

PROSPEK RIZOBAKTERI PENGHASIL *INDOLE ACETIC ACID* (IAA) DAN PENYEDIA NITRAT SEBAGAI *PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA* (PGPR)

Eko Hary Pudjiwati¹, Rinrin Rindiani²

¹ Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan

² Mahasiswa Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan
E-mail: eko.pudjiwati@borneo.ac.id

Diterima : 13 Januari 2022

Disetujui : 29 Januari 2022

ABSTRACT

PGPR is a beneficial soil bacteria that live freely in the rhizosphere area, which has the ability to increase plant growth and is environmentally friendly. PGPR has the ability to support plant growth by producing and changing the concentration of several phytohormones, as nitrogen fixers, solubilizing phosphates and as antagonistic agents. One of the hormones produced by PGPR is indole acetic acid (IAA). Nitrogen fixation by PGPR will produce nitrate, which is a form of nitrogen that is widely absorbed by plants. In the previous study, 14 isolates of nitrogen-fixing rhizobacteria and 2 isolates of phosphate solvent were obtained. This study focused on testing the ability of rhizobacteria isolates to produce nitrate and IAA. This study uses a quantitative descriptive method. In the analysis of nitrate and pH there were 15 treatments, namely control and 14 isolates of nitrogen-fixing rhizobacteria. IAA analysis was performed on 2 isolates of phosphate-solubilizing bacteria and 2 isolates of nitrogen-fixing bacteria. The isolates tested in this study were phosphate solubilizing rhizobacteria with isolate codes B₅₍₆₎ and B₁₍₁₇₎ nitrogen-fixing rhizobacteria with isolate codes B₁₍₁₇₎, B₁₍₁₉₎, B₃₍₁₀₎, B₄₍₁₅₎, B₃₍₁₂₎, B₃₍₁₆₎, B₃₍₁₉₎, B₃₍₉₎, B₄₍₁₂₎, B₄₍₅₎, B₅₍₁₃₎, B₅₍₁₅₎, B₅₍₁₉₎ and B₅₍₉₎. The results showed that the amount of nitrate produced from 14 nitrogen-fixing rhizobacteria ranged from 35.07 to 45.42 ppm which was high and the highest concentration of nitrate was produced by isolate B₅₍₁₉₎. In addition to producing nitrate, 2 isolates of nitrogen-fixing rhizobacteria and 2 isolates of phosphate-solubilizing rhizobacteria also produced IAA with concentrations between 31.99 – 62.23 ppm. These four rhizobacteria isolates have the potential as PGPR.

Keywords : nitrogen fixing bacteria, phosphate solubilizing bacteria, rhizobacteria, IAA, PGPR

ABSTRAK

PGPR adalah bakteri tanah menguntungkan yang hidup bebas di daerah rizosfer, yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan bersifat ramah lingkungan. PGPR memiliki kemampuan mendukung pertumbuhan tanaman dengan memproduksi dan mengubah konsentrasi beberapa fitohormon, sebagai penambat nitrogen, melarutkan fosfat dan sebagai agen antagonis. Salah satu hormon yang dihasilkan oleh PGPR adalah *indole acetic acid* (IAA). Penambatan nitrogen oleh PGPR akan menghasilkan nitrat yaitu salah satu bentuk nitrogen yang banyak diserap oleh tanaman. Pada penelitian sebelumnya diperoleh 14 isolat rizobakteri penambat nitrogen dan 2 isolat pelarut fosfat. Penelitian ini fokus pada pengujian kemampuan isolat rizobakteri dalam menghasilkan nitrat dan IAA. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Pada Analisis nitrat dan pH ada 15 perlakuan yaitu kontrol dan 14 isolat rizobakteri penambat nitrogen. Analisis IAA dilakukan pada 2 isolat bakteri pelarut fosfat dan 2 isolat bakteri penambat nitrogen. Isolat yang diuji dalam penelitian ini adalah rizobakteri pelarut fosfat dengan kode isolat B₅₍₆₎ dan B₁₍₁₇₎, rizobakteri penambat nitrogen dengan kode isolat B₁₍₁₇₎, B₁₍₁₉₎, B₃₍₁₀₎, B₄₍₁₅₎, B₃₍₁₂₎, B₃₍₁₆₎, B₃₍₁₉₎, B₃₍₉₎, B₄₍₁₂₎, B₄₍₅₎, B₅₍₁₃₎, B₅₍₁₅₎, B₅₍₁₉₎ dan B₅₍₉₎. Hasil penelitian menunjukkan jumlah nitrat yang dihasilkan dari 14 rizobakteri penambat nitrogen berkisar antara 35,07 – 45,42 ppm yang tergolong tinggi dan konsentrasi nitrat tertinggi dihasilkan oleh isolat B₅₍₁₉₎. Selain menghasilkan nitrat, 2 isolat rizobakteri penambat nitrogen dan 2 isolat rizobakteri pelarut fosfat juga menghasilkan IAA dengan konsentrasi antara 31,99 – 62,23 ppm. Keempat isolat rizobakteri ini berpotensi sebagai PGPR.

Kata kunci : bakteri penambat nitrogen, bakteri pelarut fosfat, rizobakteri, IAA, PGPR

PENDAHULUAN

Berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman dengan tetap menjaga produktivitas lahan, salah

satunya dengan memanfaatkan mikroorganisme tanah. Rizobakteri pemacu tumbuh tanaman atau lebih dikenal dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) adalah bakteri tanah menguntungkan (Rahni, 2020) yang hidup bebas di

daerah rhizosfer (Das, 2019) yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan bersifat ramah lingkungan. Peran PGPR dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dibagi dalam beberapa kategori, yang pertama sebagai biostimulan yaitu dengan memproduksi dan mengatur konsentrasi fitohormon seperti auksin, giberelan, etilen dan sitokinin, yang kedua sebagai biofertilizer yaitu dapat menambat nitrogen dan melarutkan fosfat dan yang ketiga sebagai bioprotectans atau antagonis yaitu menghasilkan beberapa senyawa anti patogen seperti siderophore, glukonase, kitinase, antibiotik dan sianida yang dapat menghambat pertumbuhan patogen (Tenuta, 2006).

Indole acetic acid (IAA) adalah salah satu hormon yang dihasilkan oleh PGPR. Hormon IAA ini adalah auksin yang berperan dalam pembesaran sel, menghambat pertumbuhan tunas samping, merangsang terjadinya imbibisi, berperan dalam pembentukan jaringan xilem dan floem, dan juga berpengaruh terhadap perkembangan dan pemanjangan akar (Kurniati, 2018). Larosa *et al.* (2013) menyatakan hormon IAA yang dihasilkan oleh rizobakteri dapat meningkatkan akar lateral dan jumlah rambut akar, sehingga membuat penyerapan hara dalam tanah meningkat. Biosintesis IAA dalam tanah dapat dipacu oleh triptofan alami yang dihasilkan oleh eksudat akar yang diubah oleh mikroba menjadi IAA (Kholida & Zulaika, 2015). Adapun tiga tahapan triptofan diubah menjadi IAA, yaitu pertama, triptofan diubah menjadi *asam indol piruvat* melalui reaksi transaminasi, kedua, *asam indol piruvat* diubah menjadi *indole acet aldehyde* melalui reaksi dekarboksilasi, dan ketiga, proses oksidasi *indole acet aldehyde* yang menghasilkan IAA (Asra *et al.*, 2020).

Salah satu unsur hara makro yang penting bagi tanaman adalah nitrogen. Tumbuhan menyerap unsur nitrogen dari lingkungannya dalam bentuk nitrogen tersedia yaitu senyawa nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+). Tanaman menyerap nitrat lebih banyak dibandingkan amonium, sehingga upaya yang utama harus dilakukan adalah menyediakan N tersedia dalam bentuk nitrat (Sarief, 1986). Bentuk nitrogen tersebut sebagian besar berasal dari pengaplikasian pupuk dan penambatan nitrogen udara oleh mikroorganisme tanah yaitu bakteri yang mampu menambat nitrogen di atmosfer (Tisdale *et al.* 1985).

Pada penelitian sebelumnya diperoleh isolat-isolat rizobakteri yang mampu menambat nitrogen dan melarutkan fosfat. Terdapat 14 isolat penambat

nitrogen (Al Maliki, 2019) dan 2 isolat pelarut fosfat (Pudjiwati *et al.*, 2019). Isolat-isolat ini berpotensi sebagai PGPR tetapi harus diuji terlebih dahulu kemampuan menghasilkan nitrat, fitohormon dan sebagai agen hayati atau agen antagonis. Penelitian ini fokus pada pengujian kemampuan isolat rizobakteri dalam menghasilkan nitrat dan IAA.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai November tahun 2021. Pembuatan kultur rizobakteri yang diuji dilaksanakan di Laboratorium Perlindungan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan. Pengujian IAA dilakukan di Laboratorium Badan Penelitian Bioteknologi dan Industri Pertanian di Bogor. Pengujian kemampuan isolat menghasilkan Nitrat dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Isolat yang diuji dalam penelitian ini adalah rizobakteri pelarut fosfat dengan kode isolat B₅₍₆₎ dan B₁₍₁₇₎, rizobakteri penambat nitrogen dengan kode isolat B₁₍₁₇₎, B₁₍₁₉₎, B₃₍₁₀₎, B₄₍₁₅₎, B₃₍₁₂₎, B₃₍₁₆₎, B₃₍₁₉₎, B₃₍₉₎, B₄₍₁₂₎, B₄₍₅₎, B₅₍₁₃₎, B₅₍₁₅₎, (B₅₍₁₉₎) dan B₅₍₉₎. Isolat rizobakteri ini diperoleh dari rizosfer tanaman sawi. Pengujian nitrat dilakukan pada 14 isolat rizobakteri penambat nitrogen dan 1 perlakuan kontrol dengan 3 ulangan. Pengujian IAA dilakukan pada 2 isolat rizobakteri penambat nitrogen dan 2 isolat rizobakteri pelarut fosfat.

Pengujian jumlah nitrat yang dihasilkan oleh bakteri penambat nitrogen Inkubasi tanah dengan isolat rizobakteri penambat nitrogen

Tanah yang digunakan untuk media uji disterilisasi dengan menggunakan autoklaf. Selanjutnya tanah ditimbang sebanyak 400 g dimasukkan ke dalam botol plastik (1500 ml) yang dipotong menjadi dua bagian. Tanah yang digunakan di dalam penelitian ini jenis Inceptisol dan sudah lama tidak digunakan dalam budidaya tanaman. Tanah disiram dengan air sampai lembab dan diinvestasi dengan 100 ml suspensi isolat rizobakteri penambat nitrogen sesuai perlakuan dengan kerapatan sel 10^8 cfu/ml. Tanah yang sudah diinvestasi kemudian diinkubasi pada suhu 28- 30 °C selama 21 hari. Selama masa proses inkubasi, tanah dikontrol tingkat kelembapannya apabila

tanah mulai kering tambahkan akuades steril lebih kurang 50 ml hingga tanah lembab kembali.

Analisis Nitrat

Analisis N tersedia (NO_3^-), dilakukan diawal dan diakhir penelitian pada umur 21 hari. yaitu menggunakan metode Brucin Sulfat dengan alat spektrofotometer (Sulaiman *et al.*, 2005) Sebanyak 10 ml larutan nitrat sampel dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan 2 ml larutan NaCl dan 1 ml campuran brusin asam asam sulfat dan diaduk secara perlahan, selanjutnya ditambahkan 10 ml H_2SO_4 , diaduk perlahan dan dibiarkan 10 menit. Larutan tersebut dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 420 nm dan dicatat nilai adsorbansinya. Nilai nitrat dihitung dengan rumus:

$$\text{NO}_3 = \text{Nt} - \text{No}$$

Keterangan:

NO_3 = Nilai nitrat

Nt = Nilai Sampel

No = Nilai Blanko

Analisis pH

Nilai pH tanah diukur menggunakan pH meter dengan cara mengambil 10 g sampel tanah kemudian dimasukkan kedalam 25 ml aquades (pH 7). Selanjutnya dilakukan pengadukan, menggunakan shaker selama 30 menit dengan kecepatan 200 rpm dan didiamkan beberapa menit hingga campuran air dan tanah memisah, kemudian larutan diukur tingkat pH nya (Sulaiman *et al.*, 2005) Pengukuran pH meter dilakukan sebanyak dua kali yaitu di awal dan di akhir penelitian pada umur 21 hari, sesuai dengan pengukuran nitrat.

Pengujian IAA

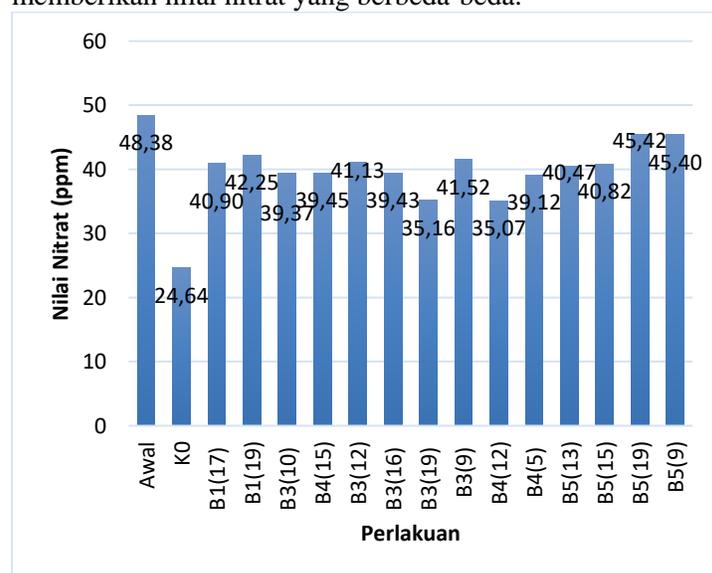
Pengujian IAA menggunakan metode spektrofotometri (Patten & Glick, 2002). Pengujian diawali dengan pembuatan media *Nutrien Broth* (NB) sebanyak 1 L, kemudian ditambahkan L-tryptofan sebanyak 0,1 g. Isolat rizobakteri ditumbuhkan pada media NB sesuai perlakuan. Setelah diinkubasi 3 hari kemudian pada masing-masing suspensi diambil 5 mL menggunakan mikropipet dan dimasukan kedalam tabung reaksi. Suspensi isolat kemudian disentrifugasi selama 30 menit dengan kecepatan 7000 rpm. Supernatan yang terbentuk diambil 1 mL dan dimasukan dalam tabung rekasi, selanjutnya ditambahkan 4 mL *reagen salkowski*, kemudian diinkubasikan selama 3

hari dalam ruangan gelap dan diamati perubahan warna yang terjadi. Jika warna sampel merah muda maka isolat mampu menghasilkan IAA. Supernatan yang menunjukkan kandungan IAA kemudian diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 520 nm. Konsentrasi IAA dari sampel dihitung berdasarkan kurva standard IAA (IAA sintetik) yang sudah dibuat sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Nitrat Tanah

Hasil analisis kandungan nitrat tanah pada awal penelitian (sebelum diinokulasi dengan bakteri penambat nitrogen) sebesar 48,38 ppm, secara lengkap hasil analisis nitrat awal dan akhir ditampilkan dalam Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 nilai nitrat tanah pada awal penelitian lebih tinggi dibandingkan pada akhir penelitian. Nilai nitrat tanah pada kontrol (K0) di akhir penelitian (pada umur 21 hari) menunjukkan nilai paling rendah dibandingkan dengan semua perlakuan rhizobakteri penambat nitrogen. Hal ini menunjukkan bahwa rhizobakteri penambat nitrogen yang diaplikasikan dapat melakukan aktivitasnya dalam menambat nitrogen dari udara, dan berdasarkan Gambar 2 ini juga terlihat bahwa setiap isolate rhizobakteri memberikan nilai nitrat yang berbeda-beda.



Gambar 1. Kandungan nitrat tanah pada awal dan akhir penelitian (umur 21 hari)

Nitrogen di dalam tanah selalu mengalami perubahan bentuk lewat proses fisik, kimia dan biologi yang kompleks (Budiyanto, 2015). Transformasi nitrogen di dalam tanah terjadi

melalui proses fiksasi, mineralisasi, nitrifikasi, immobilisasi, denitrifikasi dan volatilisasi (Barbarick, 2006). Hal ini terlihat dari rendahnya nilai nitrat pada perlakuan kontrol di akhir pengamatan. Pada perlakuan kontrol tidak ada bakteri yang menambat Nitrogen udara untuk dikonversi menjadi ammonium dan nitrat, sehingga kandungan nitrat tanah yang tinggi pada awal penelitian menjadi sangat menurun di akhir penelitian. Kehilangan nitrogen pada penelitian ini terutama disebabkan oleh denitrifikasi karena pada penelitian ini tidak dilakukan proses pelindian. Denitrifikasi merupakan proses perubahan nitrat menjadi gas nitrogen yang dilepas ke atmosfer.

Perbedaan nitrat yang dihasilkan oleh setiap isolat penambat nitrogen dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain faktor genetik dan faktor lingkungan. Faktor genetik akan mempengaruhi rhizobakteri dalam menghasilkan ATP dan enzim nitrogenase. Dalam fiksasi nitrogen diperlukan energi dalam bentuk ATP dan elektron berpotensi rendah secara terus menerus (Saika dan Jain, 2007). Lingkungan hidup bakteri juga mempengaruhi aktivitas penambatan nitrogen. Enzim nitrogenase menjadi tidak aktif jika kadar oksigen di dalam tanah tinggi. Bakteri memiliki mekanisme perlindungan enzim nitrogenase terhadap oksigen, salah satunya dengan membentuk kapsul lendir yang tebal seperti *Azotobacter* (Danapriatna, 2010). Kemampuan melindungi enzim nitrogenase dari oksigen berbeda-beda untuk setiap jenis bakteri. Hal ini mempengaruhi jumlah nitrogen yang dapat difiksasi oleh bakteri dan juga berdampak pada kandungan nitrat di dalam tanah. Pada penelitian ini isolat rizobakteri yang menunjukkan nilai nitrat tertinggi (45,42 ppm) adalah isolat B₅₍₁₉₎.

Kandungan nitrat tanah pada awal penelitian ini tergolong tinggi karena lebih dari 30 ppm, dan pada akhir penelitian untuk perlakuan kontrol menjadi moderat yaitu berada pada kisaran nilai 10-30 ppm. Pada perlakuan aplikasi rizobakteri, semua isolat rizobakteri memberikan nilai nitrat tanah yang tergolong tinggi dengan kisaran nilai nitrat 35,07 – 45,42 ppm, nilai ini lebih rendah dari nilai nitrat pada awal penelitian (sebelum aplikasi rizobakteri). Hal ini diduga sebagian nitrogen hasil penambatan digunakan oleh bakteri untuk aktivitas metabolismenya. Menurut Hartono (2014) senyawa nitrogen yang difiksasi oleh sel bakteri sebagian digunakan oleh sel bakteri itu sendiri untuk sintesis berbagai senyawa nitrogen organik dalam sel, sebagian diekskresikan keluar sel dalam bentuk ammonium melalui mekanisme difusi

sederhana. Senyawa ammonium ini di dalam tanah akan ditransformasi menjadi senyawa nitrat.

Nilai pH Tanah

Nilai pH tanah pada awal penelitian sebesar 4,27 dan pada akhir penelitian nilai pH berkisar antara 4,19 sampai 4,69. Data nilai pH tanah ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 terlihat perlakuan isolat bakteri penambat nitrogen memberikan nilai pH tanah pada akhir penelitian yang berbeda-beda, ada yang lebih rendah, tetap dan lebih tinggi dari nilai pH tanah pada awal penelitian.

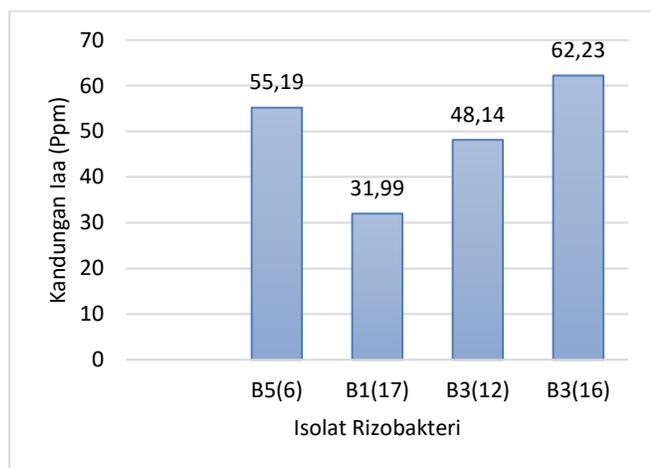


Gambar 2. pH tanah pada awal dan akhir penelitian

Menurut Bayer *et al.* (2001) pH tanah dipengaruhi oleh konsentrasi ion H⁺ dan OH⁻, pH tanah akan turun jika konsentrasi ion H⁺ di dalam larutan tanah meningkat dan terjadi peningkatan pH tanah apabila konsentrasi ion OH⁻ meningkat atau konsentrasi ion H⁺ menurun. Perbedaan nilai pH di akhir penelitian pada perlakuan isolat rizobakteri penambat nitrogen diduga disebabkan sumbangan ion H⁺ dan ion OH⁻ dari berbagai reaksi oksidasi reduksi yang melibatkan rizobakteri. Kemampuan setiap isolat rhizobakteri dalam menambat Nitrogen berbeda-beda, hal ini juga akan mempengaruhi jumlah ammonium yang diekskresikan ke dalam tanah. Selanjutnya ammonium akan dikonversi menjadi nitrat dan nitrat akan mengalami denitrifikasi menjadi nitrit dan gas N₂. Perubahan ammonium menjadi nitrat (nitrifikasi) melepaskan ion H⁺ (Mitsch & Gosselink, 1993), sedangkan proses denitrifikasi menggunakan nitrat sebagai aseptor elektron (ion H⁺) (Reddy & Patrick, 1984).

Hormon IAA

Hasil analisis kandungan IAA dari 4 isolat rizobakteri yang diuji menunjukkan bahwa keempat isolate ini mampu menghasilkan hormon IAA dengan konsentrasi yang berbeda-beda, disajikan pada Gambar 3. Perbedaan jumlah IAA yang dihasilkan oleh isolat rizobakteri diduga disebabkan perbedaan spesies atau strain masing-masing isolat. Setiap isolat memiliki perbedaan kemampuan kecepatan dalam mengkonversi triptofan yang terkandung dalam media menjadi IAA (Asra *et al.*, 2020).



Gambar 3. Kandungan IAA yang dihasilkan isolat rizobakteri

Isolat rizobakteri yang diuji kemampuannya dalam menghasilkan IAA di dalam penelitian ini adalah rizobakteri pelarut fosfat (isolat B₅₍₆₎), rizobakteri pelarut fosfat dan penambat nitrogen (isolat B₁₍₁₇₎) serta rizobakteri penambat nitrogen (isolat B₃₍₁₂₎ dan B₃₍₁₆₎). Pertumbuhan tanaman tidak hanya membutuhkan hara makro dan mikro saja tetapi juga membutuhkan faktor pertumbuhan yang lain seperti zat pengatur tumbuh atau fitohormon. IAA merupakan fitohormon golongan auksin yang mampu diproduksi oleh mikroorganisme tertentu yang berperan pada proses fisiologi tumbuhan (Jumadi *et al.*, 2015). Pada penelitian ini 4 rizobakteri yang diuji mampu menghasilkan IAA dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Konsentrasi IAA tertinggi dihasilkan oleh isolat B₃₍₁₆₎ yaitu 62,23 ppm, sedangkan isolat B₁₍₁₇₎ menghasilkan konsentrasi IAA terendah yaitu 31,99 ppm. Konsentrasi IAA yang dihasilkan isolate rizobakteri yang diuji pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Jumadi *et al.*, (2015)

yang menghasilkan IAA dengan konsentrasi 7,35 – 38,35 ppm.

Perbedaan konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh rizobakteri disebabkan perbedaan pola pertumbuhan isolat rizobakteri, terutama saat masuk dan durasi fase stasioner. IAA diproduksi oleh bakteri pada fase stasioner, pada fase ini kadar nutrisi mulai berkurang dan dibentuk IAA sebagai metabolit sekunder (Chitraselvi *et al.*, 2015). Rizobakteri yang mampu menghasilkan IAA dalam pengujian, akan mampu menghasilkan IAA saat diaplikasikan ke tanah. Hal ini disebabkan pada daerah rhizosfer akan terdapat eksudat akar, satu kandungan eksudat akar adalah tryptophan yang merupakan prekursor IAA.

Hasil pengujian nitrat dan IAA pada penelitian ini menunjukkan bahwa isolat rizobakteri yang diuji mempunyai potensi sebagai PGPR, karena isolat ini mampu melarutkan fosfat, menambat nitrogen dan menghasilkan IAA. Dengan kemampuan yang dimiliki isolat ini mampu menyediakan hara P dan menyediakan nitrat sebagai unsur hara makro yang penting bagi tanaman serta mampu merubah konsentrasi IAA yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman.

KESIMPULAN

Jumlah nitrat yang dihasilkan dari 14 rizobakteri penambat nitrogen berkisar antara 35,07 – 45,42 ppm yang tergolong tinggi dan konsentrasi nitrat tertinggi dihasilkan oleh isolat B₅₍₁₉₎. Selain menghasilkan nitrat, 2 isolat rizobakteri penambat nitrogen dan 2 isolat rizobakteri pelarut fosfat juga menghasilkan IAA dengan konsentrasi antara 31,99 – 62,23 ppm. Keempat isolate rizobakteri ini berpotensi sebagai PGPR.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan dana DIPA Universitas Borneo Tarakan, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada Rektor Universitas Borneo dan Kepala LPPM Universitas Borneo Tarakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Maliki, D.A. 2019. Seleksi Rhizobakteri Indigenous sebagai Agens Pemacu Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays L.*). Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan.

- Asra R, Samarlina RA, dan Silalahi M. 2020. Hormon Tumbuhan Cet. 1. UKI Press. Jakarta.
- Barbarick K. A. 2006. Nitrogen Sources and Transformations. Colorado State University. U.S. Department of Agriculture and Colorado counties cooperating.
- Bayer, C., L.P. Martin-Neto, J. Mielniczuk, C.N. Pillon and L. Sangoi, 2001. Changes in Soil Organic Matter Fractions Under Subtropical No-Till Cropping Systems., Soil Sci. Soc. Am. J. 65, 1473-1478.
- Budiyanto, G. 2015. Reaksi oksido-reduksi dalam siklus nitrogen. Disampaikan dalam Diskusi Alumni Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran Bandung tanggal 23 Mei 2015, 18 hal. <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/1824>. Diakses tanggal 25 Nopember 2021.
- Chitraselvi, P. E., Kalidass, S., and R. Kant. (2015). Efficiency of rhizosphere bacteria in production of Indole Acetic Acid, Siderophore and Phosphate Solubilization. International Journal of ChemTech Research. 7(6), 2557-25564.
- Danapriatna, N. (2010). Biokimia penambatan nitrogen oleh bakteri non simbiotik. Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah. 1 (2), 1–10.
- Das, S., Nurunnabi, T. R., Parveen, R., Mou, A. N., Islam. E., Islam, K. M. D. et al. (2019). Isolation and characterization of indole acetic acid producing bacteria from rhizosphere soil and their effect on seed germination. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8(03), 2319-7706.
- Hartono. (2014). Ekskresi amonium pada bakteri penambat nitrogen dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. Jurnal Bionature. 15 (1), 35-40.
- Jumadi, O., Liawati dan Hartono. (2015). Produksi zat pengatur tumbuh IAA (Indole Acetic Acid) dan kemampuan pelarutan posfat pada isolat bakteri penambat nitrogen asal Kabupaten Takalar. Jurnal Bionature, 16 (1), 43-48.
- Kholida, F. T. dan E. Zulaika. (2015). Potensi *Azotobacter* sebagai penghasil hormon IAA. Jurnal Sains dan Seni ITS, 4 (1), 2337-3520.
- Kurniati, S. (2018). Skrining dan identifikasi bakteri penghasil hormon Indole Acetic Acid (IAA) daerah perakaran padi (*Oriza sativa*) di Kelurahan Balang Kecamatan Binamu Kabupaten Jenepontong. Skripsi. UIN Alauddin Makasar.
- Larosa, S. F., Kusdiyantini, E., Raharjo, B., & Sirjaya, A., (2013). Kemampuan isolat bakteri penghasil Indole Acetic Acid (IAA) dari tanah gambut Sampit Kalimantan Tengah. Jurnal Biologi, 2 (3), 41-54.
- Mitsch W., J. Gosselink. 1993. Wetlands in Water Prevention Identification and Management of Diffuse Pollution. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Patten, C. L., & Glick, B. R. (2002). Role of pseudomonas putida indoleacetic acid in development of the host plant root system. Applied and Environmental Microbiology, 68(8), 3795-3801.
- Pudjiwati, E.H., Zahara, S dan Sartika, D. (2019). Isolasi dan karakterisasi rhizobakteri yang berpotensi sebagai agen pemacu pertumbuhan. Jurnal Borneo Saintek 2 (2), 1-10.
- Rahni, N. M., (2012). Efek fitohormon PGPR terhadap pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays*). CEFARS : Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah, 3 (2), 27-35.
- Reddy, K.R., dan Patrick, W.H., 1984. Nitrogen Transformations and Loss in Flooded Soils and Sediments. J. CRC Crit. Rev. Env. Control, 13:273-309.
- Saika, S.P. and V. Jain. (2007). Biological Nitrogen Fixation With Non-Legumes: An achievable target or dogma Current Sci. 92 (3), 317–322.

Sulaiman, Suparto dan Eviati. (2005). Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.

Tenuta, M., (2006). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Prospects for Increasing Nutrient Acquisition and Disease Control. Department of Soil Science, University of Manitoba, 72-77.

Tisdale, S. L., Nelson, W. L., and. Beaton, J.D. 1985. Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Publ. Co. New York.