

Seleksi Isolat Aktinomisetes Asal Tanah Gambut Desa Rimbo Panjang Kabupaten Kampar Dalam Menghasilkan Hormon IAA (*Indole Acetic Acid*)

INDAH MAWARTI¹, BERNADETA LENI FIBRIARTI^{2*}, DELITA ZUL³, RODESIA MUSTIKA ROZA⁴, ATRIA MARTINA⁵, TETTY MARTA LINDA⁶

¹²³⁴⁵⁶Jurusan Biologi

Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau
Kampus Binawidya, Pekanbaru, 28293, Indonesia

*bernadeta_leni@yahoo.com

ABSTRAK

Hormon IAA (*Indole Acetic Acid*) termasuk fitohormon golongan auksin yang berperan sebagai zat pemacu pertumbuhan tanaman. Selain tumbuhan, mikroba juga diketahui mampu menghasilkan IAA. Penelitian ini bertujuan untuk menyeleksi kemampuan koleksi isolat aktinomisetes Laboratorium Mikrobiologi FMIPA UR dalam menghasilkan IAA. Uji produksi IAA oleh aktinomisetes dilakukan dengan penambahan reagen Salkowski menggunakan metode kolorimetri dalam medium SCB (*Starch Casein Broth*) yang diperkaya dengan triptofan sebagai prekursor dan tanpa triptofan. Hasil penelitian ini diperoleh sebanyak 50 dari 85 isolat aktinomisetes yang memiliki kemampuan dalam menghasilkan hormon IAA. Produksi IAA tertinggi dihasilkan oleh RB5S78 sebesar 35,97 ppm dan konsentrasi terendah dihasilkan oleh RB4S67 sebesar 0,24 ppm dalam medium SCB yang diperkaya triptofan. Pada medium tanpa triptofan hasil tertinggi diperoleh isolat aktinomisetes RB5S78 dengan konsentrasi sebesar 15,28 ppm dan konsentrasi terendah dihasilkan oleh RB4S65 sebesar 0,16 ppm. Isolat aktinomisetes yang menghasilkan IAA dengan kriteria tinggi yang diperoleh termasuk dalam genus *Streptomyces* dan *Rhodococcus*.

Kata kunci : Aktinomisetes, IAA, reagen Salkowski, triptofan

ABSTRACT

Indole Acetic Acid (IAA) is one of group of auxin phytohormones that could improve plant growth. Beside plants, microbes are also known to be able to produce IAA. The purpose of this study was to select the ability of actinomycetes isolates collection of Microbiology Laboratory, Faculty of Math and Natural Sciences University of Riau in IAA production. IAA produced by actinomycetes was detected by adding Salkowski reagent and determined quantitatively by use of colorimetric method in the medium SCB (*Starch Casein Broth*) enriched with tryptophan as precursors and without tryptophan. The results showed that 50 of 85 actinomycetes isolates were able to produce IAA. The highest IAA production was revealed by isolate RB5S78 (35,97 ppm) and the lowest was shown by isolate RB4S67 (0,24 ppm) in SCB medium enriched by tryptophan. Isolate RB5S78 produced the highest IAA with concentration 15,28 ppm and isolate RB4S65 produced the lowest IAA with concentration 0,16 ppm in medium without thryptophan. Isolates that produced IAA with high criteria were obtained from genus *Streptomyces* and *Rhodococcus*.

Key words: Actinomycetes, IAA, Salkowski reagent, tryptophan

PENDAHULUAN

Bahan-bahan kimia dibidang pertanian seperti pestisida, fungisida, fitohormon dan pupuk sintetik semakin banyak digunakan untuk meningkatkan hasil panen. Penggunaan bahan-bahan kimia baik disadari maupun tidak dapat mengakibatkan dampak negatif kerusakan lingkungan, sebab akumulasi

bahan kimia tersebut tidak seluruhnya dapat dihancurkan oleh mikroorganisme tanah, sehingga akan mempengaruhi kesuburan tanah serta berdampak negatif pula terhadap tanaman tersebut (Retnowati 2012). Kesadaran akan lingkungan yang sehat dan berkembangnya ilmu dibidang bioteknologi, telah mendorong pengembangan penelitian tentang penggunaan mikroorganisme sebagai agen pupuk hayati dan pestisida alami yang tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan (Widayanti 2007), serta diikuti dengan berkembangnya produk-produk alternatif yang lebih alami dan ramah lingkungan seperti produk mikroba penghasil senyawa metabolit (fitohormon) yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Aryantha *et al.* 2004).

Fitohormon merupakan sekumpulan senyawa organik bukan hara, baik yang terbentuk secara alami maupun dibuat oleh manusia, yang dalam kadar sangat kecil dapat mendorong, menghambat, atau mengubah pertumbuhan, perkembangan dan pergerakan tumbuhan. Salah satu jenis hormon yang dapat memacu pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan proses elongasi sel dan perpanjangan batang seperti diferensiasi sel adalah auksin (Tarabily *et al.* 2003). IAA (*Indole Acetic Acid*) merupakan salah satu jenis auksin yang banyak terdapat di alam dan paling aktif serta merupakan hormon utama pada hampir semua jenis tanaman (Sukamadi 2013).

Mikroorganisme tanah mampu berperan sebagai agen pemacu pertumbuhan tanaman dan memiliki kemampuan dalam menghasilkan IAA. Salah satu mikroorganisme yang dapat menghasilkan IAA adalah aktinomisetes. Aktinomisetes yang mampu menghasilkan IAA antara lain *Streptomyces riosus*, *Streptomyces scabies*, *Streptomyces albidoflavus*, *Streptomyces olivaceoviridis*, *Streptomyces viridis*, *Streptomyces hygroscopicus*, *Streptomyces rochei* dan *Streptomyces* spp. (Igarashi *et al.* 2002; Khamna *et al.* 2010; Narayana *et al.* 2009; Aldesuquy *et al.* 1998; Tarabily 2008; Hsu 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk menyeleksi isolat aktinomisetes asal tanah gambut Rimbo Panjang Kampar Riau yang berpotensi menghasilkan hormon IAA. Dalam bidang pertanian isolat yang mempunyai kemampuan menghasilkan IAA tinggi akan dapat digunakan sebagai agen biofertilizer di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan April - Oktober 2016 di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi dan Laboratorium Riset Enzim, Fermentasi dan Biomolekuler Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Riau.

Peremajaan Isolat Aktinomisetes

Isolat aktinomisetes ditumbuhkan kembali dalam media *Starch Casein Agar* (SCA) dengan komposisi *casein* 10 g, pati 10 g, NaCl 2 g, KNO₃ 2 g, K₂HPO₄ 2 g, MgSO₄.7H₂O 0,05 g, CaCO₃ 0,2 g, FeSO₄.7H₂O 0,01 g dan agar 18 g. Medium SCA dibuat dengan mencampurkan semua bahan ke dalam 700 ml akuades dan dipanaskan sambil diaduk hingga tercampur secara homogen. Setelah itu medium disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C pada tekanan 15 Psi selama 15 menit, sedangkan *casein* dilarutkan ke dalam 300 ml akuades steril secara aseptis dan dipasteurisasi menggunakan *waterbath* dengan suhu 72 °C selama 15 detik. Kedua larutan tersebut kemudian dicampur secara aseptis hingga volume medium SCA menjadi 1000 ml. Peremajaan dilakukan dengan cara menginokulasikan isolat tersebut secara aseptis menggunakan jarum ose ke dalam tabung reaksi yang berisi medium SCA miring, selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang selama 5-7 hari. Sebanyak 85 dari 111 isolat yang berhasil diremajakan kembali digunakan untuk uji kemampuan dalam produksi IAA.

Pembuatan Kurva Standar IAA

Sebanyak 2,5 mg IAA sintetik dilarutkan ke dalam 50 ml methanol (konsentrasi 50 ppm). Larutan IAA sintetik dipipet ke dalam tabung reaksi masing-masing 20 µl (1 ppm), 50 µl (2,5 ppm), 100 µl (5 ppm), 150 µl (7,5 ppm), 200 µl (10 ppm), 300 µl (15 ppm), 400 µl (20 ppm), 600 µl (30 ppm), 800 µl (40 ppm) dan 1000 µl (50 ppm). Ditambahkan methanol sehingga volume masing-masing tabung reaksi menjadi 1000 µl, kemudian ditambahkan reagen Salkowski sebanyak 4 ml pada masing-masing tabung reaksi, selanjutnya dihomogenkan dan diinkubasi selama 60 menit dalam kondisi gelap pada suhu ruang

hingga larutan akan berubah menjadi warna merah muda. Larutan standar IAA diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 530 nm (Pattern & Glick 2002). Dari hasil spektrofotometri dibuat kurva standar larutan IAA yang menunjukkan hubungan antara larutan standar IAA (x) dan absorbansinya (y), akan diperoleh persamaan:

$$Y = a + bX$$

Keterangan :
a = intersep
b = slope (koefisien regresi)
Y = absorbansi
X = konsentrasi

Pengukuran Produksi IAA oleh Aktinomisetes (Gordon & Weber 1957)

Inokulum aktinomisetes (10^6 CFU/ml) diinokulasikan pada 5 ml medium SCB yang diperkaya dengan triptofan 100 $\mu\text{g/ml}$ dan pada medium SCB yang tidak diperkaya dengan triptofan. Kemudian diinkubasi dan diagitasi dengan kecepatan 150 rpm dengan kondisi gelap pada suhu ruang selama 3 hari. Triptofan digunakan sebagai prekursor terbentuknya IAA.

Kultur aktinomisetes disentrifugasi dengan kecepatan 6000 rpm selama 15 menit untuk memisahkan koloni mikroba dari medium. Supernatan hasil sentrifugasi dipindahkan sebanyak 1 ml ke dalam tabung reaksi bersih dan steril, kemudian ditambahkan reagen Salkowski sebanyak 4 ml. Campuran supernatan dan reagen Salkowski (H_2SO_4 pekat, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, aquades) diinkubasi selama 60 menit dalam kondisi gelap pada suhu ruang. Larutan akan berubah menjadi warna merah muda, hal ini mengindikasikan adanya kandungan IAA dalam larutan tersebut. Kemudian diukur absorbansi larutan tersebut menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 530 nm. Konsentrasi IAA ditentukan dengan membandingkannya terhadap kurva standar IAA, persamaan regresi disubstitusikan dengan nilai absorbansi sampel.

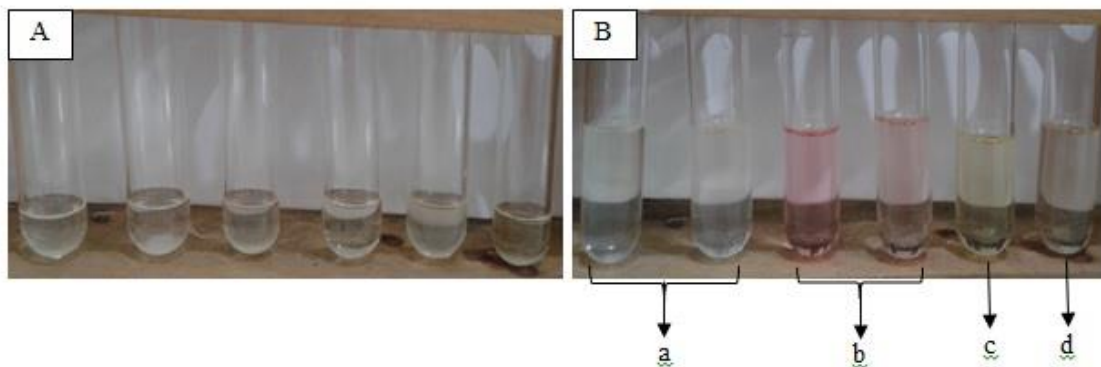
Analisis Data

Data hasil pengujian aktinomisetes dalam menghasilkan hormon IAA dianalisis secara deskriptif, berdasarkan nilai absorbansi terhadap kurva standar yang dilakukan uji nilai tengah untuk kriteria tinggi, sedang dan rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Hormon IAA oleh Aktinomisetes

Hasil analisis produksi hormon IAA berdasarkan indikator warna uji diperoleh 50 isolat yang menghasilkan IAA yang ditandai dengan terbentuknya warna merah muda dan merah muda transparan. Isolat lainnya sebanyak 17 isolat menghasilkan warna kuning, 4 isolat menghasilkan warna oren, dan selebihnya sebanyak 14 isolat tidak mengalami perubahan warna, tidak menghasilkan IAA dan derivat indole lainnya (Gambar 1). Data jumlah dan jenis produk yang dihasilkan oleh isolat aktinomisetes



Gambar 1. Perubahan warna supernatan sebelum (A) dan setelah (B) penambahan reagen Salkowski. (a) uji negative tidak menghasilkan IAA, (b) warna merah muda, (c) warna kuning, (d) warna oren.

Tabel 1 menunjukkan sebanyak total 50 isolat aktinomisetes mampu menghasilkan IAA, yaitu 38 isolat menghasilkan warna merah muda dan 12 isolat menghasilkan warna merah muda transparan. Terjadinya perubahan warna ini mengindikasikan adanya pembentukan IAA oleh aktinomisetes uji yang memiliki kandungan enzim-enzim lengkap dalam mengkonversi triptofan menjadi IAA, yaitu enzim triptofan monoksigenase, IAM hidrolase, indole-piruvat dekarboksilase dan IAAld dehydrogenase (Kresnawaty *et al.* 2008). Perubahan warna kemerahan pada isolat aktinomisetes terjadi karena adanya reaksi antara peraksi Salkowski seperti FeCl₃ dan HClO₄ dengan IAA akan membentuk senyawa kompleks tris-(indole-3-aceto)-iron (III) yang akan membentuk warna merah muda (Kholida & Zulaika 2015). Kombinasi Fe dan asam sulfat (H₂SO₄) dalam pereaksi Salkowski merupakan pereaksi tunggal yang mampu meningkatkan kepekaan dalam menentukan pembentukan IAA.

Tabel 1. Data jumlah dan jenis produk yang dihasilkan oleh isolat aktinomisetes berdasarkan warna indikator pada reaksi Salkowski

No	Jumlah Isolat	Warna Indikator	Produksi Senyawa
1	38	Merah muda*	<i>Indole Acetic Acid (IAA)</i>
2	12	Merah muda transparan*	<i>Indole Acetic Acid (IAA)</i>
3	17	Kuning	<i>Indole</i> <i>Skatol</i> <i>Indole-3-butyric acid</i> <i>Indole-3-propionic</i>
4	4	Oren	<i>Indole-3-carboxaldehyde</i>
5	14	Tidak berwarna	-
Total	85		

Keterangan * : Total 50 isolat aktinomisetes yang mampu menghasilkan hormon IAA

Sebanyak 17 isolat menghasilkan warna kuning setelah penambahan reagen Salkowski tidak menghasilkan IAA, tetapi menghasilkan derivat indole lain seperti *Indole*, *Skatol*, *Indole-3-butyric acid*, dan *Indole-3-propionic* (Meudt & Gaines 1967). Pembentukan *indole* dan *skatol* oleh aktinomisetes merupakan produk dari dekarboksilasi triptofan oleh enzim triptofanase yang menyebabkan jalur biosintesis IAA menjadi terputus (Deslandes *et al.* 2001; Humphrey & Kuethe 2006). Sebanyak 4 isolat aktinomisetes menghasilkan perubahan warna menjadi oren. Isolat ini tidak menghasilkan IAA, namun menghasilkan *indole-3-carboxaldehyd* (Meudt & Gaines 1967) yang merupakan produk dari hasil degradasi oksidatif senyawa IAA (Tang & Bonner 1984). Berdasarkan Tabel 1 diketahui sebanyak 14 isolat aktinomisetes tidak mengalami perubahan warna (bening) setelah penambahan pereaksi Salkowski dan menghasilkan nilai OD = 0 (nol) yang menandakan bahwa isolat tersebut tidak mampu menghasilkan IAA maupun derivat indole lainnya. Isolat aktinomisetes tersebut tidak mampu menghasilkan IAA hal ini diduga karena tidak memiliki enzim Trp-2-monoksigenase yang merupakan enzim kunci yang dibutuhkan dalam biosintesis IAA melalui lintasan IAM untuk mensintesis IAA (Patten & Glick 2002).

Produksi hormon IAA yang termasuk kriteria tinggi berdasarkan uji nilai tengah pada medium SCB yang diperkaya triptofan dengan kisaran 18,84±0,98 ppm (RB3S52) hingga 35,97±4,06 ppm (RB5S78) dan pada medium SCB tanpa triptofan dengan kisaran 7,23±2,44 ppm (RB1S4) hingga 15,28±7,32 ppm (RB5S78) (Tabel 2). Isolat aktinomisetes asal tanah gambut ini dapat tumbuh dengan baik pada suhu ruang dalam medium SCB yang diperkaya dengan triptofan 100 µg/ml yang diinkubasi pada *shaker incubator* dalam kondisi gelap. Triptofan digunakan sebagai prekursor terbentuknya IAA.

Tabel 2. Konsentrasi hormon IAA tertinggi yang dihasilkan oleh aktinomisetes pada medium SCB yang diperkaya triptofan dan tanpa triptofan selama 3 hari

No	Kode Isolat	Produksi IAA (ppm)			
		SCB + Trp	Kriteria	SCB	Kriteria
1	RB5S78 (<i>Streptomyces</i> sp.)	35,97±4,06	Tinggi	15,28±7,32	Tinggi
2	RB2S37	34,82±0,00	Tinggi	13,67±2,44	Tinggi
3	RB1S12 (<i>Rhodococcus</i> sp.)	33,67±10,56	Tinggi	11,83±4,07	Tinggi
4	RB5S83	30,22±5,69	Tinggi	14,13±5,69	Tinggi
5	RB1S1 (<i>Streptomyces</i> sp.)	27,34±1,62	Tinggi	10,68±2,44	Tinggi
6	RB3S59 (<i>Rhodococcus</i> sp.)	23,90±4,87	Tinggi	-	-
7	RB3S45 (<i>Streptomyces</i> sp.)	21,02±2,44	Tinggi	4,36±1,63	Sedang
8	RB1S4	20,45±0,00	Tinggi	7,23±2,44	Tinggi
9	RB1S3 (<i>Streptomyces</i> sp.)	19,70±1,06	Tinggi	5,22±0,41	Sedang
10	RB1S15	19,36±1,55	Tinggi	-	-
11	RB3SS43	19,30±1,63	Tinggi	-	-
12	RB1S13 (<i>Streptomyces</i> sp.)	18,90±0,57	Tinggi	1,94±1,14	Rendah
13	RB3S52 (<i>Streptomyces</i> sp.)	18,84±0,98	Tinggi	-	-
14	RB3S44 (<i>Rhodococcus</i> sp.)	5,91±3,49	Rendah	9,33±1,06	Tinggi

Pada penelitian ini konsentrasi yang dihasilkan oleh RB5S78 masih lebih rendah jika dibandingkan dengan *Streptomyces* sp. (SF5) yang menghasilkan IAA dengan konsentrasi tinggi sebesar 104,76±0,2 µg/ml dengan penambahan 2,5 mg/ml triptofan (Ameur & Mostefa 2012) dan juga lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil produksi IAA oleh *Streptomyces* (SCR 5) sebesar 100±0,34 µg/ml dalam medium *Yeast Malt Extract Broth* dengan penambahan 0,2% triptofan yang diinkubasi selama 5 hari (Sinma *et al.* 2015).

Isolat aktinomisetes RB5S78 mampu menghasilkan IAA dengan konsentrasi yang tinggi sebesar 35,97±4,06 ppm jika distimulasi dengan triptofan, tetapi tanpa penambahan triptofan juga mampu menghasilkan IAA dengan konsentrasi yang lebih rendah yaitu sebesar 15,28±7,32 ppm. Kemampuan isolat aktinomisetes yang diperkaya dengan triptofan dalam meningkatkan produksi IAA dapat mengindikasikan bahwa triptofan merupakan prekursor dalam biosintesis IAA oleh aktinomisetes tersebut. Triptofan telah diakui sebagai prekursor fisiologis utama biosintesis IAA baik pada tumbuhan maupun pada mikroorganisme (Abd-Alla *et al.* 2013).

Konsentrasi IAA pada kultur aktinomisetes yang ditumbuhkan pada medium SCB dengan penambahan triptofan lebih tinggi dibandingkan medium tanpa triptofan, karena triptofan dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber karbon serta prekursor dalam pembentukan IAA, sehingga dapat meningkatkan biosintesis dan produksi IAA. Penambahan variasi konsentrasi triptofan dapat menghasilkan konsentrasi IAA yang berbeda-beda, semakin tinggi konsentrasi triptofan yang diberikan maka konsentrasi IAA yang dihasilkan juga akan semakin tinggi (Patten & Glick 2002). Produksi IAA juga dapat dihasilkan pada medium SCB tanpa triptofan, hasil tertinggi diperoleh dari 7 isolat aktinomisetes (Tabel 2). Berdasarkan uji nilai tengah, isolat RB5S78 menghasilkan IAA dengan kriteria tinggi dengan konsentrasi yang berbeda baik pada medium SCB yang diperkaya triptofan (35,97±4,06 ppm) maupun tanpa triptofan (15,28±7,32 ppm).

Kemampuan aktinomisetes mensintesis IAA baik pada medium yang diperkaya maupun tanpa diperkaya triptofan menunjukkan bahwa isolat tersebut memiliki dua jalur dalam mensintesis IAA, yaitu jalur *tryptophan-independent pathway* (tidak tergantung triptofan) dan jalur *tryptophan-dependent pathway* (tergantung triptofan) (Spaepen *et al.* 2007). Jalur yang distimulasi oleh triptofan merupakan lintasan biosintesis IAA yang membutuhkan triptofan sebagai prekursornya. Sebaliknya, jalur yang tidak bergantung triptofan merupakan lintasan biosintesis IAA yang tidak secara langsung menggunakan asam amino sebagai prekursornya, dimana pembentukan IAA yang dilakukan menggunakan senyawa-senyawa antara dalam lintasan pembentukan auksin.

Konsentrasi IAA yang dihasilkan penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang diperoleh Harikrishnan *et al.* (2014) pada *Streptomyces* sp. VSMGT1014 sebesar 15,96 µg/ml dalam medium *International Streptomyces Project-2* (ISP-2) selama 6 hari inkubasi dengan penambahan 0,5 % triptofan, serta lebih tinggi dengan yang diperoleh Gangwar *et al.* (2012) pada isolat *Nocardia* R15 sebesar 32,23±0,87 µg/ml dalam medium *Yeast Malt Extract Broth* (YMEB) yang diperkaya 0,2 % triptofan selama 7 hari inkubasi. Hasil yang diperoleh penelitian ini juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan produksi IAA oleh *Micromonospora* (1-SCS 12) dan *Streptomyces* (5-SCS 9) yaitu sebesar 1,96±1,23 µg/ml dan 3,54±0,03 µg/ml (Sinma *et al.* 2015).

Produksi IAA yang dihasilkan oleh mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh konsentrasi triptofan, kultur supernatan, jumlah populasi, aktivitas enzim, sumber karbon, sumber isolat, spesies dan strain yang diuji, agitasi, konsentrasi oksigen, laju pertumbuhan, pH medium, jenis medium yang digunakan, waktu inkubasi dan sifat fisiologis (Mirza *et al.* (2001); Khalid *et al.* (2001).

Hormon IAA merupakan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh mikroba pada saat memasuki fase stasioner atau saat akhir fase logaritmik, dalam kondisi ini kandungan nutrisi dan oksigen dalam medium mengalami penurunan yang sangat drastis (Ishwari 2006) dan pada fase ini enzim-enzim yang dibutuhkan dalam biokonversi triptofan menjadi IAA, seperti triptofan monooksigenase, IAM hidrolase, indole-piruvat dekarboksilase dan IAAld dehidrogenase berada dalam jumlah yang banyak dan aktif sehingga kondisi tersebut memicu sel aktinomisetes memproduksi IAA dalam jumlah yang lebih banyak (Lasmini *et al.* 2014).

KESIMPULAN

Sebanyak 50 isolat aktinomisetes yang mampu menghasilkan hormon IAA pada medium SCB yang diperkaya dengan Triptofan maupun tanpa penambahan Triptofan. Produksi IAA tertinggi dalam medium SCB yang diperkaya dengan Triptofan dihasilkan oleh isolat RB5S78 sebesar 35,97 ppm dan produksi IAA yang terendah dihasilkan oleh isolat RB4S67 sebesar 0,24 ppm. Isolat aktinomisetes yang mampu menghasilkan hormon IAA pada medium SCB yang diperkaya dengan Triptofan maupun tanpa Triptofan dengan hasil tertinggi diperoleh dari isolat RB5S78 sebesar 35,97 ppm dan 15,28 ppm. Hasil karakterisasi isolat aktinomisetes penghasil hormon IAA dengan kriteria tinggi diperoleh termasuk dalam genus *Streptomyces* dan *Rhodococcus*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang turut membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Alla MH, El-Sayed AES, Abdel-Hamied MR. 2013. Indole-3-acetic acid (IAA) production by *Streptomyces atrovirens* isolated from rhizospheric soil in Egypt. *Journal of Biology and Earth Sciences*. 3(2): B182-B193.
- Aldesuquy HS, Mansour FA, Abo-Hamed SA. 1998. Effect of the culture filtrates of *Streptomyces* on growth and productivity of wheat plants. *Folia Microbiologica*. 43: 465-470.
- Ameur H, Mostefa G. 2012. Screening of actinomycetes producing antibacterial substance and indole acetic acid (IAA) and optimalization of growth and IAA production condition in *Streptomyces* sp. SF5. *International Journal of Pharmaceutical and Biological Archives*. 3: 545-551.
- Aryantha INP, Lestari DP, Pangesti NPD. 2004. Potensi isolat bakteri penghasil iaa dalam peningkatan pertumbuhan kecambah kacang hijau pada kondisi hidroponik. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*. 9: 43-46.
- Deslandes B, Garipepy C, Houde A. 2001. Review of Microbiol and Biochemical Effects of Skatol in Animal Production. *Livestock Production Science* 71: 193-200.
- Gangwar M, Sheela R, Neerja S. 2012. Investigating endophytic actinomycetes diversity from rice for plant growth promoting and antifungal activity. *International Journal of Advanced Life Sciences*. 1: 10-21.
- Gordon SA, Weber RP. 1957. Colorimetric estimation of indole acetic acid. *Plant Physiology*. 26: 192-195.
- Harikrishnan H, Vellasamy S, Natesan B. 2014. Optimization for production of Indole acetic acid (IAA) by plant growth promoting *Streptomyces* sp VSMGT1014 isolated from rice rhizosphere. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 3(8): 158-171.
- Hsu SY. 2010. IAA production by *Streptomyces scabies* and its role in plant microbe interaction [Thesis]. Ithaca: Cornell University Graduate School.
- Khalid A, Tahir S, Arshad M, Zahir ZA. 2001. Relative Efficiency of Rhizobacteria for Auxin Biosynthesis in Rhizosphere and non-Rhizosphere Soils. *Australian Journal Soil* 42: 921-926.
- Khamna S, Yokota A, Peberdy JF, Lumyong S. 2010. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces* sp. isolated from some Thai medicinal plant rhizosphere soils. *EurAsian Journal of BioSciences*. 4: 23-32.
- Kholida FT, Zulaika E. 2015. Potensi Azotobakter sebagai penghasil hormon IAA (Indole-3-Acetic Acid). *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 4 (1): 2337-3520.
- Kresnawaty I, Syeda A, Suharyanto, Tri P. 2008. Optimisasi dan pemurnian IAA yang dihasilkan *Rhizobium* sp. dalam medium serum lateks dengan suplemnatsi triptofan dari pupuk kandang. *Menara Perkebunan*. 76(2): 74-82.
- Lasmini T, Endang SS. 2014. Khamir penghasil indole-3-acetic acid dari rhizosfer anggrek tanah *Pecteilis susannae* (L.) Rafin. *Jurnal Ilmiah Biologi Biogenesis*. 2 (1): 56-62.

- Meudt WJ, Gaines TP. 1967. Studies on the oxidation of indole-3-acetic acid by peroxidase enzymes. I. Colorimetric determination of indole-3-acetic acid oxidation products. *Plant Physiology*. 42: 1395-1399.
- Mirza MS, Ahmad W, Latif F, Haurat J, Bally R, Normand P, Malik KA. 2001. Isolation, partial characterization, and effect of plant growth-promoting bacteria (PGPR) on micro-propagated sugarcane *in vitro*. *Plant Soil*. 237: 47-54.
- Narayana KJ, Prabhakar P, Krishna PSJ, Venketeswarlu Y, Vijayalakshmi M. 2009. Indole-3-acetic acid by *Streptomyces albidoflavus*. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*. 11: 44-55.
- Pattern CL, Glick BR. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*. 68: 2795-3801.
- Pattern CL, Glick BR. 2002. Regulation of indole acetic acid production in *Pseudomonas putida* GR 12-2 by tryptophan and the stationary-phase sigma factor RpoS. *Canadian Journal Microbiology*. 48: 635-642.
- Retnowati Y, Uno WD, Putri SHE. 2012. Potensi penghasil hormon IAA oleh mikroba endofit akar tanaman jagung (*Zea mays*). *Jurnal Sainstek Universitas Negeri Gorontalo*. 6: 1-9.
- Sinma K, Thanawit K, Khwanchai K. 2015. Potentiality of endophytic actinomycetes isolated from sugar cane. *King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Science and Technology Journal*. 15(2): 88-97.
- Spaepen S, Vanderlyden J, Remans R. 2007. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*. 31: 425-448.
- Sukmadi RB. 2013. Aktifitas fitohormon indole-3-acetic acid (IAA) dari beberapa isolat bakteri rizosfer dan endofit. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. 14 (3): 221-227.
- Tarabily K, Nasar AH, Sivasithamparam K. 2003. Promotion of plant growth by an auxin-producing isolate of the yeast *williopsis saturnus* endophytic in maize roots. *The Sixth U. A. E University Research Conference*. 60-69.
- Tarabily. 2008. Promotion of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.) plant growth by rhizosphere component 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-producing streptomycetes actinomycetes. *Plant and Soil*. 308: 161-174.
- Widayanti T. 2007. Isolasi dan karakterisasi *Bacillus* sp. indigenus penghasil asam indol asetat asal tanah rizosfer [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor