

Bakteri Pengendali Cekaman Salinitas yang Menjanjikan untuk Peningkatan Produksi Padi Sawah Kawasan Pesisir

The Promising Salt-Stress Reducing Bacteria in Improving Rice Yield in Coastal Area

Edi Husen*, Selly Salma, Husnain

Balai Penelitian Tanah, Jalan Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16124, Jawa Barat, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 19 Mei 2020
Disetujui: 9 Juli 2020
Dipublikasi online: 3 Agustus 2020

Kata Kunci:

ACC deaminase
Eksopolisakarida
Padi
Salinitas
Pupuk Hayati

Keywords:

ACC deaminase
Exopolysaccharide
Rice
Salinity
Biofertilizer

Direview oleh:

Etty Pratiwi, Eni Maftu'ah

Abstrak. Penurunan produksi padi karena salinitas tanah telah banyak dilaporkan. Beberapa teknologi alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kemampuan bakteri pengurang cekaman kadar garam untuk meningkatkan hasil padi di kawasan pesisir yang terkena salinitas. Penelitian ini terdiri atas analisis laboratorium dan percobaan lapangan pada lahan petani yang terpapar salinitas di Indramayu, Jawa Barat yang dilakukan pada tahun 2018. Sebanyak delapan *strain* bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus* dari penelitian sebelumnya dipilih berdasarkan kemampuannya menghasilkan enzim ACC (*1-aminocyclopropane-1-carboxylate*) deaminase dan berbagai sifat fungsional bermanfaat lainnya. Bakteri ini selanjutnya diuji untuk pengurangan emisi etilen dan produksi senyawa eksopolisakarida (EPS) dan diformulasikan menjadi empat kelompok konsorsium bakteri pengurang cekaman salinitas (PC1, PC2, PC3, dan PC4) berdasarkan kombinasi sifat fungsionalnya. Setiap konsorsium mengandung tiga jenis bakteri yang diformulasikan ke dalam bahan pembawa gambut untuk percobaan lapangan. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor perlakuan, yaitu perlakuan inokulasi bakteri konsorsia (lima taraf) dan pupuk organik (dua taraf), masing-masing kombinasi perlakuan diulang tiga kali. Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa selain mampu memproduksi enzim ACC deaminase, menambat N₂, dan melarutkan fosfat, sebagian besar *strain* bakteri juga mampu menghasilkan EPS dan mengurangi emisi etilen. Eksperimen lapangan menunjukkan bahwa bakteri pengurang cekaman salinitas PC2 mampu meningkatkan hasil padi dengan atau tanpa pemberian bahan organik dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai pupuk hayati tanah salin yang menjanjikan.

Abstract. Decreased rice production due to soil salinity has been widely reported. Alternative promising technologies to overcome this problem is urgently needed. This study aimed to evaluate the ability of salt-stress reducing bacteria to increase rice yield in salt affected areas of low-lying coastal plain. The study consisted of laboratory analyses and field experiment on farmers' land affected by salinity in Indramayu, West Java, conducted in 2018. A total of eight strains of *Pseudomonas* and *Bacillus* from previous studies were selected based on their ability to produce ACC (*1-aminocyclopropane-1-carboxylate*) deaminase and other benefit functional traits. These bacteria were further tested for ethylene emission reduction and exopolysaccharide (EPS) production and formulated into four groups of consortia of salt-stress reducing bacteria (PC1, PC2, PC3, and PC4) based on functional trait combination. Each consortium contains three strains bacteria formulated into peat-based carriers for field experiment. Randomized block design with two treatment factors were applied, namely group of consortia bacteria (five levels) and organic fertilizer (two levels), with three replications. Results of the laboratory analyses showed that besides producing ACC deaminase enzyme, fixing N₂, and solubilizing fixed phosphates, most of bacterial strains were also able to produce EPS and reduce ethylene emission. Field experiment showed that salt-stress reducing bacteria of PC2 increased rice yield with or without organic fertilizer treatments and hence promising as a saline soil biofertilizer.

Pendahuluan

Luas lahan terdampak salinitas di kawasan pesisir pantai Indonesia diperkirakan akan terus bertambah sejalan dengan perubahan iklim. Perubahan iklim yang ditandai dengan terjadinya cuaca ekstrim seperti tingginya curah hujan dan lamanya masa kekeringan sangat

berdampak pada pertumbuhan dan produksi tanaman. Penurunan produksi pangan akibat kadar garam tinggi atau salinitas telah banyak dilaporkan. Beberapa hasil penelitian seperti Scardaci *et al.* (1999) melaporkan bahwa setiap peningkatan 1 unit nilai daya hantar listrik (DHL) di atas 3,0 deci-Siemens/meter (dS m⁻¹) akan menurunkan produksi padi sebesar 12%. Hasil studi lain juga

* Corresponding author: edihusen@yahoo.com

menyimpulkan bahwa tiap peningkatan satu unit nilai DHL air genangan di atas 2 dS m^{-1} akan menurunkan hasil padi sampai 1 t ha^{-1} (Asch and Wopereis 2001). Menurut FAO (2017) kerusakan lahan pertanian akibat salinitas bisa mencapai 50% pada tahun 2050. Oleh sebab itu terobosan inovasi teknologi untuk menanggulangi penurunan produksi akibat salinitas ini sangat diperlukan mengingat akan terus meluasnya lahan pertanian di kawasan pesisir tercekam salinitas akibat perubahan iklim.

Salah satu inovasi teknologi yang saat ini sedang berkembang adalah pemanfaatan mikroba tanah penghasil enzim ACC deaminase (*1-aminocyclopropane-1-carboxylate* deaminase, E.C.4.1.99.4) yang dapat mendegradasi prekursor hormon etilen pada tanaman dalam kondisi tercekam. Berbagai hasil penelitian terkait cekaman salinitas dan cekaman lingkungan lainnya serta mekanisme kerjasama tanaman bersama mikroba untuk mengatasinya telah diringkaskan oleh Grover *et al.* (2011) yaitu jenis-jenis cekaman abiotik pada berbagai tanaman dan mekanisme pengendaliannya. Tanaman tercekam salinitas secara umum memproduksi hormon etilen karena akumulasi senyawa ACC (prekursor hormon etilen) (Glick *et al.* 1998, 2007). Sebagai hormon senesen, etilen memicu pematangan buah, sehingga peningkatan konsentrasi etilen pada masa awal pertumbuhan vegetatif justru menghambat perkecambahan dan perkembangan perakaran (Glick 1995; Mayak *et al.* 1997; Shah *et al.* 1997). Salah satu mekanisme kerjasama tanaman dan mikroba dalam mengatasi cekaman tersebut adalah diproduksi enzim ACC deaminase oleh bakteri. Bakteri penghasil ACC deaminase di sekitar akar tanaman menghidrolisis ACC yang dikeluarkan akar, sehingga membatasi biosintesis etilen, khususnya pada masa vegetatif (Jacobson *et al.* 1994; Glick 1995). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa bakteri penghasil ACC deaminase efektif mengendalikan cekaman salinitas tinggi (Saravanakumar dan Samiyappan 2007). Pengurangan cekaman salinitas pada tanaman oleh bakteri ACC deaminase menurut Mayak *et al.* (2004) juga terkait dengan meningkatnya penyerapan P dan K yang menjadi bagian dari aktivitas proses ameliorasi cekaman kadar garam pada tanaman. Selain menurunkan konsentrasi etilen pada tanaman, beberapa bakteri penghasil ACC deaminase juga mampu menghasilkan senyawa eksopolisakarida yang berperan meningkatkan rasio serapan K^+/Na^+ melalui mekanisme pengikatan Na^+ di sekitar rhizosfer tanaman sehingga tanaman terhindar dari penyerapan Na yang berlebihan (Zahir *et al.* 2009; Nadeem *et al.* 2009; Jalili *et al.* 2009).

Hasil penelitian tahun 2011 telah didapatkan bakteri yang potensial mengendalikan cekaman salinitas pada

tanaman padi di lahan salin (Husen dan Salma 2012). Bakteri ini diisolasi dari rhizosfer tanah sawah di kawasan pesisir pantai Desa Cantigi, Kecamatan Cantigi, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Hasil skrining terhadap 292 isolat diperoleh sebanyak delapan isolat bakteri penghasil enzim ACC deaminase yang mampu menekan gangguan kadar garam tinggi pada bibit padi yang ditanam pada media dengan tingkat DHL 3 dS m^{-1} (Husen dan Salma 2012). Pemanfaatan bakteri ACC deaminase ini memiliki prospek menjanjikan untuk mengurangi kehilangan produksi pangan, khususnya padi yang ditanam pada lahan sawah berkadar garam tinggi. Bakteri ini perlu dikarakterisasi lebih jauh dan diformulasi menjadi pupuk hayati yang sekaligus berperan dalam pengendalian cekaman salinitas untuk meningkatkan produksi padi di kawasan pesisir.

Penelitian ini bertujuan mempelajari lebih jauh berbagai karakter fungsional bakteri pengendali cekaman lingkungan, memformulasinya menjadi pupuk hayati, dan menguji keefektifannya pada tanaman padi sawah di lahan salin.

Bahan dan Metode

Sumber Bakteri dan Peremajaan

Bakteri yang digunakan adalah delapan *strain* bakteri dari genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* hasil penelitian sebelumnya yaitu bakteri yang diisolasi dari contoh tanah dan rhizosfer tanaman padi di daerah pertanian kawasan pesisir di Desa dan Kecamatan Cantigi, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat (Husen dan Salma 2012). Hasil pengujian sebelumnya bakteri ini menghasilkan enzim ACC (*1-aminocyclopropane-1-carboxylate*) deaminase, yaitu enzim yang berperan mengurangi terbentuknya hormon etilen pada tanaman yang tercekam akibat kondisi lingkungan tanah yang buruk seperti kadar garam yang tinggi. Sebagian besar bakteri ini juga memiliki kemampuan menambat N_2 dan melarutkan unsur P yang terikat dalam tanah.

Kedelapan *strain* bakteri ini diremajakan dan diperbanyak pada media selektif garam minimal Dworkin-Foster (DF) (Dworkin and Foster 1958) yang diperkaya dengan amonium sulfat mengikuti prosedur Glick *et al.* (1995). Komposisi media DF adalah 4 g KH_2PO_4 ; 6 g Na_2HPO_4 ; 0,2 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 10 μg H_3BO_3 ; 10 μg MnSO_4 ; 70 μg ZnSO_4 ; 50 μg CuSO_4 ; 10 μg MoO_3 ; 2 g glukosa; 2 g asam glukonat; 2 g asam sitrat; 2 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 12 g agar (untuk media padat) yang dilarutkan dalam 1.000 ml akuades.

Uji Emisi Etilen dan Produksi Eksopolisakarida

Uji emisi etilen dilakukan untuk mengetahui lebih jauh kemampuan tiap *strain* bakteri dalam mengurangi produksi etilen pada kondisi tanaman padi tercekam salinitas. Pengukuran etilen dilakukan pada bibit padi berumur delapan hari yang diinokulasi dengan *strain* bakteri, mengikuti metode Madhaiyan *et al.* (2006). Benih padi disterilisasi permukaan menggunakan campuran alkohol 70% dan NaOCl 2% dan selanjutnya diinokulasi dengan pelet sel bakteri dari hasil peremajaan. Benih padi yang diinokulasi dan yang tanpa inokulasi ditanam pada kantong penumbuh (*growth pouch*). Setelah delapan hari, bibit padi direndam dengan larutan garam steril dengan nilai daya hantar listrik (DHL) 6 dan 12 dS m⁻¹ selama dua jam. Bibit padi selanjutnya dicuci dengan larutan garam dan ditempatkan pada tabung *Vacutainer* yang kemudian ditutup dengan *rubber septum*. Setelah empat jam, udara pada bagian botol bagian atas dihisap dengan suntik penghisap (*syringe*) 1 ml dan kemudian diinjeksikan ke Gas Chromatography yang dilengkapi dengan *flame ionization detector*. Banyaknya etilen yang diemisikan oleh masing-masing perlakuan dibandingkan dengan standar etilen. Pengukuran dilakukan dengan dua kali ulangan.

Kemampuan bakteri menghasilkan eksopolisakarida (EPS) diukur secara kualitatif mengikuti prosedur Nicolaus *et al.* (2002). Masing-masing bakteri ditumbuhkan pada 100 ml medium yang mengandung (per liter) 10 g *yeast extract*, 7,5 g *casamino acids*, 3 g trisodium citrate, 2 g KCl, 20 g MgSO₄.7H₂O, 0,36 mg MnCl₂.4H₂O, 50 mg FeSO₄.7H₂O dan 5% NaCl pada tabung Erlenmeyer 250 ml. Biakan ditumbuhkan selama 5 hari pada mesin penggoyang kecepatan 150 rpm pada suhu kamar. Supernatan dari masing-masing biakan (setelah biakan disentrifus) ditambahkan alkohol absolut secara bertahap untuk melihat endapan yang terbentuk sebagai indikasi positif diproduksi EPS.

Formulasi Konsorsia Bakteri

Formulasi konsorsia bakteri untuk pengujian ke tanaman di lahan petani dilakukan dengan menggabungkan tiga *strain* bakteri berdasarkan uji kompatibilitas (kecocokan) antar *strain* dan keragaman karakter fenotip tiap *strain* bakteri. Konsorsia bakteri ini diformulasi ke dalam bahan pembawa gambut mengikuti prosedur Somasegaran dan Hoben (1994). Bahan pembawa gambut (*carrier*) menggunakan gambut dari Rawa Pening (Jawa Tengah), berukuran partikel 240 mesh atau lebih halus, dan ditambahkan CaCO₃ untuk meningkatkan pH gambut menjadi sekitar 6,5-7,0. Bahan pembawa gambut ini dikemas masing-masing sebanyak

100 g dalam plastik tahan panas. Kemasan bahan pembawa gambut ini diinokulasi dengan biakan masing-masing kultur cair (10⁹ sel ml⁻¹, pada akhir fase log) dengan kadar air akhir sekitar 30%. Inokulasi bakteri ke dalam plastik berisi gambut dilakukan secara aseptik menggunakan *syringe*.

Uji Efektivitas Formula di Lahan Petani

Pengujian di lahan petani dilakukan di lahan sawah daerah pesisir pantai, Desa Kertawinangun, Kecamatan Kandanghaur, Kabupaten Indramayu. Secara geografis lokasi ini terletak pada -6,32784 LS dan 108,07155 BT. Berdasarkan Atlas Peta Tanah Semidetil Skala 1:50.000 Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat, lokasi tersebut merupakan dataran fluvio-marine dari bahan induk endapan liat. Tanah termasuk Gleisol Eutrik (*Typic Endoaquepts*), drainase terhambat, tekstur halus (liat), pH agak masam (pH 6,25), KTK tinggi, KB sangat tinggi (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian 2017). Berdasarkan Peta Salinitas di Kabupaten Indramayu salinitas tanah di lokasi percobaan ini tergolong sangat tinggi, yaitu memiliki nilai DHL >8 dS m⁻¹ (Balai Penelitian Tanah 2010). Namun dari hasil pengukuran di lapangan menggunakan alat pengukur salinitas *portable*, tingkat salinitas tanah tergolong sedang sampai tinggi (DHL antara 3-5 dS m⁻¹). Hasil analisis contoh tanah komposit menunjukkan kadar Na dapat tukar > 8 cmol kg⁻¹.

Percobaan di lahan petani menggunakan rancangan acak kelompok dengan dua faktor perlakuan, faktor pertama inokulasi konsorsia bakteri lima taraf dan faktor kedua pemberian pupuk organik dengan dua taraf (tanpa dan pemberian pupuk organik sebanyak 5 t ha⁻¹). Masing-masing kombinasi perlakuan diulang tiga kali. Inokulasi perlakuan konsorsia bakteri PC1, PC2, PC3, dan PC4 (sesuai perlakuan) dilakukan pada benih padi. Varietas padi yang digunakan adalah varietas Sidenuk. Pemupukan NPK untuk semua petak percobaan didasarkan pada status hara NPK tanah sawah menggunakan perangkat uji tanah sawah (PUTS), yaitu 120 kg ha⁻¹ N, 30 kg ha⁻¹ P₂O₅, dan 30 kg ha⁻¹ K₂O. Benih padi diinokulasi dengan masing-masing formula konsorsia bakteri PC1, PC2, PC3, dan PC4 sesuai perlakuan.

Hasil dan Pembahasan

Kemampuan Reduksi Etilen dan Produksi Eksopolisakarida

Kemampuan bakteri mereduksi etilen disajikan pada Tabel 1. Hasil ini memperlihatkan bahwa semua bibit padi

umur delapan hari yang diinokulasi dengan bakteri mampu mereduksi etilen pada bibit padi yang direndam air bersalinitas 6 dS m⁻¹ maupun 12 dS m⁻¹. Kemampuan mereduksi etilen, relatif terhadap perlakuan tanpa inokulasi (Kontrol), mencapai lebih dari 65% dan sebagian besar lebih besar dari 80%. Kemampuan ini mengindikasikan bahwa enzim ACC deaminase yang dihasilkan oleh bakteri ini mampu mendegradasi prekursor etilen, yaitu ACC (*Aminocyclopropane Carboxylate*), menjadi amoniak dan α-ketobutirat seperti dijelaskan Glick *et al.* (1998).

Kemampuan menghasilkan senyawa eksopolisakarida (EPS) ditunjukkan oleh enam dari delapan strain bakteri yang digunakan yang dindikasikan oleh endapan yang terbentuk. Dua strain bakteri yang tidak menghasilkan EPS adalah RRp 27.3 dan RRp 27.6 (Tabel 2). Kemampuan

menghasilkan EPS ini penting dalam mengendalikan dampak buruk salinitas karena senyawa ini mampu meningkatkan rasio serapan K⁺/Na⁺ melalui mekanisme pengikatan Na⁺ di sekitar rhizosfer tanaman sehingga tidak mengganggu penyerapan K⁺ dan Ca²⁺ oleh tanaman (Zahir *et al.* 2009; Nadeem *et al.* 2009; Jalili *et al.* 2009).

Berdasarkan kedua hasil uji sifat fenotip yang penting dalam mengendalikan salinitas ini, semua strain bakteri yang digunakan dalam penelitian ini juga memiliki berbagai sifat menguntungkan. Selain mampu menghasilkan enzim ACC deaminase, menambat N₂ (sebagian besar tumbuh pada media tanpa N), dan melarutkan P terikat (sebagian besar tumbuh pada media fosfat terikat) dari hasil penelitian sebelumnya (Husen dan Salma 2012), strain bakteri ini juga mampu mereduksi etilen dan menghasilkan senyawa EPS.

Tabel 1. Kemampuan mereduksi etilen oleh strain bakteri pada bibit padi umur delapan hari

Table 1. The ability of bacterial strain used to reduce ethylene on eight-day rice seedling

Perlakuan strain bakteri	Reduksi etilen dan % terhadap kontrol				Rata-rata reduksi etilen
	6 dS m ⁻¹		12 dS m ⁻¹		
	ppm g ⁻¹ j ⁻¹ *	%	ppm g ⁻¹ j ⁻¹	%	%
Tanpa inokulasi (kontrol)	1,4180	-	0,8459	-	-
<i>Bacillus</i> RRp 27.3	0,2615	81,6	0,1436	83,0	82,3
<i>Bacillus</i> RRp 27.6	0,1327	90,6	0,1297	84,7	87,7
<i>Bacillus</i> RRp 27.29	0,2538	82,1	0,3783	55,3	68,7
<i>Pseudomonas</i> Rp 21.15	0,3599	74,6	0,0978	88,4	81,5
<i>Bacillus</i> RRp 39.7	0,1856	86,9	0,0957	88,7	87,8
<i>Pseudomonas</i> RRp 39.15	0,1671	88,2	0,4738	44,0	66,1
<i>Pseudomonas</i> RRp 19.18	0,0535	96,2	0,0660	92,2	94,2
<i>Pseudomonas</i> RRp 42.4	0,1841	87,0	0,4014	52,6	69,8

* ppm g⁻¹ j⁻¹ = emisi etilen dalam satuan ppm per gram tanaman per jam.

Tabel 2. Karakteristik konsorsium bakteri pengendali cekaman (PC) berdasarkan hasil pengelompokan karakter fenotip bakteri

Table 2. Characteristics of concertium of stress reducing bacteria based on the grouping of bacterial phenotypic traits

No.	Strain	ACC Deaminase	Fiksasi N ₂	Pelarutan P	EPS	Reduksi Etilen	Grup Konsorsia Bakteri			
							PC1	PC2	PC3	PC4
1.	RRp27.3	+	-	+	-	+	o	o	o	√
2.	RRp27.6	+	+	+	-	+	o	o	√	o
3.	RRp27.29	+	+	+	+	+	√	o	o	o
4.	Rp21.15	+	+	+	+	+	o	√	o	√
5.	RRp39.7	+	+	+	+	+	√	o	√	o
6.	RRp39.15	+	+	-	+	+	√	√	o	o
7.	RRp19.18	+	-	-	+	+	o	o	√	o
8.	RRp42.4	+	+	-	+	+	o	√	o	√

Keterangan:

- PC1 = mengandung *Bacillus* strain RRp27.29, RRp39.7, dan *Pseudomonas* strain RRp39.15 dengan masing-masing sifat fenotip unggulnya
- + = mampu/menghasilkan; - = tidak mampu/tidak menghasilkan
- √ = anggota konsorsia; o = bukan anggota konsorsia

Karakteristik Konsorsia Bakteri Pengendali Cekaman

Hasil analisis semua karakter fungsional semua strain bakteri yang diuji diperoleh empat konsorsia yang masing-masing mengandung tiga *strain* bakteri yang memiliki sifat fenotip lengkap atau saling melengkapi. Karakteristik masing-masing formula konsorsia bakteri tersebut yang dinamai konsorsia bakteri pengendali cekaman (PC), yaitu PC1, PC2, PC3, dan PC4 disajikan pada Tabel 2. Formula konsorsia bakteri PC1 mengandung *Bacillus* strain RRp27.29, RRp39.7, dan *Pseudomonas* strain RRp39.15 yang tidak saling antagonis. Demikian pula untuk konsorsia bakteri PC2, PC3, dan PC4 seperti pada Tabel 2. Tiap formula konsorsia mengandung strain bakteri dengan karakter fenotip menguntungkan dan saling melengkapi, yaitu mampu menghasilkan enzim ACC deaminase dan mereduksi produksi etilen pada masa tanaman tercekam, menambat N₂, melarutkan hara P yang terikat, menghasilkan senyawa eksopolisakarida yang penting menjaga keseimbangan osmotik di lingkungan perakaran tanaman akibat tingginya kadar NaCl pada lahan salin.

Efektivitas Konsorsia Bakteri pada Tanaman Padi

Pertumbuhan vegetatif tanaman padi pada semua petak percobaan tidak memperlihatkan adanya gejala tanaman tercekam salinitas. Hasil pengukuran tinggi tanaman dan jumlah anakan pada padi umur 45 hari setelah tanam (HST) tidak menunjukkan perbedaan antara perlakuan (Tabel 3). Namun data hasil panen terlihat perlakuan dengan konsorsia bakteri memperlihatkan hasil lebih baik (Tabel 4). Pengaruh positif perlakuan bakteri ini tidak dipengaruhi oleh perlakuan bahan organik (tidak ada interaksi antar faktor). Padi yang diinokulasi dengan konsorsia bakteri PC2, dengan penambahan ataupun tanpa

pemberian bahan organik (pupuk kandang) memberikan hasil tertinggi (9,16 t ha⁻¹ GKG) yang nyata berbeda dengan perlakuan kontrol (tanpa inokulasi). Konsorsia bakteri PC2 yang berisi *Pseudomonas* strain RRp21.15, RRp39.15, dan RRp42.4 ini perlu diuji lebih lanjut di lahan salin pada lokasi yang berbeda karena mempunyai prospek untuk dikembangkan sebagai pupuk hayati pengendali cekaman salinitas pada padi sawah di kawasan pesisir.

Secara keseluruhan hasil penelitian memperlihatkan bahwa bakteri yang memiliki aktivitas enzim ACC deaminase berperan penting sebagai peredam kadar etilen pada tanaman yang tercekam. Semua strain mampu mengurangi lebih dari 65% etilen yang diemisikan bibit padi. Berbagai hasil studi memperlihatkan bahwa peningkatan salinitas tanah sering dikaitkan dengan percepatan produksi etilen pada tanaman yang mengarah pada gangguan pertumbuhan secara keseluruhan. Pengurangan cekaman salinitas dengan mengurangi produksi etilen ini mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman padi seperti dilaporkan Sarkar *et al.* (2018). Hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa sebagian besar strain bakteri yang diuji mampu menghasilkan senyawa EPS. Strain bakteri pada konsorsia PC2 semuanya mampu menghasilkan EPS yang berperan penting mengikat kation Na⁺ dan secara bertahap dapat mengurangi jumlah ketersediaan Na⁺ yang telah dibuktikan memberikan peningkatan toleransi garam pada tanaman (Upadhyay *et al.* 2011).

Kemampuan strain bakteri pada konsorsia PC2 dalam menambat N₂ juga penting dalam penghematan pupuk N anorganik dan mengurangi potensinya sebagai penyumbang emisi N₂O. Sebagai komoditas penting,

Tabel 3. Pengaruh konsorsium bakteri pengendali cekaman salinitas dan pupuk kandang terhadap tinggi tanaman dan jumlah anakan padi umur 45 hari setelah tanam

Table 3. Effect of consortia of salt stress reducing bacteria and organic fertilizer on plant height and number of tillers at 45 days after transplanting

Pupuk hayati	Tinggi tanaman*			Jumlah anakan*		
	Pupuk kandang		Rata-rata	Pupuk kandang		Rata-rata
	0	5 t ha ⁻¹		0	5 t ha ⁻¹	
cm.....					
Tanpa	73,80	73,33	73,57 a	19,40	19,80	19,60 a
PC1	75,60	76,60	76,10 a	16,67	19,40	18,03 ab
PC2	69,20	77,80	73,50 a	15,47	18,00	16,73 b
PC3	71,07	73,67	72,37 a	19,73	19,33	19,53 a
PC4	75,73	74,93	75,33 a	17,13	18,27	17,70 ab
Rata-rata	73,08 a	75,27 a		17,68 a	18,96 a	

* Angka yang diikuti huruf yang sama pada lajur yang sama atau baris yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMRT DMRT

Tabel 4. Pengaruh konsorsium bakteri pengendali cekaman salinitas dan pupuk kandang terhadap bobot gabah kering panen dan gabah kering giling (kadar air 14%)

Table 4. Effect of consortia of salt stress reducing bacteria and organic fertilizer on the weight of harvested unhusked rice and milled unhusked rice (14% moisture content)

Pupuk hayati	Gabah kering panen*			Gabah kering giling *		
	Pupuk kandang		Rata-rata	Pupuk kandang		Rata-rata
	0	5 t ha ⁻¹		0	5 t ha ⁻¹	
t ha ⁻¹					
Tanpa	8,71	9,20	8,96 b	8,20	8,64	8,42 b
PC1	8,67	9,39	9,03 b	8,14	8,60	8,37 b
PC2	9,82	9,84	9,83 a	9,16	9,13	9,14 a
PC3	9,14	9,37	9,25 ab	8,52	8,79	8,65 ab
PC4	9,08	8,96	9,02 b	8,51	8,48	8,50 ab
Rata-rata	9,08 a	9,35 a		8,51 a	8,72 a	

* Angka yang diikuti huruf yang sama pada lajur yang sama atau baris yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% uji DMRT

penggunaan pupuk anorganik N pada tanaman padi memang tidak bisa dihindari. Namun penggunaan bakteri yang mampu menambat nitrogen di era pertanian modern ini menjadi salah satu strategi cerdas untuk mengurangi penggunaan pupuk anorganik nitrogen tanpa kehilangan produksi (Bordoloi *et al.* 2019). Sejalan dengan hasil penelitian Orozco-Mosqueda *et al.* (2020), penggunaan bakteri yang memiliki aktivitas ACC deaminase serta sifat-sifat fungsional lain seperti penambat N₂ dan pelarut P seperti diperlihatkan oleh konsorsia bakteri PC2 merupakan pilihan yang tepat untuk meningkatkan mutu dan hasil tanaman pertanian secara signifikan di tanah salin.

Kesimpulan

Kemampuan bakteri penghasil enzim ACC deaminase mendegradasi prekursor hormon senescen etilen ACC (*Aminocyclopropane Carboxylate*) dapat dibuktikan atau sejalan dengan kemampuannya mereduksi emisi etilen pada tanaman terpapar salinitas. Penggabungan beberapa strain bakteri sebagai konsorsia bakteri pengendali cekaman salinitas yang memiliki berbagai sifat fungsional penting seperti penghasil senyawa eksopolisakarida dan penambat N₂ mampu meningkatkan hasil padi pada lahan salin kawasan pesisir. Namun demikian, pengembangan konsorsia bakteri pengendali cekaman salinitas ini sebagai pupuk hayati lahan salin memerlukan pengujian lebih lanjut agar keefektifannya dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil padi di berbagai tingkatan lahan salin dapat lebih terukur dan meyakinkan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana atas dana Kerja Sama Penelitian, Pengkajian dan Pengembangan Pertanian Strategis (KP4S), Badan Litbang Pertanian, Tahun 2018. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih. Naskah ini ditulis oleh Edi Husen sebagai “Kontributor Utama,” sedangkan Selly Salma dan Husnain adalah “Kontributor Anggota.”

Daftar Pustaka

Asch F, Wopereis MCS. 2001. Responses of field-grown irrigated rice cultivars to varying levels of floodwater salinity in a semi-arid environment. *Field Crops Res.* 70:127-137.

Balai Penelitian Tanah. 2010. Peta Salinitas Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2017. Atlas Peta Tanah Semidetil Skala 1:50.000 Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. Versi Update 2017. BBSDLP. Badan Litbang Pertanian. Bogor.

Bordoloi N, Baruah KK, Bhattacharyya P, Gupta PK. 2019. Impact of nitrogen fertilization and tillage practices on nitrous oxide emission from a summer rice ecosystem. *Arch. Agron Soil Sci.* 14:340-365. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1566716>.

Dworkin M, Foster J. 1958. Experiments with some microorganisms which utilize ethane and hydrogen. *J. Bacteriol.* 75:592-601.

- FAO, The Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. World Hunger on the Rise. <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition>.
- Glick BR. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 4:109-117.
- Glick BR, Penrose DM, Li J. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growth promoting bacteria. *J. Theor. Biol.* 190:63-68.
- Glick BR, Todorovic B, Czarny J, Cheng Z, Duan J. 2007. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Crit. Rev. Plant Sci.* 26:227-242.
- Grover M, Ali SkZ, Sandhya V, Rasul A, Venkateswarlu B. 2011. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World J Microbiol Biotechnol.* 27:1231-1240.
- Jacobson CB, Pasternak JJ, Glick BR. 1994. Partial purification and characterization of ACC deaminase from the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. *Can. J. Microbiol.* 40:1019-1022.
- Jalili F, Khavazi K, Pazira E, Nejati A, Rahmani HA, Sadaghiani HR, Miransari M. 2009. Isolation and characterization of ACC deaminase-producing fluorescent pseudomonads, to alleviate salinity stress on canola (*Brassica napus* L.) growth. *J. Plant Physiol.* 166:667-674.
- Husen E, Salma S. 2012. Skrining Bakteri Penghasil ACC Deaminase untuk Ameliorasi Cekaman Salinitas pada Padi Sawah. *Jurnal Tanah dan Iklim.* 2(36):1- 11.
- Madhaiyan M, Poonguzhali S, Ryu J, Sa T. 2006. Regulation of ethylene levels in canola (*Brassica campestris*) by 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase-containing *Methylobacterium fujisawaense*. *Planta.* 224:268-278.
- Mayak S, Tirosh T, Glick BR. 1997. The influence of plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. p. 313-315 In: A. Ogoshi et al. (ed.) *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, Present status and Future Prospects. Proceedings of the Fourth International Workshop on PGPR. Japan-OECD Joint Workshop. Sapporo, Japan. October 5-10, 1997.*
- Mayak S, Tirosh T, Glick BR. 2004. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomato and pepper. *Plant Sci.* 166:525-530.
- Nadeem SM, Zahir ZA, Naveed M, Arshad M. 2009. Rhizobacteria containing ACC-deaminase confer salt tolerance in maize grown on salt-affected fields. *Can. J. Microbiol.* 55:1302-1309.
- Nicolaus B, Lama L, Panico A, Moriello VS, Romano I, Gaambacorta A. 2002. Production and characterization of exopolysaccharides excreted by thermophilic bacteria from shallow, marine hydrothermal vents of Flegrean Ares (Italy). *Syst. Appl. Microbiol.* 25:319-325.
- Orozco-Mosqueda MC, Glick BR, Santoyo G. 2020. ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): An efficient mechanism to counter salt stress in crops. *Microbiol. Res.* 235(1-10).
- Saravanakumar D, Samiyappan R. 2007. ACC deaminase from *Pseudomonas fluorescens* mediated saline resistance in groundnut (*Arachis hypogea*) plants. *J. Appl. Microbiol.* 102:1283-1292.
- Sarkar A, Pramanik K, Mitra S, Soren T, Maiti TK. 2018. Enhancement of growth and salt tolerance of rice seedlings by ACC deaminase-producing *Burkholderia* sp. MTCC 12259. *J. Plant Physiol.* 231:434-442.
- Scardaci SC, Eke AU, Hill JE, Shannon MC, Rhoades JD. 1999. *Water and Soil Salinity Studies on California Rice. Rice Publication No. 2, U.C. Cooperative Extension, Sunrise Boulevard, Suite E, Colusa, California.*
- Shah S, Li J, Moffatt BA, Glick BR. 1997. ACC deaminase genes from plant growth promoting rhizobacteria. p. 320-324 In Ogoshi, A., Kobayashi, K., Homma, Y., Kodama, F., Kondo, N. and S. Akino (Eds.) *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Present Status and Future Prospects. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.*
- Somasegaran P, Hoben HJ, 1994. *Handbook for Rhizobia, Methods in Legum-Rhizobium Technology. Springer-Verlag, New York.*

Upadhyay SK, Singh JS, Singh DP. 2011. Exopolysaccharide producing PGPR under salinity condition. *Pedosphere* 21 (2):214-222.

Zahir ZA, Ghani U, Naveed M, Nadeem SM, Asghar HN. 2009. Comparative effectiveness of *Pseudomonas* and *Serratia* sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. *Arch Microbiol* 191:415-424.