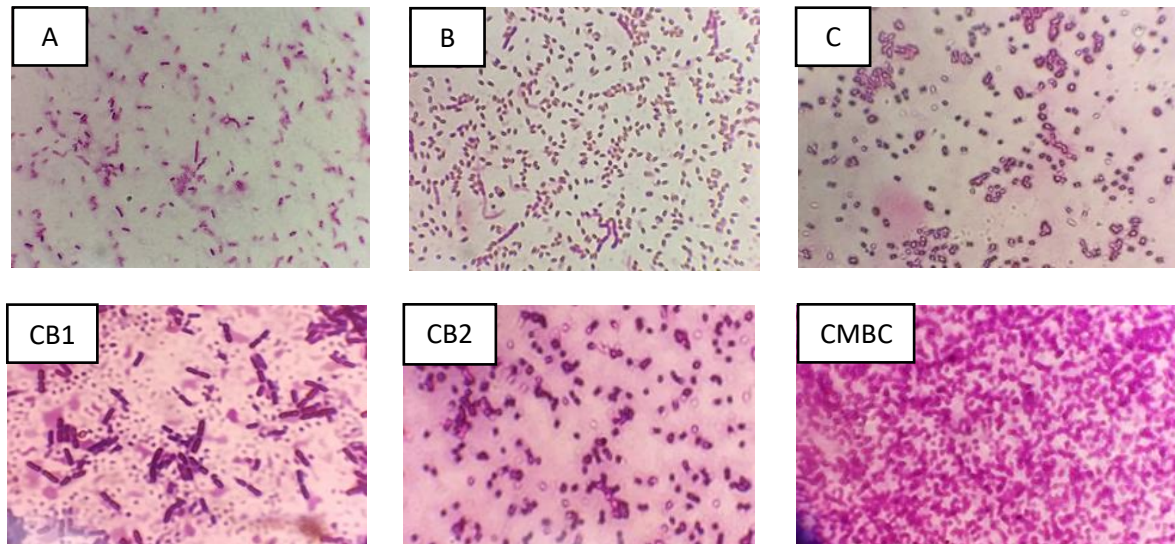
A = Isolat bakteri endofit A
 B = Isolat bakteri endofit B
 C = Isolat bakteri endofit C

CB1 = Isolat bakteri PGPR CB1
 CB2 = Isolat bakteri PGPR CB2
 CMBC = Isolat bakteri PGPR CMBC

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa ketiga bakteri endofit A,B,C memiliki karakteristik morfologi yang sama dari mulai bentuknya *irregular*, *margin undulate*, *elevasi convex*, ukuran *large* dan warna dari masing-masing koloni adalah *cream*. Di antara keenam bakteri terdapat satu bakteri yang berbeda bentuknya yaitu bakteri endofit C yang berbentuk *circular*, sedangkan lainnya berbentuk *irregular*. Pada bakteri PGPR didapatkan karakteristik morfologi yang sama dari mulai bentuknya *irregular*, *elevasi convex*, ukuran *large*, dan warna bakteri *cream*, adapun perbedaannya terletak pada margin CB1 yaitu *entire*, CB2 *undulate*, dan CMBC adalah *curlate*.

Karakterisasi Mikroskopik Bakteri Endofit dan PGPR

Menurut Oktavia & Pujiyanto (2018), bakteri gram positif dengan bakteri gram negatif dapat dibedakan dengan cara pewarnaan gram. Perbedaan reaksi permeabilitas zat pewarna yang dihasilkan dari pewarnaan gram dapat terjadi karena adanya perbedaan struktur dinding sel. Pewarnaan gram dilakukan untuk mengetahui karakteristik bakteri secara mikroskopis. Hasil mikroskop ditunjukkan pada gambar 1. Ciri mikroskopis koloni bakteri dari keenam sampel menunjukkan karakteristik pewarnaan gram yang berbeda. Karakteristik mikroskopis yang diamati berbentuk batang, bewarna merah muda atau ungu, dan komposisi bakterinya tersebar dan bersifat gram negatif atau gram positif.



Gambar 1. Bakteri endofit A,B,C (bakteri gram negatif, batang); Bakteri PGPR CB1,CB2,CMBC (bakteri gram positif, batang)

Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa ketiga sampel bakteri endofit adalah bakteri gram negatif, sedangkan ketiga bakteri PGPR adalah bakteri gram positif. Bakteri Gram negatif mempunyai dinding sel yang lebih tipis (10-15 nm) dan kandungan lipid lebih tinggi (11-24%) dibandingkan bakteri gram positif. Bakteri gram negatif hampir tidak memiliki peptidoglikan yang menyerap warna merah, sehingga warna merah tampak kontras jika dilihat di bawah mikroskop. Selanjutnya, dinding sel yang dilapisi peptidoglikan yang lebih tebal dimiliki oleh bakteri gram positif dengan lapisan terluarnya adalah lapisan peptidoglikan, sehingga bila diwarnai akan berubah menjadi warna kristal violet sedangkan di daerah peptidoglikan menjadi ungu (Panjaitan *et al.*, 2020).

Keenam sampel bakteri memiliki bentuk basil. Menurut Jannah *et al.* (2017), bakteri mempunyai beberapa bentuk dasar, seperti kokus, basil, dan spiral. Kokus merupakan bakteri yang berbentuk yang menyerupai bola-bola kecil. Beberapa dari kelompok ini membentuk koloni, sedangkan bakteri yang bentuknya seperti batang kecil dan silindris adalah basil. Beberapa bakteri berbentuk basil dapat menempel satu sama lain atau terpisah satu sama lain. Bakteri spiral adalah bakteri yang mempunyai bentuk melengkung seperti spiral. Jenis dari bentuk spiral sangat sedikit, kelompok ini merupakan golongan paling kecil jika dibandingkan dengan bakteri bentuk basil dan kokus.

Uji Kompabilitas

Sebelum menggabungkan beberapa isolat dalam media pertumbuhan, penting untuk melakukan uji kompabilitas. Uji kompabilitas bertujuan untuk mengetahui sifat dari bakteri yang digabungkan merupakan bakteri kompatibel atau tidak kompatibel. Kompatibel berarti dapat hidup berdampingan, sedangkan tidak kompatibel bersifat saling menghambat pertumbuhan bakteri lain yang tumbuh dalam media yang sama. Penghambatan ini terjadi melalui aktivitas antibiosis atau antagonis. Senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri serta genotip pada masing-masing isolat bakteri merupakan faktor yang mempengaruhi kompabilitas (Pradana *et al.*, 2022).

Berdasarkan hasil uji kompatibilitas yang dapat dilihat pada Tabel 2, diperoleh hasil kombinasi bakteri yang kompatibel antara bakteri endofit dengan PGPR, tiga bakteri endofit, dan tiga bakteri PGPR. Penggabungan bakteri meningkatkan produksi hormon isolat bakteri, sehingga mampu meningkatkan laju pertumbuhan dan aktivitas metabolisme yang saling mendukung untuk pertumbuhan isolat. Tujuan pengujian kompatibilitas bakteri untuk mengetahui gabungan dari beberapa isolat bakteri apakah dapat tumbuh bersama atau saling menghambat aktivitas. Bakteri yang sinergis ditunjukkan dengan tidak terbentuknya area bening pada cawan petri yang telah dilakukan *streak*. Tidak terbentuknya zona bening menandakan bahwa tidak adanya persaingan wilayah hidup, nutrisi atau menghambatnya produksi metabolit sekunder (Umadi *et al.*, 2023).

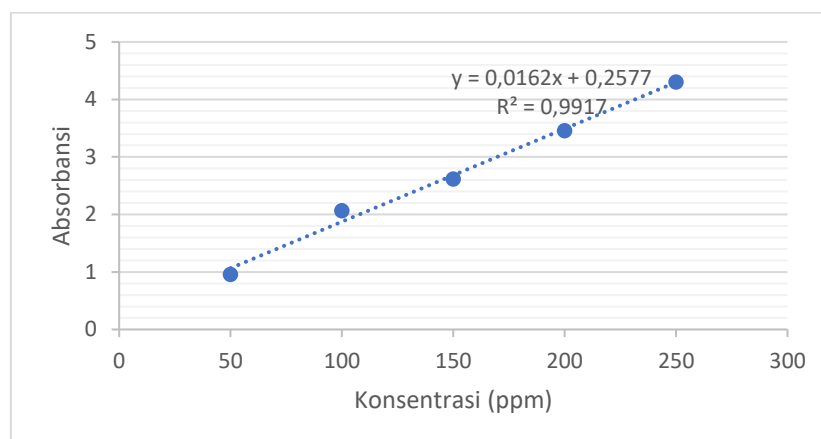
Tabel 2. Uji kompatibilitas

Isolat	Kompatibilitas
A,B,C	√
CB1,CB2,CMBC	√
A,B,C,CB1,CB2,CMBC	√

Keterangan: √ (kompatibilitas)

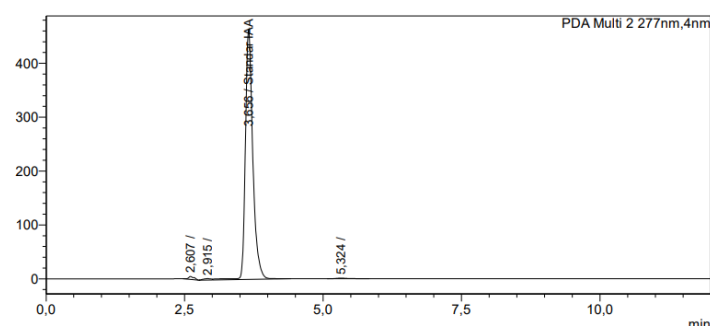
Analisis Hormon Auksin secara Kuantitatif

Tujuan pembuatan kurva standar auksin untuk memperoleh persamaan dalam menghitung konsentrasi sampel. Standar larutan auksin murni dimulai dari 50-250 ppm yang dibuat dari auksin sintetik. Pengukuran standar menggunakan HPLC dengan panjang gelombang 277 nm. Sumbu x merupakan parameter standar konsentrasi, sedangkan sumbu y merupakan parameter luas area absorbansi. Hasil pengukuran diperoleh persamaan $y = 0,0162x + 257717$ dengan nilai regresi 0.9917 (Gambar 2).



Gambar 2. Kurva standar auksin

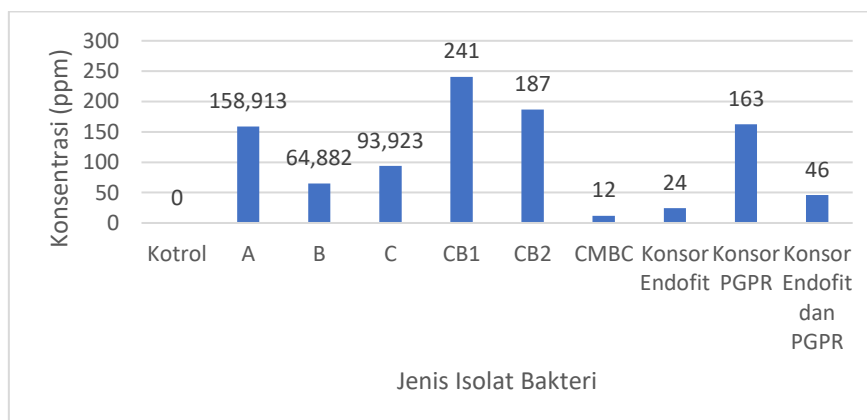
Pada gambar 3 merupakan kurva kromatogram larutan standar 250 ppm yang dianalisis menggunakan HPLC, terjadi puncak IAA pada rentang waktu menit ke 3,5 sampai 4,5.



Gambar 3. Kromatogram larutan standar auksin 250 ppm

Berdasarkan histogram konsentrasi auksin pada gambar 4 bahwa masing-masing single bakteri endofit, konsorsium 3 bakteri endofit, dan 6 bakteri (endofit dan PGPR) menghasilkan konsentrasi hormon auksin. Konsentrasi tertinggi dihasilkan pada bakteri endofit CB1, sedangkan yang terkecil adalah konsorsium 3 bakteri endofit. Adapun rentang waktu yang dibutuhkan pada setiap isolat yaitu pada menit 3,606-3,631.

Berdasarkan histogram konsentrasi auksin pada gambar 4 dengan waktu inkubasi selama 3 hari, didapatkan hasil konsentrasi pada kontrol adalah 0 ppm, single bakteri endofit A menghasilkan 158.913 ppm, B menghasilkan 64.882 ppm, C menghasilkan 93.923 ppm. Single bakteri PGPR menghasilkan konsentrasi CB1 240,817 ppm, CB2 186,807 ppm, CMBC 11,689 ppm, konsorsium bakteri endofit 24.201 ppm, konsorsium bakteri PGPR 162,723 ppm, konsorsium 6 bakteri (3 endofit dan PGPR) menghasilkan 46.122 ppm, sedangkan untuk gambar 5 merupakan hasil dari analisis konsentrasi auksin dengan HPLC. Kemampuan dalam menghasilkan hormon auksin dipengaruhi oleh masa inkubasi. Menurut Nofiyanti & Rahayu (2023) berdasarkan hasil penelitian dengan inkubasi 2 hari, isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah menghasilkan konsentrasi produksi IAA yang lebih rendah dibandingkan dengan masa inkubasi 3 hari. Pertumbuhan yang belum optimal dapat berdampak pada berkurangnya sintesis enzim yang mengkatalis biosintesis IAA. Masa inkubasi yang optimal dalam memproduksi hormon IAA dari bakteri adalah 3 hari atau 72 jam (Anugrah *et al.*, 2021). Secara umum, biosintesis terjadi pada akhir fase ekponensial (idiofase) atau pada awal fase stasioner pertumbuhan bakteri. Pada fase eksponensial, jumlah sel bakteri meningkat yang dapat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi dalam media, sehingga meningkatkan produksi IAA. Hal ini didukung dengan pernyataan yang menyatakan bahwa biosintesis metabolit sekunder yang optimal dipengaruhi oleh melimpahnya unsur hara serta jumlah karbon dan oksigen yang cukup (Nofiyanti & Rahayu, 2023).

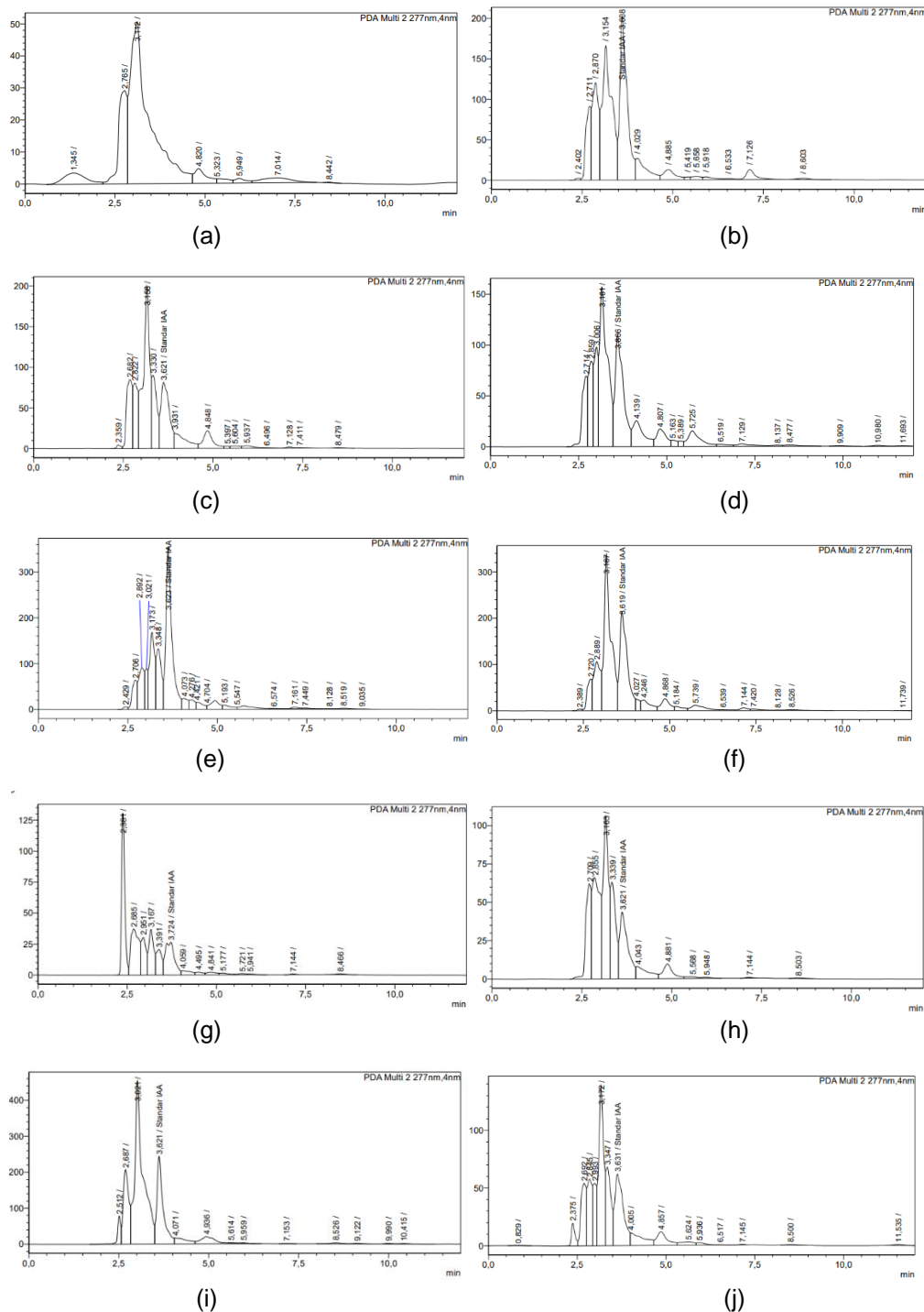


Gambar 4. Konsentrasi hormon auksin

Penggunaan konsorsium mikroba akan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan isolat tunggal, Hal tersebut dikarenakan kerja enzim dari tiap jenis mikroba dapat saling melengkapi untuk dapat bertahan hidup menggunakan sumber nutrisi yang tersedia dalam media pembawa tersebut (Asshyidiqie *et al.*, 2023). Berdasarkan hasil penelitian, data konsorsium bakteri memiliki konsentrasi yang lebih kecil dibandingkan dengan isolat bakteri tunggal. Menurut Valentina *et al.* (2018), Hal tersebut disebabkan karena pertumbuhan bakteri tidak signifikan atau cenderung lambat, salah satu faktor penyebabnya adalah tekanan osmotik larutan media yang dapat mempengaruhi metabolisme pada pertumbuhan bakteri. Meski demikian, beberapa bakteri masih dapat bertahan pada kondisi tekanan osmotik tinggi maupun rendah. Apabila bakteri diletakkan pada larutan hipertonis, maka selnya akan mengalami proses plasmolisis. Plasmolisis merupakan terkelupasnya membran sitoplasma dari sel akibat pengkerutan dinding sel. Sebaliknya bila bakteri diletakkan pada larutan hipotonis, maka sel bakteri tersebut akan mengalami proses plasmotipsa. Plasmotipsa merupakan pecahnya sel karena terlalu banyak cairan yang masuk dalam sel sehingga sel mengalami pembengkakan dan akhirnya pecah.

Media yang digunakan untuk analisis auksin adalah media nutrient broth (NB). Penambahan L-triptofan berfungsi menstimulasi bakteri dalam memproduksi auksin. L-triptofan adalah prekursor

biosintesis auksin pada bakteri maupun tanaman. L-triptofan dapat ditemukan dari tanaman atau sel yang rusak. Tanpa penambahan L-triptofan, isolat bakteri dapat memproduksi hormon auksin yaitu melalui jalur triptofan independent. Biosintesis auksin memiliki jalur secara dependent dan independent, keduanya terjadi pada tanaman maupun mikroorganisme. Saat ini, jalur yang bergantung pada triptofan telah dipelajari lebih luas dibandingkan jalur yang tidak bergantung pada triptofan. Jalur bakteri yang bergantung pada triptofan yang dibagi menjadi tiga jalur: jalur indole-3-piruvat (IPA), jalur indole-3-acetamide (IAM), dan jalur indole-3-acetonitrile (IAN) (Aji & Lestari, 2020).



Gambar 5. Kromatogram konsentrasi auksin dengan HPLC [a (kontrol); b (bakteri endofit a); c (bakteri endofit b); d (bakteri endofit c); e (bakteri PGPR cb1); f (bakteri PGPR cb2); g (bakteri PGPR CMBC); h (konsorsium 3 bakteri endofit); i (konsorsium bakteri PGPR); j (konsorsium 6 bakteri)]

Pada konsentrasi konsorsium 3 bakteri endofit, 3 bakteri PGPR dan konsorsium bakteri (3 endofit dan 3 PGPR) yang dihasilkan tidak berbanding lurus dengan uji kompatibilitas, pada uji kompatibilitas yang dilakukan tidak terdapat zona bening. Bakteri yang sinergis ditunjukkan dengan tidak terbentuknya zona bening pada cawan petri yang telah dilakukan streak. Tidak terbentuknya zona bening menandakan bahwa tidak terjadi persaingan nutrisi, persaingan ruang hidup, atau produksi metabolit sekunder yang menghambat bakteri lain. Dengan demikian, konsentrasi yang dihasilkan seharusnya lebih besar jika dibandingkan dengan single bakteri. Umumnya, konsorsium mikrob akan memperlihatkan hasil yang lebih baik dibandingkan isolat tunggal, hal tersebut dikarenakan setiap mikrob mampu memproduksi metabolit sekunder atau enzim yang saling melengkapi untuk mendorong pertumbuhan mikrob (Aprilia & Aini, 2022).

Pada penelitian ini menunjukkan hasil yaitu bakteri endofit dan PGPR merupakan faktor agen hayati yang dapat memicu pertumbuhan tanaman. Pentingnya peran bakteri endofit dimanfaatkan sebagai peluang untuk mengembangkan isolat sebagai pupuk hayati untuk meningkatkan produktivitas cabai. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan produksi auksin dan mengetahui identitas masing-masing isolat.

KESIMPULAN

Disimpulkan bawa isolat bakteri endofit (A,B,C), bakteri PGPR (CB1,CB2,CMBC) konsorsium bakteri endofit, konsorsium bakteri PGPR, dan konsorsium 6 bakteri (3 endofit dan 3 PGPR) dari akar tanaman cabai merah keriting (*Capsicum annum* L.) mampu menghasilkan hormon tumbuh auksin. Berdasarkan ciri makroskopis maupun mikroskopis yang dihasilkan oleh isolat bakteri endofit dan PGPR dari akar tanaman cabai merah keriting yang mampu memproduksi hormon auksin menunjukkan ciri yang berbeda-beda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini mendapatkan pendanaan dari LPDP melalui skema pendanaan Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) gelombang I dengan No SK 1/II.7/HK/2024, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada *Integrated Laboratory of Bioproduct* (iLaB) BRIN Cibinong atas bantuan finansial yang diberikan dalam penelitian ini. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada Bapak Ikhsan Guswenrivo, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Dr. Ateng Supriatna, M.Si atas saran serta panduan akademik dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, N., Purnawati, A., & Prasetyawati, E.T. (2022). Potensi Konsorsium *Bacillus* spp. dan *Pseudomonas Fluorescens* untuk Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium pada Tanaman Cabai Rawit. *Plumula: Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.33005/plumula.v10i1.64>
- Aji, O.R., & Lestari, I.D. (2020). Bakteri Endofit Tanaman Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) Penghasil Asam Indol Asetat (AIA). *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 13(2), 179-191. <https://doi.org/10.15408/kauniyah.v13i2.13044>
- Anugrah, F.A., Fanany, R., Putra, S.A., Masita, R., & Safitri, D.Y. (2021). Indole acetic acid (IAA) hormone production by endophytic bacteria isolate from Cinchona plant (*Cinchona ledgeriana* Moens.) root. *AIP Conference Proceedings*, 2353. <https://doi.org/10.1063/5.0052923>
- Aprilia, A.D., & Aini, L.Q. (2022). Pengujian Konsorsium Bakteri Antagonis untuk Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium pada Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) di Kecamatan Dampit, Kabupaten Malang. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 10(1), 29-38. <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2022.010.1.4>
- Althaf, M.A.S., Irdawati, & Advinda, L. (2023). Synergism Study of the Alkalo Bacterial Biculture Consortium Thermophilic from Sapan River Aro Hot Springs. *Serambi Biologi*, 8(2), 129-133.

- Astriani, M., & Murtiyaningsih, H. (2018). Pengukuran Indole-3-Acetic Acid (IAA) pada *Bacillus* sp dengan Penambahan L-Tryptopan. *Bioeduscience*, 2(2), 116-121. <https://doi.org/10.29405/j.bes/22116-1212233>
- Ayesha, C., Advinda, L., Violita, Handayani, D., & Putri, D.H. (2023). Potensi *Pseudomonas fluorescens* sebagai bakteri pemacu pertumbuhan tanaman. *Serambi Biologi*, 8(1), 98-103.
- Cokrowati, N., & Diniarti, N. (2019). Komponen *Sargassum aquifolium* sebagai Hormon Pemacu Tumbuh untuk *Eucheuma Cottonii*. *Jurnal Biologi Tropis*, 19(2), 316-321. <https://doi.org/10.29303/jbt.v19i2.1107>
- Jinus, J., Prihastanti, E., & Haryanti, S. (2012). Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) Root-Up dan Super-GA terhadap Pertumbuhan Akar Stek Tanaman Jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq). *Jurnal Sains dan Matematika Universitas Diponegoro*, 20(2), 35-40. <https://www.neliti.com/publications/140741/>
- Hamidah, M.N., Rianingsih, L., & Romadhon, R. (2019). Aktivitas Antibakteri Isolat Bakteri Asam Laktat Dari Peda dengan Jenis Ikan Berbeda terhadap *E. coli* dan *S. aureus*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 1(2), 11-21. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2019.6742>
- Herlina, L., Pukan, K.K., & Mustikaning, D. (2016). Kajian Bakteri Endofit Penghasil IAA (*Indole Acetic Acid*) Untuk Pertumbuhan Tanaman. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 14(1), 51-58.
- Jannah, J.R., Safika, S., & Jalaluddin, M. (2017). Jumlah Koloni Bakteri Selulotik pada Sekum Ayam Kampung (*Gallus domesticus*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Veteriner*, 1(3), 558-565.
- Kalay, A.M., Hindersah, R., Ngabalin, I.A., & Jamlean, M. (2020). Pemanfaatan pupuk hayati dan bahan organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata*). *Agric, Jurnal Ilmu Pertanian*, 32(2), 129-138.
- Mariana, A., Irianto, A., & Budisantoso, I. (2023). Karakteristik Bakteri Endofit Akar Tanaman Kedelai Penghasil Hormon Tumbuh IAA. *Biotropic : The Journal of Tropical Biology*, 7(2), 35-42.
- Mogea, R.A., La Halim Putri, W.I.C., & Abubakar, H. (2022). Isolasi Bakteri Penghasil Indole Acetic Acid pada Tanaman Hortikultura di Perkebunan Prafi SP 1, Manokwari. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(1), 1-6. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.1.1>
- Nofiyanti, S.S., & Rahayu, Y.S. (2023). Isolasi Bakteri Endofit Akar Tanaman Bawang Merah (*Allium cepa* L.) sebagai Penghasil Hormon Indole-3-Acetic Acid (IAA). *Lentera Bio*, 12(2), 162-171. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/article/view/22059/9155>
- Oktavia, N., & Pujiyanto, S. (2018). Isolasi dan Uji Antagonisme Bakteri Endofit Tapak Dara (*Catharanthus roseus* L.) terhadap Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *J. Berkala Bioteknologi*, 1(1), 6-12.
- Panjaitan, F.J., Bachtiar, T., Arsyad, I., Lele, O.K., & Indriyani, W. (2020). Karakterisasi mikroskopis dan uji biokimia bakteri pelarut fosfat (bpf) dari rhizosfer tanaman jagung fase vegetatif. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Lingkungan*, 1(10), 9-17.
- Pradana, A.P., Mardhiana, Suriana, Adiwena, M., & Yousif, A.I.A. (2022). Formula Bakteri Endofit untuk Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Jagung pada Tanah Masam Podsolik Merah-Kuning. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 22(1), 30-41. <https://doi.org/10.25047/jii.v22i1.3091>
- Rafif, M., Alfizar, & Hakim, L. (2023). Eksplorasi bakteri endofit pada tanaman padi dari Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(4), 964-976. www.jim.usk.ac.id/JFP
- Resti, Z., Eri, S., & Reflin. (2018). Konsorsium bakteri endofit sebagai pengendali hayati *Ralstonia solanacearum* dan pemacu pertumbuhan tanaman cabai. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiv Indonesia*, 4, 208-214. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m040219>
- Rizqiyah, N., Zulkifli, L., & Ramdani, A. (2022). Isolation of endophytic bacteria from the roots of *Gliricidia sepium* and their ability as IAA-producing bacteria and phosphate solubilizers. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(3), 723-731. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i3.3790>
- Setiawan, A. (2022). Keanekaragaman Hayati Indonesia: Masalah dan Upaya Konservasinya. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(1), 13-21. <https://doi.org/10.15294/ijc.v11i1.34532>
- Sharfina, F.D., Mulyana, N.R., Rahmadhana, N., Nurita, F.D., Rahayu, Y.S., & Dewi, S.K. (2021). Perbandingan Aktivitas Auksin Alami dengan Auksin Sintetis terhadap Pertumbuhan Akar Sawi

- Hijau (*Brassica juncea* L.) secara Hidroponik. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 1(2), 725-733.
- Sondang, Y., Anty, K., & Siregar, R. (2020). Potensi Konsorsium Bakteri Pemacu Pertumbuhan sebagai Bahan Aktif Pupuk Organik Hayati pada Tanaman Jagung. *Agritech*, 22(2), 110-118.
- Taghavi, S., Garafola, C., Monchy, S., Newman, L., Hoffman, A., Weyens, N., Barac, T., Vangronsveld, J., & van der Lelie, D. (2009). Genome survey and characterization of endophytic bacteria exhibiting a beneficial effect on growth and development of poplar trees. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(3), 748-757. <https://doi.org/10.1128/AEM.02239-08>
- Tumanduk, R., Massi, M.N., Agus, R., & Hamid, F. (2023). Analisis residu amoksisilin pada hepar dan ventrikulus ayam petelur di Pasar Tradisional Makassar. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 14(2), 20-28.
- Umadi, S.S., Ilyas, S., & Widyastuti, R. (2023). Karakterisasi dan Viabilitas Bakteri Penambat Nitrogen dan Bakteri Pelarut Fosfat dalam Media Pembawa Biochar. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 25(2), 40-45. <https://doi.org/10.29244/jitl.25.2.40-45>
- Valentina, F., Yuliani, Y., & Lisdiana, L. (2018). Potensi Konsorsium Dua Isolat Bakteri Endofit dari Akar Tanaman Ubi Jalar var. Papua patippi dalam Menghasilkan Hormon Indole-3-Acetic-Acid (IAA). *Lentera Bio*, 7(1), 20-27.
- Zuraidah, Z., Wahyuni, D., & Astuty, E. (2020). Karakteristik Morfologi dan Uji Aktivitas Bakteri Termofilik dari Kawasan Wisata Ie Seuum (Air Panas). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 11(2), 40-47.