

## Isolasi Bakteri Endofit Akar Tanaman Bawang Merah (*Allium cepa* L.) sebagai Penghasil Hormon *Indole-3-Acetic Acid* (IAA)

### *Isolation of Indole-3-Acetic Acid (IAA) Producing Endophytic Bacteria from Shallot (*Allium cepa* L.) Root*

Safinatus Sabrina Nofiyanti\*, Yuni Sri Rahayu

Program Studi Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Surabaya

\*e-mail: [safinatusabrina10@gmail.com](mailto:safinatusabrina10@gmail.com)

**Abstrak.** Penelitian untuk mengisolasi bakteri endofit penghasil IAA dari berbagai tanaman diperlukan karena tanaman yang berbeda dapat menunjukkan jenis dan kemampuan bakteri endofit dalam menghasilkan IAA yang berbeda pula, termasuk tanaman bawang merah (*Allium cepa* L.). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi bakteri endofit akar tanaman bawang merah, serta mengetahui kemampuannya dalam menghasilkan hormon IAA secara kualitatif dan kuantitatif. Karakterisasi berupa morfologi koloni, sifat gram, bentuk dan susunan sel. Kemudian, pengujian kemampuan bakteri menghasilkan IAA secara kualitatif dan kuantitatif berturut-turut menggunakan metode *Salkowski* dan spektrofotometri. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 12 isolat bakteri endofit akar bawang merah yang mampu menghasilkan hormon IAA dengan rata-rata konsentrasi sebesar 15,180 ppm (A63); 13,256 ppm (A62); 10,228 ppm (A51); 9,952 ppm (B51); 9,241 ppm (B61); 8,662 ppm (C51); 7,326 ppm (B52); 6,703 ppm (C52); 6,272 ppm (C61); 6,158 ppm (A61); 6,005 ppm (C53); dan 5,018 ppm (B53). Isolat bakteri tersebut mampu menghasilkan IAA secara optimal pada hari ketiga inkubasi (6,006 - 23,391 ppm). Isolat bakteri endofit dengan konsentrasi tertinggi berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman bawang merah dalam rangka upaya peningkatan produktivitas tanaman bawang merah.

**Kata Kunci:** *Allium cepa*; bakteri endofit akar; IAA; isolasi; karakterisasi.

**Abstract.** Research to isolate IAA-producing endophytic bacteria from various plants is necessary because each plant can show different types and abilities of endophytic bacteria to produce IAA, including shallots (*Allium cepa* L.). Therefore, this study aimed to isolate and characterize the endophytic bacteria from shallot root, then to determine its ability to produce IAA qualitatively and quantitatively. The characterization were based on colony morphology, gram bacteria, shape, and arrangement of cells. Ability of bacteria to produce IAA was tested qualitatively and quantitatively using *Salkowski* method and spectrophotometry. The results showed that there were 12 isolates of shallot root endophytic bacteria capable of producing the IAA hormone with average concentration of 15.180 ppm (A63); 13.256 ppm (A62); 10.228 ppm (A51); 9.952 ppm (B51); 9.241 ppm (B61); 8.662 ppm (C51); 7.326 ppm (B52); 6.703 ppm (C52); 6.272 ppm (C61); 6.158 ppm (A61); 6.005 ppm (C53); and 5.018 ppm (B53). The bacterial isolates were produced IAA optimally after third day of incubation (6.006-23.391 ppm). Endophytic bacterial isolates with the highest concentrations have the potential to be used as growth promoters to increase productivity.

**Keywords:** *Allium cepa*; root endophytic bacteria; IAA; isolation; characterization.

## PENDAHULUAN

*Indole-3-Acetic Acid* (IAA) merupakan fitohormon auksin yang terlibat dalam berbagai mekanisme pertumbuhan tanaman seperti pembentukan akar lateral, diferensiasi sel (Herlina *et al.*, 2016), pembelahan sel, pembentukan dan perkembangan tunas (Patma *et al.*, 2013). IAA dapat diproduksi sendiri oleh tanaman, maupun dihasilkan oleh mikroorganisme (Duca *et al.*, 2014).

Salah satu mikroorganisme yang berpotensi memproduksi IAA adalah bakteri endofit (Gusmaini *et al.*, 2013). Bakteri ini termasuk dalam bakteri endosimbiotik yang tumbuh dan berkembangbiak di dalam berbagai jaringan hidup pada organ tumbuhan (Singh dan Dubey, 2015). Sebagian besar bakteri endofit bersimbiosis mutualisme dengan tanaman inangnya dengan interaksi berupa bakteri endofit yang memperoleh perlindungan dan tempat bertahan hidup, sedangkan

tanaman inang memperoleh hasil metabolit bakteri yang dapat membantu proses fisiologisnya (Nair dan Padmavathy, 2014).

Salah satu komoditi pertanian yang berpengaruh penting pada kondisi ekonomi Indonesia adalah bawang merah. Hal ini karena kebutuhannya yang terus meningkat di Indonesia hingga tahun 2023 berdasarkan proyeksi dari tahun ke tahun yang sejalan dengan pertambahan angka penduduk, perkembangan industri berbahan baku bawang merah, dan perluasan pasar distribusi (Pusdatin, 2021). Namun, kuantitas produksi lokal masih belum bisa mengimbangi jumlah konsumsi bawang merah tersebut, terutama ketika di luar musim panen yang disebabkan oleh sering terjadinya penurunan produktivitas bawang merah pada tiap tahunnya (BPS, 2020). Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah melalui peningkatan produktivitas bawang merah, salah satunya dengan memanfaatkan bakteri endofit yang menghasilkan hormon IAA untuk meningkatkan pertumbuhan.

Penelitian oleh Anggara *et al.*, (2014) membuktikan bahwa isolat bakteri endofit yang diperoleh dari akar tanaman ubi jalar dapat mensintesis IAA sebesar 0,0098 - 0,5525 ppm. Penelitian lain yang mengisolasi bakteri endofit dari kulit batang tanaman raru menunjukkan isolat bakteri yang ditemukan mampu menghasilkan IAA hingga konsentrasi 2 ppm (Tanjung *et al.*, 2015). Terdapat penelitian lain yang dilakukan oleh Aji dan Lestari (2020) yang membuktikan bahwa bakteri endofit tanaman jeruk nipis mampu menghasilkan hormon IAA yang mencapai 6,51 ppm. Penelitian lain juga menunjukkan bakteri endofit terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui kemampuannya dalam menghasilkan IAA pada beberapa tanaman seperti kakao (Khaeruni *et al.*, 2020), padi (Lestari *et al.*, 2015), kunyit putih (Widowati, *et al.*, 2019), dan akar terung (Saridewi, 2020).

Aplikasi bakteri endofit sebagai penghasil hormon IAA terbukti dapat berpengaruh nyata dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman tomat yang kemungkinan disebabkan oleh kemampuannya dalam menghasilkan hormon IAA (Munif *et al.*, 2012). Hasil tersebut juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Zuhra *et al.*, (2017) yang membuktikan bahwa aplikasi bakteri endofit dari akar tanaman cabai berpengaruh secara nyata terhadap pertumbuhan akar, sedangkan bakteri endofit dari batang jagung mampu meningkatkan tinggi tanaman cabai dan jumlah panennya. Penelitian lain yang dilakukan oleh Puspita *et al.* (2018) juga menunjukkan adanya pengaruh aplikasi bakteri endofit dari tanaman kelapa sawit terhadap pertumbuhan tinggi, diameter batang, jumlah daun dan luas daun tanaman kakao.

Bakteri endofit yang tumbuh dalam keadaan biotik dan abiotik yang berbeda, akan menunjukkan kemampuan menghasilkan IAA yang berbeda pula termasuk dengan bagaimana isolat yang dapat ditemukan (Munif *et al.*, 2012). Pada penelitian ini, bakteri endofit diperoleh dari akar tanaman bawang merah melalui teknik isolasi, lalu dikarakterisasi morfologinya, kemudian diuji potensinya dalam menghasilkan IAA secara kualitatif dan kuantitatif. Karakterisasi bertujuan utama untuk mengetahui karakteristik dari tiap-tiap isolat yang memiliki kemampuan menghasilkan IAA secara kualitatif dan kuantitatif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil isolasi bakteri endofit akar tanaman bawang merah beserta karakterisasinya, dan kemampuannya menghasilkan hormon IAA secara kualitatif dan kuantitatif.

## BAHAN DAN METODE

Jenis penelitian ini adalah deskriptif observasional yang dilaksanakan pada Oktober hingga Desember 2022. Kegiatan penelitian berupa isolasi dan karakterisasi bakteri endofit akar bawang merah dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Universitas Negeri Surabaya, sedangkan pengukuran kemampuan isolat dalam menghasilkan hormon IAA dilakukan di Laboratorium Biologi Molekuler, Universitas Negeri Surabaya.

Alat yang dibutuhkan untuk pengukuran konsentrasi hormon IAA adalah spektrofometer UV-Vis 1900. Adapun bahan yang dibutuhkan terdiri atas: sampel akar tanaman bawang merah; akuades steril; NaOCl 5% dan alkohol 70% untuk sterilisasi sampel akar; *Nutrient Agar* (NA) untuk media isolasi dan karakterisasi bakteri; *Nutrient Broth* (NB), L-triptofan, dan reagen *Salkowski* untuk uji kemampuan menghasilkan IAA oleh isolat; kristal violet, lugol, alkohol 96%, dan safranin untuk uji pewarnaan gram; dan minyak emersi untuk pengamatan mikroskopis.

Proses penelitian diawali dengan pengambilan sampel tanaman bawang merah varitas Batu berusia dua bulan dari lahan Probolinggo, Provinsi Jawa Timur dengan cara diaklimatisasi terlebih dahulu di dalam *polibag* lalu dibawa ke Laboratorium (Umamaheswari, *et al.*, 2013). Sampel akar disterilisasi dengan cara merendamnya pada: alkohol 70% selama  $\pm 1$  menit, NaOCl 5% selama  $\pm 3$  menit, alkohol 70% selama  $\pm 30$  detik. Kemudian dilakukan pembilasan dengan akuades steril hingga alkohol tidak menempel lagi (Zaid *et al.*, 2012). Selanjutnya, sampel akar dihomogenisasi dalam mortar dan alu

steril di dalam LAF (*laminar air flow*), lalu dilarutkan sebanyak 1 gram ke dalam 9 ml akuades dan dilakukan pengenceran bertingkat hingga  $10^{-6}$ .

Sebanyak 1 ml dari hasil pengenceran  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$  masing-masing ditanam di media *Nutrient Agar* menggunakan metode *pour plate* lalu dilakukan inkubasi pada suhu 25 - 30°C selama 48 jam. Selanjutnya, isolat yang berhasil tumbuh diamati diversitasnya untuk dipurifikasi dengan waktu inkubasi 24 jam. Isolat tersebut dikarakterisasi berdasarkan morfologi koloni (bentuk, tepi, elevasi, warna, optik, tekstur) dan diuji pewarnaan gram serta diamati bentuk dan susunan selnya dibawah mikroskop perbesaran 1000x.

Uji kemampuan menghasilkan IAA diawali dengan menanam isolat yang berhasil ditemukan pada media NB yang dilarutkan dengan L-triptofan 0,1 gram/L, dengan proses inkubasi pada suhu ruang. Selama waktu inkubasi kultur bakteri, sebanyak 2 ml supernatan diambil pada 2, 3, 4, dan 5 hari untuk dilarutkan dengan 1 ml reagen *Salkowski*. Lalu, larutan tersebut disimpan 30 menit pada ruang gelap. Pengambilan supernatan dilakukan dengan cara mengendapkan sel bakteri menggunakan sentrifugasi 6000 rpm selama 20 menit. Perkembangan warna merah muda dianggap positif untuk produksi IAA (Kafrawi *et al.*, 2017).

Untuk pengujian secara kuantitatif, diperlukan kurva standar IAA yang dibuat menggunakan larutan IAA konsentrasi bertingkat (0 ppm; 0,5 ppm; 1 ppm; 5 ppm; 10 ppm; 20 ppm; 30 ppm; 40 ppm). Selanjutnya, reaksi antara supernatan dengan reagen *Salkowski* dilakukan dengan perbandingan volume sebesar 2:1 (Sudewi *et al.*, 2020). Setiap nilai absorbansi yang diperoleh akan menghasilkan persamaan regresi dengan bentuk:

$$y = mx + n$$

Keterangan:

y = absorbansi (A)  
m = koefisien regresi  
x = IAA (ppm)  
n = interstep

Isolat yang menunjukkan hasil positif dilanjutkan untuk uji secara kuantitatif melalui pengukuran absorbansi pada gelombang 530 nm menggunakan spektrofometer, sehingga dapat diketahui nilai konsentrasinya berdasarkan kurva standar IAA yang telah dibuat. Pengujian tersebut dilakukan setiap hari pada masa inkubasi 2 - 5 hari. Selanjutnya, analisis data dilakukan secara deskriptif terkait isolasi, karakterisasi, serta kemampuan tiap isolat menghasilkan hormon IAA secara kualitatif dan kuantitatif.

## HASIL

Hasil isolasi yang dilakukan pada tiga tanaman bawang merah (A, B, dan C) varietas Batu dapat diperoleh 12 isolat bakteri endofit penghasil IAA yaitu isolat A61, A62, A63, A51, B61, B51, B52, B53, C61, C51, C52, dan C53. Kedua belas isolat tersebut diperoleh berdasarkan perbedaan morfologi koloninya (bentuk, tepi, elevasi, warna, optik, serta tekstur). Setelah itu, dilakukan pewarnaan gram, sehingga diperoleh hasil pengamatan karakterisasi sifat gram, bentuk, dan susunan sel (Tabel 1).

Hasil pengamatan karakterisasi isolat bakteri menunjukkan bentuk koloni: *round*, *irregular*, *rhizoid*, dan *filamentous*; tepi koloni: *entire*, *lobate*, *irregular*, *branching*, dan *undulate*; elevasi yang *raised*, *flat*, *convex*, dan *umbonate*; tekstur halus; warna putih, putih kekuningan, dan kuning; dan optik *opaque* dan *translucent*. Sementara itu, hasil uji pewarnaan gram menunjukkan seluruh isolat merupakan bakteri gram negatif (-) karena tampak berwarna merah muda di bawah mikroskop dengan bentuk sel *coccus* dan *bacil*, serta susunan sel *mono*, *strepto*, dan *staphylo* (Tabel 1).

Dua belas isolat yang ditemukan diuji kemampuannya dalam menghasilkan hormon IAA secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil uji kualitatif menunjukkan seluruh isolat positif sebagai penghasil IAA yang ditandai dengan pembentukan warna merah muda setelah mereaksikan reagen *Salkowski* pada semua sampel supernatan isolat yang dikultur pada media *Nutrien Broth* (NB) + 0,1 mg/L L-triptofan (Kafrawi *et al.*, 2017) dengan hasil tampak pada Gambar 1.

**Tabel 1.** Karakteristik morfologi isolat bakteri endofit pada akar tanaman bawang merah (*Allium cepa* L.)

| Isolat | Bentuk koloni | Tepi koloni | Elevasi koloni | Tekstur koloni | Warna koloni | Optik koloni | Sifat Gram | Bentuk dan susunan sel |
|--------|---------------|-------------|----------------|----------------|--------------|--------------|------------|------------------------|
| A61    | Round         | Entire      | Convex         | Halus          | Putih        | Opaque       | -          | Monobacil              |
| A62    | Rhizoid       | Branching   | Raised         | Halus          | Putih        | Trans.       | -          | Monococcus             |
| A63    | Filamentous   | Lobate      | Flat           | Halus          | Putih        | Trans.       | -          | Monooccus              |
| A51    | Irregular     | Irregular   | Flat           | Halus          | Putih        | Opaque       | -          | Staphylococcus         |
| B61    | Irregular     | Lobate      | Flat           | Halus          | Putih        | Trans.       | -          | Streptooccus           |
| B51    | Round         | Entire      | Raised         | Halus          | Putih-kuning | Opaque       | -          | Staphylococcus         |
| B52    | Irregular     | Irregular   | Flat           | Halus          | Putih        | Opaque       | -          | Streptococcus          |
| B53    | Round         | Entire      | Convex         | Halus          | Putih-kuning | Opaque       | -          | Monobacil              |
| C51    | Irregular     | Undulate    | Umbonate       | Halus          | Putih        | Opaque       | -          | Monococcus             |
| C52    | Irregular     | Lobate      | Raised         | Halus          | Putih-kuning | Opaque       | -          | Monococcus             |
| C53    | Round         | Entire      | Raised         | Halus          | Kuning       | Opaque       | -          | Monobacil              |
| C61    | Round         | Entire      | Raised         | Halus          | Putih        | Opaque       | -          | Monococcus             |

Keterangan : \*A6 =kode isolat bakteri endofit tanaman A pengenceran 10<sup>-6</sup>

\*A5 =kode isolat bakteri endofit tanaman A pengenceran 10<sup>-5</sup>

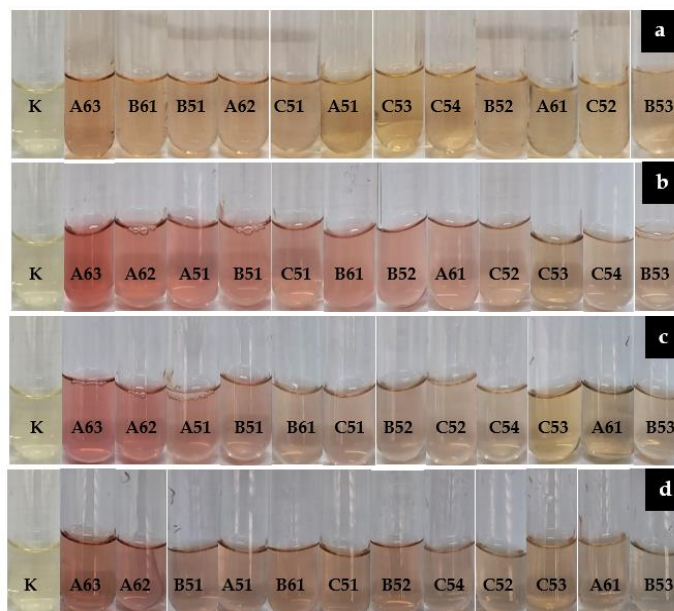
\*B6 =kode isolat bakteri endofit tanaman B pengenceran 10<sup>-6</sup>

\*B5 =kode isolat bakteri endofit tanaman B pengenceran 10<sup>-5</sup>

\*C6 =kode isolat bakteri endofit tanaman C pengenceran 10<sup>-6</sup>

\*C5 =kode isolat bakteri endofit tanaman C pengenceran 10<sup>-5</sup>

\*berlaku untuk semua tabel dan gambar



**Gambar 1.** Pembentukan warna merah muda pada uji kualitatif IAA pada waktu inkubasi berbeda.  
a) 2 hari; b) 3 hari; c) 4 hari; d) 5 hari.

Hasil uji kualitatif menunjukkan seluruh isolat postitif sebagai bakteri endofit penghasil IAA dengan kemampuan yang cukup beragam berdasarkan perbedaan warnanya. Isolat A63 memiliki warna terpekat, sedangkan isolat B53 memiliki warna terpuar pada seluruh hasil pengamatan. Namun, beberapa isolat memiliki warna yang serupa sehingga belum bisa ditentukan kemampuannya dalam menghasilkan hormon IAA secara pasti. Apabila dilihat dari berdasarkan masa inkubasinya, warna merah yang dihasilkan setiap isolat cenderung pekat pada inkubasi hari ketiga, lalu memudar pada hari keempat dan kelima (Gambar 1).

Uji kuantitatif kemampuan bakteri endofit akar tanaman bawang merah dalam menghasilkan hormon IAA menggunakan kurva standar IAA dengan persamaan regresi  $y = 0,04242x - 0,043601$  ( $R = 0,9865$ ) sebagai standar pengukuran. Selanjutnya, konsentrasi IAA dari sampel isolat bakteri diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 530 nm. Hasil pengujian yang dilakukan pada masa inkubasi 2-5 hari dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Konsentrasi IAA rata-rata yang diproduksi oleh isolat selama 2 – 5 hari waktu inkubasi

| Isolat     | Konsentrasi IAA Hari ke- |               |               |              | Rata-rata     |
|------------|--------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
|            | 2                        | 3             | 4             | 5            |               |
| A61        | 5,973                    | <b>8,680</b>  | 5,553         | 4,426        | 6,158         |
| A62        | 9,599                    | <b>19,550</b> | 15,202        | 8,674        | 13,256        |
| <b>A63</b> | <b>11,802</b>            | <b>23,391</b> | <b>15,590</b> | <b>9,936</b> | <b>15,180</b> |
| A51        | 6,369                    | <b>14,478</b> | 12,631        | 7,434        | 10,228        |
| B61        | 7,776                    | <b>12,320</b> | 10,478        | 6,389        | 9,241         |
| B51        | 7,775                    | <b>13,596</b> | 10,941        | 7,497        | 9,952         |
| B52        | 6,156                    | <b>9,610</b>  | 7,409         | 6,130        | 7,326         |
| B53        | 5,514                    | <b>6,066</b>  | 5,046         | 3,942        | 5,018         |
| C61        | 6,261                    | <b>6,873</b>  | 6,369         | 5,583        | 6,272         |
| C51        | 7,055                    | <b>12,969</b> | 8,404         | 6,219        | 8,662         |
| C52        | 5,787                    | <b>8,242</b>  | 7,238         | 5,543        | 6,703         |
| C53        | 6,324                    | <b>7,081</b>  | 5,971         | 4,644        | 6,005         |

\*)cetak tebal menunjukkan konsentrasi tertinggi

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa konsentrasi IAA tertinggi dihasilkan oleh isolat A63 dengan nilai rata-rata sebesar 15,180, lalu diikuti oleh isolat, A62, A51, B51, B61, C51, B52, C52, C61, A61, C53, dan B53 dengan nilai rata-rata konsentrasi hormon IAA berturut-turut dari yang tertinggi ke terendah sebesar 15,180; 10,228; 9,952; 9,241; 8,662; 7,326; 6,703; 6,272; 6,158; 6,005; dan 5,018 ppm (Tabel 2). Hasil uji kualitatif sejalan dengan uji kuantitatif menunjukkan isolat bakteri endofit mengalami peningkatan produksi hormon IAA dari 2 hari inkubasi (5,514–11,802 ppm) ke 3 hari inkubasi (6,006–23,391 ppm), lalu cenderung menurun pada hari ke-4 inkubasi (5,046–15,590 ppm) dan hari ke-5 inkubasi (3,942 – 9,936 ppm), dengan kisaran penurunan yang dialami sebesar 0,5–8 ppm (Gambar 2).

## PEMBAHASAN

Bakteri endofit penghasil IAA merupakan bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman dengan kemampuan untuk memproduksi hormon IAA yang dapat membantu proses pertumbuhan tanaman (Gaiero *et al.* 2013). Bakteri endofit dapat menghasilkan senyawa yang sama seperti yang dihasilkan oleh tanaman inangnya, sehingga hasil isolasi bakteri endofit dapat berbeda tergantung dari spesies tanaman inang (Kusumawanti *et al.*, 2014) maupun jaringan yang digunakan untuk isolasi bakteri (Rahma *et al.*, 2019). Selain itu, lingkungan tumbuh yang berbeda juga dapat menunjukkan keberagaman bakteri endofit yang berbeda, meskipun bakteri diisolasi dari spesies tanaman yang sama (Salo dan Novero, 2020). Pada penelitian ini, isolasi bakteri endofit menggunakan akar tanaman bawang merah varietas Batu dari lahan di Kecamatan Dringu yang diambil dari suspensi akar pada pengenceran  $10^{-5}$  dan  $10^{-6}$ . Tujuan dari pengenceran tersebut adalah untuk menurunkan jumlah bakteri pada sampel yang disuspensikan pada media NA, sehingga dapat mempermudah proses pemurnian isolat bakteri (Rosmania dan Yanti, 2020).

Perolehan isolat pada penelitian ini dibedakan berdasarkan kenampakan morfologi koloni yang terlihat seperti bentuk, tepi, elevasi, ukuran, tekstur permukaan, warna, dan optik, sehingga diperoleh 12 isolat bakteri endofit akar bawang merah, antara lain: A61, A62, A63, A51, B61, B51, B52, B53, C61, C51, C52, dan C53 yang kemudian dilakukan uji pewarnaan gram (Tabel 4.1). Karakterisasi bakteri endofit penghasil hormon IAA pada berbagai tanaman juga telah banyak dilakukan seperti pada penelitian Anggara *et al.* (2014) serta Sembiring dan Sumanto (2021).

Pada uji pewarnaan gram, isolat bakteri yang digunakan berusia 24 jam. Hal ini karena kultur yang sudah lama memiliki kemungkinan menimbulkan kesalahan pada hasil yang diperoleh nantinya (Prakash *et al.*, 2012). Warna merah pada hasil uji bakteri gram negatif berasal dari pewarna safranin yang mengindikasikan bahwa bakteri tersebut memiliki membran sel dengan jumlah lipid yang tinggi dan peptidoglikan yang rendah sehingga tidak dapat berikatan dengan pewarna kristal violet yang berwarna ungu (Suarjana, *et al.*, 2017). Ini berbeda dengan bakteri gram positif yang dapat mengikat pewarna *crystal violet* karena lapisan peptidoglikan yang lebih tebal, sehingga tampak berwarna ungu ketika diamati menggunakan mikroskop (Rahma *et al.*, 2019).

Seluruh isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah mampu menghasilkan IAA. Hal ini sesuai dengan karakteristik bakteri endofit sebagai penghasil IAA tersebar secara luas pada bakteri terkolonisasi akar (Zhang *et al.*, 2019). Pada uji kemampuan bakteri dalam menghasilkan IAA, reagen *Salkowski* digunakan untuk mendeteksi adanya hormon IAA yang ditandai dengan perubahan warna menjadi merah yang menunjukkan telah terjadi oksidasi cincin indol (gugus pada senyawa IAA) (Joule

dan Mills, 2000). Penelitian lain menyebutkan bahwa warna merah yang terbentuk pada hasil uji positif berasal dari kompleks  $[\text{Fe}_2(\text{OH})_2(\text{IA})_4]$ , dimana Fe berasal dari *Salkowski* dan IA merupakan *indole-3-acetic acid* dalam supernatan bakteri (Kamnev *et al.*, 2001). Supernatan tersebut dapat mengandung senyawa aktif atau metabolit sekunder yang dihasilkan oleh bakteri selama proses inkubasi (Kaewchomphunuch, 2022). Salah satu metabolit sekunder yang banyak dihasilkan oleh bakteri endofit pada tanaman adalah adalah hormon IAA (Gang *et al.*, 2019).

Hasil uji kualitatif menunjukkan bahwa warna terpekat ditunjukkan oleh isolat A63, sedangkan warna terpuar ditunjukkan oleh isolat B53 (Gambar 4.3). Hasil uji kuantitatif menggunakan metode spektrofotometri menunjukkan bahwa isolat A63 merupakan isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah dengan kemampuan terbaik dalam menghasilkan hormon IAA, berdasarkan hasil rata-rata konsentrasinya yang mencapai 15,180 ppm. Sementara itu, kemampuan terendah dihasilkan oleh isolat B53 dengan konsentrasi sebesar 5,018 ppm (Tabel 4.2). Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Aji dan Lestari (2020) yang menyatakan bahwa warna merah yang semakin pekat menandakan bahwa semakin tinggi konsentrasi IAA yang terdapat dalam sampel uji, begitu pula sebaliknya.

Passalacqua *et al.* (2016) menunjukkan bahwa kemampuan aktivitas metabolisme suatu bakteri dapat dipengaruhi oleh fisiologi bakteri tersebut atau urutan genom yang dimilikinya, yaitu berkaitan dengan perannya untuk pengkodean enzim tertentu yang mampu mengkatalis reaksi pada aktivitas metabolisme bakteri. Apabila bakteri tidak memiliki gen tertentu yang mampu mengkodekan enzim yang berperan penting pada suatu proses metabolisme, maka proses metabolisme tersebut tidak akan terjadi (Louis *et al.*, 2007). Adanya perbedaan kemampuan masing-masing isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah dalam menghasilkan hormon IAA kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan urutan genom yang dimiliki oleh masing-masing isolat bakteri, sehingga terdapat perbedaan ketersediaan enzim untuk biosintesis IAA yang menyebabkan konsentrasi IAA yang dihasilkan juga berbeda. Adapun contoh gen yang terlibat dalam biosintesis IAA adalah gen *iaaH* yang mengkodekan enzim IAM hidrolase dan *iaaM* yang mengkodekan enzim triptofan monooksigenase pada jalur IAM (*indole-3-acetamide*), gen *ipdC* yang mengkodekan enzim *indole-3-piruvat dekarboksilase* pada jalur IPyA (*indole-3-pyruvic acid*), maupun gen-gen yang belum diketahui pada jalur biosintesis IAA lainnya (Li *et al.*, 2018).

Pada penelitian ini, media pertumbuhan bakteri endofit akar tanaman bawang merah ditambahkan dengan 0,1 mg/l L-triptofan supaya konsentrasi IAA yang dihasilkan lebih optimal. Biosintesis IAA oleh bakteri penghasil IAA dapat dipengaruhi oleh ketersediaan senyawa prekursor triptofan pada lingkungan tumbuh bakteri (Tahta dan Enny, 2015). Berdasarkan analisis terhadap genom bakteri, dapat diketahui bahwa sebagian besar bakteri mampu memproduksi IAA dari triptofan (Zhang *et al.*, 2019). Meskipun tanpa penambahan L-triptofan, sebenarnya isolat bakteri masih mampu menghasilkan hormon IAA yaitu melalui jalur triptofan independen (Tivendale *et al.*, 2014). Namun, konsentrasi IAA yang dapat dihasilkan oleh bakteri endofit cenderung lebih tinggi ketika dilakukan pemberian triptofan eksogen (Hidayatullah *et al.*, 2017; Tangapo, 2020). Meskipun demikian, setiap jenis bakteri dapat memiliki batas konsentrasi L-triptofan optimum yang berbeda untuk dapat memproduksi hormon IAA (Zhang *et al.*, 2021).

Bakteri pada lingkungan akar ditemukan menggunakan jalur triptofan dependen dengan jalur utama IAM dan TAM (*Tryptamine*) (Zhang *et al.*, 2019). Jalur IAM disebutkan sebagai jalur terbaik pada bakteri simbiotik karena dapat mensintesis IAA dari triptofan melalui dua langkah, sedangkan jalur lain setidaknya melalui tiga langkah (Spaepen *et al.*, 2007). Pada jalur IAM, triptofan akan diubah oleh triptofan monooksigenase menjadi IAM, lalu dihidrolisis oleh IAM hidrolase menjadi IAA (Duca *et al.*, 2014). Sementara itu, pada jalur *Tryptamine* (TAM) yang diawali dengan karboksilasi triptofan menjadi triptamin, lalu dioksidasi oleh amina oksidase menjadi IAAld, kemudian dioksidasi menjadi IAA (Patten dan Glick, 1996). Selain kedua jalur tersebut, beberapa penelitian telah menyebutkan bahwa jalur utama biosintesis IAA yang ditemukan pada bakteri adalah jalur IPyA (*Indole-3-pyruvic acid*) yaitu pada *Arthrobacter pascens* (Li *et al.*, 2018), *Acinetobacter baumani* (Lin *et al.*, 2018) dan *Enterobacter sp.* (Zhang *et al.*, 2021). Jalur triptofan dependen lain yang ditemukan pada bakteri adalah jalur *Tryptophan Side-chain Oxidase* (TSO) dan jalur *Indole-3-Acetonitrile* (IAN) (Zhao, 2012).

Masa inkubasi bakteri dapat memengaruhi kemampuannya dalam menghasilkan hormon IAA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada inkubasi hari ke-2, konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah berkisar antara 5,514-11,802 ppm (Tabel 4.2) yang masih lebih rendah dibandingkan konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh isolat bakteri endofit pada hari ke-3. Konsentrasi hormon IAA yang masih rendah dapat disebabkan oleh pengaruh bahwa bakteri masih berada dalam fase *lag* (adaptasi) (Iswanti *et al.*, 2018). Pada fase tersebut, bakteri masih belum

tumbuh optimal karena masih beradaptasi pada media pertumbuhan (Hamdiyati, 2011). Pertumbuhan yang belum optimal dapat memengaruhi sintesis enzim yang mampu mengkatalis biosintesis IAA menjadi lebih rendah (Louis *et al.*, 2007; Kafrawi *et al.*, 2017).

Konsentrasi hormon IAA tertinggi dapat dihasilkan oleh isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah pada masa inkubasi hari ke-3 dengan kisaran konsentrasi antara 6,066 – 23,391 ppm (Tabel 4.2). Beberapa penelitian terkait potensi bakteri endofit sebagai penghasil hormon IAA yang diisolasi dari tanaman menunjukkan bahwa inkubasi selama 3 hari merupakan waktu optimal bagi bakteri endofit untuk menghasilkan hormon IAA (Iswanti *et al.*, 2018; Anugrah *et al.*, 2021). Biosintesis metabolit sekunder dari bakteri umumnya terjadi selama fase akhir ekponensial (idiofase) atau ketika mulai menuju fase stasioner pertumbuhan bakteri (Sanchez dan Demain, 2011). Pada fase ekponensial, bakteri mengalami peningkatan jumlah sel yang dapat dipengaruhi oleh faktor tersedianya nutrisi pada media, sehingga produksi IAA juga mengalami peningkatan (Hidayatullah *et al.*, 2017). Hal ini didukung oleh pernyataan Passalacqua *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa biosintesis metabolit sekunder yang optimal dapat dipengaruhi oleh nutrisi yang melimpah serta jumlah karbon dan oksigen yang cukup. Hormon IAA sendiri termasuk dalam salah satu senyawa hasil metabolit sekunder yang dapat dihasilkan oleh bakteri endofit (Gang *et al.*, 2019).

Seluruh isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah yang ditemukan mulai mengalami penurunan produksi IAA pada inkubasi hari ke-4 (5,046–15,590 ppm), lalu semakin menurun pada hari ke-5 (3,942–9,936 ppm) (Tabel 4. 2). Hasil penelitian Arifiani dan Lisdiana (2021) menunjukkan bahwa jumlah konsentrasi IAA yang menurun sejalan dengan menurunnya jumlah sel bakteri. Hal ini sejalan dengan penelitian terhadap bakteri *Streptomyces* sp. yang menunjukkan pertumbuhan bakteri sejalan dengan produksi IAA dengan adanya penurunan setelah 96 jam (Harikrishnan *et al.*, 2014). Jumlah sel yang menurun menandakan bakteri sudah mulai memasuki fase kematian (Rohmah *et al.*, 2020) yang diduga karena keterbatasan nutrisi, pH semakin asam, dan jumlah oksigen yang tidak mencukupi (Dewi *et al.*, 2015) atau adanya senyawa metabolisme yang bersifat toksik (Lugtenberg and Kamilova, 2009). Produksi hormon IAA sudah tidak terjadi lagi ketika bakteri sudah mati, sehingga konsentrasi hormon IAA tidak mungkin dapat bertambah.

Ketersediaan nutrisi yang mulai berkurang dapat menyebabkan bakteri untuk menggunakan IAA sebagai sumber nutrisinya (Lugtenberg and Kamilova, 2009). *Acinetobacter baumannii* yang terbukti dapat menghasilkan IAA melalui jalur IpyA (Lin *et al.*, 2018) juga mampu mendegradasi IAA ketika diberikan kondisi media yang minimal nutrisi (Lin *et al.*, 2012). Hal ini didukung oleh pernyataan Ghosh *et al.* (2013) bahwa terjadinya penurunan hormon IAA dapat diakibatkan oleh pelepasan enzim pendegradasi IAA seperti IAA oksidase dan IAA peroksidase oleh bakteri. Selain itu, penelitian oleh Lebrazi *et al.* (2020) membuktikan bahwa produksi IAA oleh rhizobakteri dari akar tanaman *Acacia cyanophylla* mampu menghasilkan IAA optimal pada batas waktu tertentu lalu mengalami penurunan yang diduga akibat adanya pelepasan enzim pendegradasi IAA.

## SIMPULAN

Sebanyak 12 isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah varitas Batu antara lain A61, A62, A63, A51, B61, B51, B52, B53, C61, C51, C52, C53 terbukti mampu menghasilkan hormon IAA. Karakterisasi morfologi koloni isolat bakteri endofit yang ditemukan didominasi oleh bentuk *irregular* dan *round*, tepi *irregular*, elevasi *flat*, tekstur halus, warna putih, dan optik *opaque*. Seluruh isolat merupakan bakteri gram negatif (-) dengan bentuk sel yang ditemukan adalah *coccus* dan *bacil* serta susunan selnya *mono*, *strepto*, dan *staphylo*. Isolat bakteri endofit akar tanaman bawang merah yang ditemukan terbukti sebagai penghasil IAA dengan kemampuan terbaik dimiliki isolat A63 yang mampu menghasilkan konsentrasi IAA rata-rata sebesar 15,180 ppm pada 2, 3, 4, dan 5 hari, sedangkan isolat dengan kemampuan terendah adalah isolat B53 yang menghasilkan konsentrasi IAA rata-rata sebesar 5,018 ppm. Berdasarkan waktu inkubasinya, tiga hari inkubasi merupakan waktu optimal bagi isolat bakteri dalam menghasilkan IAA dengan kisaran konsentrasi sebesar 6,006-23,391 ppm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aji OR dan Lestari ID, 2020. Bakteri Endofit Tanaman Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) Penghasil Asam Indol Asetat (AIA). *Jurnal Biologi*; 13 (2): 179-191.
- Anggara BS, Yuliani, Lisdiana, L, 2014. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Endofit Penghasil Hormon Indole Acetic Acid dari Akar Tanaman Ubi Jalar. *LenteraBio*; 3(3): 160–167.
- Anugrah FA, Fanany R, Putra SA, Masita R, dan Safitri DY, 2021. Indole acetic acid (IAA) hormone production by endophytic bacteria isolate from Cinchona plant (*Cinchona ledgeriana* Moens.) root. *AIP Conference Proceedings* 2353; Published Online. <https://doi.org/10.1063/5.0052923>.

- Arifiani RN dan Lisdiana L, 2021. Potensi Isolat Bakteri Endofit pada Akar Tanaman Jagung (*Zea mays*) Sebagai Penghasil Hormon Indole Acetic Acid. *LenteraBio*; 10 (3): 285-291
- BPS (Badan Pusat Statistik), 2020. *Distribusi Perdagangan Komoditas Bawang Merah Indonesia 2020*. Jakarta: BPS RI.
- Dewi TK, Arum ES, Imamuddin H, dan Antonius S, 2015. Karakterisasi Mikroba Perakaran (PGPR) Agen Penting Pendukung Pupuk Organik Hayati. *Prosiding Seminar Nasional Masyi Biodiv Indonesia*; 1(2): 289-295.
- Duca D, Lörv J, Patten CL, Rose D, Glick BR, 2014. Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. *Antonie Van Leeuwenhoek*; 106 (1): 85-125. doi: 10.1007/s10482-013-0095-y.
- Gaiero JR, McCall CA, Thompson KA, Day NJ, Best AS, dan Dunfield KE, 2013. Inside The Root Microbiome: Bacterial Root Endophytes dan Plant Growth Promotion. *American Journal of Botany*; 100 (9): 1738-1750. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200572>
- Gang S, Sharma S, Saraf M, Buck M, dan Schumacher J, 2019. Analysis of Indole-3-acetic Acid (IAA) Production in *Klebsiella* by LC-MS/MS and the Salkowski Method. *Bio Protoc*; 9(9). doi: 10.21769/BioProtoc.3230.
- Ghosh PK, Saha P, Mayilraj S, dan Maiti TK, 2013. Role of IAA Metabolizing Enzymes on Production of IAA in Root, Nodule of *Cajanus cajan* and its PGP *Rhizobium* sp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*; 2(3): 234-239.
- Gusmaini ASA, Munif A, Sopdani D, dan Bermawi N, 2013. Potensi Bakteri Endofit dalam Upaya Meningkatkan Pertumbuhan, Produksi dan Kandungan Andrografolid pada Tanaman Sambiloto. *J Littri*; 19(4): 167 - 177
- Hamdiyati Y, 2011. *Pertumbuhan dan Pengendalian Mikroorganisme II*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Harikrishnan H, Shanmugaiah V, dan Balasubramanian N, 2014. Optimization for Production of Indole Acetic Acid (IAA) by Plant Growth Promoting *Streptomyces* sp VSMGT1014 Isolated from Rice Rhizosphere. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.*; 3(8) 158-171.
- Herlina, Pukan KK, dan Mustikaningtyas D, 2016. Kajian Bakteri Endofit Penghasil IAA (*Indole Acetic Acid*) untuk Pertumbuhan Tanaman. *Saintekno*; 14 (1): 51-58.
- Hidayatullah F, Rahayu YS, dan Lisdiana L, 2017. Produksi Hormon IAA oleh Bakteri Endofit dari Akar Tanaman Ubi Jalar (*Ipomoea batatas*) dalam Media Limbah Cair Tahu. *LenteraBio*; 6 (3): 80-85.
- Iswanti A, Asri MT, dan Lisdiana L, 2018. Potensi Isolat Bakteri Endofit dari Akar Tanaman Ubi Jalar sebagai Penghasil Hormon Indole Acetic Acid. *LenteraBio*; 7(2): 110-114.
- Joule JA dan Mills K, 2000. *Heterocyclic Chemistry*. Oxford: Blackwell Science.
- Kaewchomphunuch T, Charoenpichitnunt T, Thongbaiyai V, Ngamwongsatit N, dan Kaeoket K, 2022. Cell-free culture supernatants of *Lactobacillus* spp. and *Pediococcus* spp. inhibit growth of pathogenic *Escherichia coli* isolated from pigs in Thailand. *BMC Veterinary Research*; 18(60): 1-13.
- Kamnev A, Shchelochkov A, Perfiliev YD, Tarantilis PA, dan Polissiou MG, 2001. Spectroscopic investigation of indole-3-acetic acid interaction with iron (III)". *J Mol Struct*; 565-572.
- Kafrawi, Nilayanti, Zahraeni, dan Baharuddin, 2017. Comparison of IAA Production by Shallot Rhizosphere Isolated Bacteria in Solid and Liquid Media and Their Effect on Shallot Plant Growth. *J Microb Biochem Technol*; 9 (6): 266-269.
- Khaeruni A, Nirmala T, Hisein WSA, Gusnawaty G, Wijayanto T, dan Kade Sutariati GA, 2020. Potensi dan Karakterisasi Fisiologis Bakteri Endofit Asal Tanaman Kakao Sehat sebagai Pemacu Pertumbuhan Benih Kakao. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*; 25(3): 388-395. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.3.388>
- Kusumawati DE, Pasaribu FH, dan Bintang M, 2014. Aktivitas antibakteri isolat bakteri endofit dari tanaman miana (*Coleus scutellarioides* [L.] Benth.) terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Current Biochemistry*; 1 (1): 45-50.
- Lebrazi S, Niehaus K, Bednarz H, Fadil M, Chraibi M, dan Fikri-Benbrahim K, 2020. Screening and Optimization of Indole-3-Acetic Acid Production and Phosphate Solubilization by Rhizobacterial Strains Isolated from *Acacia cyanophylla* Root Nodules and Their Effects on its Plant Growth. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*; 18(71): 1-12.
- Lestari P, Suryadi Y, Susilowati DN, Priyatno TP, dan Samudra IM, 2015. Karakterisasi Bakteri Penghasil Asam Indol Asetat dan Pengaruhnya terhadap Vigor Benih Padi. *Berita Biologi*; 14 (1): 19-28.
- Li M, Guo R, Yu F, Chen X, Zhao H, Li H, dan Wu J, 2018. Indole-3-Acetic Acid Biosynthesis Pathways in the Plant-Beneficial Bacterium *Arthrobacter pascens* ZZ21. *International Journal of Molecular Sciences*; 19(2): 443. <https://doi.org/10.3390/ijms19020443>.
- Lin GH, Chen HP, Huang JH, Liu TT, Lin TK, Wang SJ, Tseng CH, dan Shu HY, 2012. Identification and characterization of an indigo-producing oxygenase involved in indole 3-acetic acid utilization by *Acinetobacter baumannii*. *Antonie Van Leeuwenhoek*; 2012 (101): 881-89.
- Lin HR, Shu HY, dan Lin GH, 2018. Biological Roles of Indole-3-Acetic Acid in *Acinetobacter baumannii*. *Microbiological Research*; 216 (2018): 30-39.
- Louis P, Scott KP, Duncan SH, Flint HJ, 2007. Understanding the effects of diet on bacterial metabolism in the large intestine. *J Appl Microbiol*; 102(5): 1197-208. doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03322.x.
- Lugtenberg B dan Kamilova, F. 2009. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Ann. Rev. Microbiol*; 63(2021): 541-556.
- Munif A, Wiyono S, dan Suwarno, 2012. Isolasi Bakteri Endofit Asal Padi Gogo dan Potensinya sebagai Agens Biokontrol dan Pemacu Pertumbuhan. *J Fitopatol Indones*; 8(3): 57-64. DOI: 10.14692/jfi.8.3.57.

- Nair DN, Padmavathy S, 2014. Impact of Endophytic Microorganisms on Plants, Environment dan Humans. *Scientific World Journal*; 2014 (250693): 1-11. <https://doi.org/10.1155/2014/250693>.
- Patma U, Lollie APP dan Luthfi AMS, 2013. Respon Media Tanam dan Pemberian Auksin Asam Asetat pada Pembibitan Aren (*Arenga pinnata* Merr.) *Jurnal Online Agroektoreknologi*; 1(2): 286-295.
- Patten CL dan Glick BR, 1996. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. *Canadian. J Microbiol*; 42(3): 207-220. doi: 10.1139/m96-032.
- Passalacqua KD, Charbonneau ME, O'Riordan MXD, 2016. Bacterial Metabolism Shapes the Host-Pathogen Interface. *Microbiol Spectr*; 4(3): 101-128. doi: 10.1128/microbiolspec.VMBF-0027-2015.
- Prakash SB, Debnath M, dan Godavarthi BKS, dan Prasad. 2012. *Microbes: Concepts dan Applications*. First Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Pusdatin (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian). 2021. *Buletin Konsumsi Pangan*. Jakarta: Pusdatin
- Rahma H, Nelly N, dan Susanti N. 2019. Characterization of endophytic bacterial isolates from shallot as plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Asian J Agric & Biol*; Special Issue: 205-211.
- Rohmah NS, Suharjono, Jatmiko YD, Siswanto D, dan Mustafa I, 2020. The potency of endophytic bacteria isolated from *Ficus septica* as phytoremediation promoting agent of Cr (VI) contaminated soil. *Biodiversitas*; 21(5): 1920-1927.
- Rosmania dan Yanti F, 2020. Perhitungan jumlah bakteri di Laboratorium Mikrobiologi menggunakan pengembangan metode Spektrofotometri. *Jurnal Penelitian Sains*; 22 (2): 76-86
- Salo EN dan Novero A, 2020. Identification and Characterisation of Endophytic Bacteria from Coconut (*Cocos nucifera*) Tissue Culture. *Tropical Life Sciences Research*; 31(1): 57-68.
- Sanchez S dan Demain AL, 2011. *Comprehensive Biotechnology*, pp. 155-167. Second Edition. Riverport: Academic Press.
- Saridewi LP, Prihatiningsih, dan Djatmiko HA. 2020. Karakterisasi Biokimia Bakteri Endofit Akar Terung sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman dan Pengendali Penyakit Layu Bakteri in Planta. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropis*; 1 (1): 1-8.
- Sembiring A dan Sumanto NL, 2021. Isolasi Bakteri Penghasil Asam Indol Asetat (AIA) dan Pengaruhnya terhadap Viabilitas Benih Cabai Merah. *Jurnal Agrotek Ummat*; 8 (1): 27-31.
- Singh R dan Dubey AK, 2015. Endophytic Actinomycetes as Emerging Source for Therapeutic Compounds. *Indo Global J. Pharm. Sci*; 5 (2): 106-116.
- Spaepen S, Vanderleyden J, dan Remans R, 2007. Indole-3-acetic acid in microbial dan microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*; 31(4): 425-448, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>.
- Suarjana IGK, Besung INK, Mahatmi H, Tono K, 2017. Isolasi dan Identifikasi Bakteri. *Modul*. Bali: Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Udayana.
- Sudewi S, Ala A, Baharuddin, dan Farid M, 2020. The isolation, characterization endophytic bacteria from roots of local rice plant Kamba in, Central Sulawesi, Indonesia. *BIODOVERSITAS*; 21 (4): 1614-1624. DOI: 10.13057/biodiv/d210442.
- Tahta K dan Enny Z, 2015. *Potensi Azetobacter sebagai Penghasil Hormon IAA (Indole-3-acetic-acid)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Tangapo AM, 2020. Potensi Bakteri Endofit Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L.) dalam Menghasilkan Hormon Indole Acetic Acid (IAA) dengan Penambahan L-triptofan. *Jurnal Bios Logos*; 10 (1): 21-26.
- Tanjung SC, Hasanah U, dan Idramsa, 2015. Karakterisasi Bakteri Endofit Penghasil Fitohormon IAA (*Indole Acetic Acid*) dari Kulit Batang Tumbuhan Raru (*Cotylelobium melanoxylon*). *Jurnal Biosains*; 1 (1): 49-55.
- Tivendale ND, Ross JJ, dan Cohen JD, 2014. The shifting paradigms of auxin biosynthesis. *Trends Plant Sci*; 2014 (19): 44-51.
- Umamaheswari T, Anbukkarasi K, Hemalatha T, dan Chendrayan K, 2013. Studies on Phytohormone Producing Ability of Indigenous Endophytic Bacteria Isolated from Tropical Legume Crops. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.*; 2 (6): 127-136.
- Widowati T, Sirmarmata R, Nuriyanah, Nurjanah L, dan Lekatompessy SJR, 2020. Aktivitas Metabolit Sekunder Pemacu Pertumbuhan dari Bakteri Endofit Asal Kunyit Putih (*Curcuma zedoaria* ROSC). *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*; 31 (2): 97-106.
- Zaid AM, Bonasera JM, Beer SV, 2012. OEM- A new medium for rapid isolation of onion-pathogenic dan onion-associated bacteria. *Journal of Mircobiology Methods*; 91: 520-526.
- Zhang BX, Li PS, Wang YY, Wang JJ, Liu XL, Wang XY, dan Hu XM, 2021. Characterization and Synthesis of Indole-3-Acetic Acid in Plant Growth Promotion *Enterobacter* sp. *Royal Society of Chemistry*; 2021 (11): 31601-31607.
- Zhang P, Jin T, Sahu SK, Xu J, Shi Q, Liu H, dan Wang Y, 2019. The Distribution of Tryptophan-Dependent Indole-3-Acetic Acid Synthesis Pathways in Bacteria Unraveled by Large-Scale Genomic Analysis. *Molecules*; 24(1411): 1-14.
- Zhao Y, 2012. Auxin Biosynthesis: A Simple Two-Step Pathway Converts Tryptophan to Indole-3-Acetic Acid in Plants. *Mol. Plant*; 2012 (5): 334-338.
- Zuhra R, Hasanuddin, dan Lisnawita. 2017. Efektivitas Bakteri Endofit sebagai Pupuk Hayati terhadap Pertumbuhan dan Produksi Cabai (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Pertanian Tropik*; 4 (1): 65-74

**Article History:**

*Received:* 6 Februari 2023

*Revised:* 24 Februari 2023

*Available online:* 6 Maret 2023

*Published:* 31 Mei 2023

**Authors:**

Safinatus Sabrina Nofiyanti, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya, Jalan Ketintang Gedung C3 Lt. 2 Surabaya 60231, Indonesia, e-mail: [safinatusabrina10@gmail.com](mailto:safinatusabrina10@gmail.com)

Yuni Sri Rahayu, Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya, Jalan Ketintang Gedung C3 Lt. 2 Surabaya 60231, Indonesia, e-mail: [yunirahayu@unesa.ac.id](mailto:yunirahayu@unesa.ac.id)

**How to cite this article:**

Nofiyanti SS, Rahayu YN, Isolasi Bakteri Endofit Akar Tanaman Bawang Merah (*Allium cepa* L.) sebagai Penghasil Hormon Indole-3-Acetic Acid (IAA). *LenteraBio*; 12(2): 162-171.