

ISOLASI BAKTERI PENDEGRADASI HERBISIDA DARI RHIZOSFER TANAMAN PADI SAWAH DAN TANAMAN HUTAN

Fany Juliarti Panjaitan¹, Bayu Adirianto¹, Taufiq Bachtiar¹

¹Mahasiswa Pascasarjana Bioteknologi Tanah dan Lingkungan, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Email : fanyjuliarti@yahoo.co.id

Telah diketahui terdapat bakteri yang berperan penting dalam transformasi dan degradasi residu herbisida. Bakteri tersebut menyebabkan residu yang semula sangat toksik menjadi tidak toksik bagi kesehatan dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan isolat bakteri unggul dalam mendegradasi residu herbisida. Bakteri pendegradasi herbisida diisolasi dari rhizosfer tanaman padi sawah dan tanaman hutan yang ditumbuhkan pada media modifikasi MSM (*Minimal Salt Medium*) dengan tambahan yeast, pepton dan herbisida dengan konsentrasi 0, 10, 50, dan 100 ppm sebagai perlakuan untuk seleksi isolat yang mampu mendegradasi herbisida. Parameter yang diuji dalam percobaan ini adalah pertumbuhan dan karakteristik morfologi bakteri, uji patogenitas, uji pada tanaman padi, dan respirasi CO₂. Hasil pengamatan ditemukan 2 isolat dari rhizosfer tanaman padi sawah, yaitu SH1, SH2, dan 2 isolat dari rhizosfer tanaman hutan, yaitu HH1 dan HH2 mampu bertahan pada herbisida dengan konsentrasi 100 ppm. Keempat isolat tersebut juga telah diuji sifat patogenitasnya pada tanaman tembakau. Hasil pengujian 4 isolat terhadap tanaman padi menunjukkan bahwa perlakuan SH2 memiliki pengaruh positif terhadap rata-rata tinggi dan berat kering tanaman padi pada 12 HST tertinggi, yaitu 21 cm dan 0,16 g. Pengujian respirasi bakteri pendegradasi herbisida dengan kode HH2 memberikan hasil tertinggi dalam menghasilkan CO₂, yaitu 9,31 mg CO₂/hari/100 g tanah, kemudian diikuti oleh SH2, yaitu 9,2 mg CO₂/hari/100 g tanah. Hal ini menunjukkan bahwa SH2 memiliki potensi dalam menurunkan pengaruh negatif herbisida pada tanah yang ditanami tanaman padi yang mengindikasikan bahwa adanya proses metabolisme bakteri dalam mendegradasi herbisida dengan bahan aktif paraquat diklorida.

Kata Kunci : Bakteri pendegradasi herbisida, uji patogenitas, respirasi mikrob, Paraquat Diklorida.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan kekayaan yang melimpah pada bidang pertanian, kehutanan, perkebunan, peternakan, dan perikanan. Kondisi alam Indonesia yang strategis sangat mendukung dan memberikan peluang bagi sebagian besar masyarakat Indonesia untuk melakukan kegiatan usaha di bidang pertanian maupun yang berkaitan dengan pertanian. Indonesia telah mampu mencapai swasembada pangan pada tahun 1984 melalui gerakan "Revolusi Hijau" yaitu gerakan untuk meningkatkan produksi pangan melalui usaha pengembangan teknologi pertanian.

Saat ini kebutuhan manusia akan pangan terus meningkat, peningkatan tersebut berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah penduduk. Jumlah penduduk dunia saat ini mencapai lebih dari 7 miliar orang dengan kebutuhan sereal diproyeksikan sebesar 2.464,6 juta ton, sehingga stok yang tersisa pada akhir tahun 2014 diproyeksikan sebesar 628,4 juta ton. Jumlah penduduk dunia diproyeksikan bertambah menjadi 14 miliar dalam waktu kurang dari empat dasawarsa mendatang (DKP, 2015). Permintaan sereal untuk makanan dan pakan ternak diproyeksikan mencapai sekitar 3 miliar ton pada tahun 2050 (FAO, 2009). Tekanan yang kuat

terhadap kondisi ini tentu memacu setiap orang yang bergerak di bidang pertanian untuk berupaya mengatasi masalah tersebut melalui kegiatan peningkatan produksi pertanian. Produksi tinggi yang telah dicapai banyak didukung oleh teknologi dengan input (masukan) bahan-bahan anorganik yang tinggi terutama bahan kimia pertanian seperti pupuk dan pestisida yang berbahaya bagi kesehatan dan merusak fungsi tanah dengan dosis tinggi secara terus-menerus.

Salah satu pestisida yang digunakan dalam dunia pertanian adalah herbisida dengan bahan aktif paraquat diklorida untuk membasmi gulma. Paraquat disintesis pertama kali pada tahun 1882, tetapi pemanfaatannya sebagai herbisida baru dilakukan pada tahun 1995 oleh pusat penelitian *Jealons Hill ICI*. Menurut informasi dari US *Environmental Protection Agency* (EPA), paraquat ditempatkan di Keracunan Kategori I (tertinggi) untuk efek inhalasi akut, di Kategori II untuk jalur oral, dan di Kategori III dengan jalur dermal (kulit) (Li *et al.*, 2004). Setelah akut dengan dosis mematikan dari paraquat, kematian bisa terjadi beberapa hari setelah inhalasi (Lin *et al.*, 2010). Jika tertelan, paraquat menginduksi sensasi terbakar di mulut dan tenggorokan, kemudian mengakibatkan mual, muntah, diare, cairan, dan kehilangan elektrolit (Suntres, 2002; Baer, 2005). Target organ oleh paraquat termasuk mata, kulit, sistem pernapasan, jantung, hati, ginjal, dan saluran pencernaan (NIOSH, 2012b). Efek racun paraquat juga menyebabkan kerusakan sistem saraf pusat yang telah diujikan pada tikus (Wua *et al.*, 2013).

Penggunaan herbisida sintetik yang berlebihan dalam meningkatkan produksi pertanian masih saja terus dilakukan, hal ini tentu saja menambah panjang daftar ancaman serius terhadap ketahanan dan keamanan pangan. Pendekatan sains terutama dalam manajemen ekologi lingkungan ke dalam sistem pertanian sangat dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan pertanian yang berkaitan dengan kesehatan dan lingkungan seperti masalah pencemaran herbisida pada tanah. Salah satu teknologi untuk merehabilitasi tanah yang tercemar dikenal dengan bioremediasi yaitu merehabilitasi tanah yang tercemar dengan memanfaatkan mikrob baik bakteri maupun fungi (Kurnia *et al.*, 2009).

Bakteri berperan penting dalam transformasi dan degradasi residu herbisida yang semula sangat toksik menjadi tidak toksik bagi kesehatan dan lingkungan. Bahkan herbisida paling persisten pun dapat dimetabolisme sampai batas tertentu oleh kultur mikroba. Senyawa dalam pestisida dapat dimanfaatkan oleh mikroba baik sebagai sumber energi atau nutrisi, atau sebagai *co-metabolisme* dengan substrat lain yang dapat mendukung pertumbuhan mikroba (Castillo, 2006).

Bakteri pendegradasi herbisida dapat diisolasi dari berbagai daerah perakaran (rhizosfer) tanaman seperti tanaman padi sawah dan hutan. Rhizosfer merupakan daerah yang ideal bagi tumbuh dan berkembangnya mikrob tanah. Hal ini berkaitan dengan disekresikannya beberapa macam nutrisi di dalam rhizosfer yang dapat dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber energi untuk meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas di sekitar rhizosfer. Bakteri pendegradasi herbisida dari rhizosfer tanaman padi sawah dan hutan mampu menggunakan herbisida karena kemampuan bakteri tersebut dalam beradaptasi yang dilakukan secara artifisial di laboratorium sebagai sumber nutrisi dan energinya serta adanya metabolit sekunder atau enzim yang dihasilkan oleh bakteri dalam mendegradasi residu herbisida. Sembodo (2010), berbagai mikrob rhizosfer mampu beradaptasi dengan baik pada kondisi lingkungannya diketahui mempunyai kemampuan mendegradasi berbagai molekul organik kompleks dan juga beberapa herbisida. Rahmansyah dan Sulistinah (2009), bakteri yang tetap bertahan hidup di lingkungan dengan kandungan pestisida merupakan ekspresi bakteri yang mampu hidup dan dapat mendegradasi pestisida. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan isolat unggul dalam mendegradasi residu herbisida sintetik. Dengan ditemukannya isolat unggul diharapkan residu-residu herbisida di lahan pertanian menurun sehingga kualitas tanah tetap terjaga.

METODOLOGI

Isolasi Mikrob Pendegradasi Herbisida

Isolasi mikrob pendegradasi herbisida dilakukan dengan metode *spread plate*. Sebanyak 10 g sampel tanah dimasukkan ke dalam 90 mL larutan fisiologis (NaCl 0,85%), lalu dikocok hingga homogen sehingga didapatkan konsentrasi 10^{-1} . Selanjutnya 1 mL dari konsentrasi 10^{-1} dimasukkan ke dalam 9 mL larutan fisiologis (NaCl 0,85%), kemudian dihomogenkan dengan *vortex* sehingga didapatkan konsentrasi 10^{-2} . Pengenceran dilakukan dengan cara yang sama hingga konsentrasi 10^{-7} . Media modifikasi MSM (*Minimal Salt Medium*) dengan tambahan yeast dan pepton disiapkan dan disterilisasi dengan autoklaf pada tekanan 121 atm selama 20 menit. Setelah media tersebut bersuhu sekitar 40°C kemudian herbisida dimasukkan dengan konsentrasi 0, 10, 50, dan 100 ppm pada masing-masing erlemeyer kemudian dituang pada cawan petri. Sebanyak 1 mL dari pengenceran 10^{-5} hingga 10^{-7} disebar pada cawan petri secara aseptik di dalam *Laminar Air Flow* kemudian dilabel dan diinkubasi pada suhu 30°C selama 7 hari. Pemurnian isolat dilakukan dengan inokulasi mikrob pendegradasi herbisida pada konsentrasi tertinggi ke dalam cawan petri. *Single colony* disimpan dalam agar miring sebagai *stock culture* dalam inkubator.

Uji Hipersensitif Mikrob Pendegradasi Herbisida

Sebelum uji hipersensitif mikrob pendegradasi herbisida dilakukan, konsentrasi sel mikrob ditentukan menggunakan metode McFarland. Isolat disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm selama 5 menit kemudian diambil pelet mikrob. Larutan BaCl₂ 1,175% sebanyak 0,1 mL dan H₂SO₄ 1% sebanyak 9,9 mL dicampurkan yang setara dengan kekeruhan bakteri sekitar 3x10⁸ CFU/mL kemudian pelet mikrob tersebut diencerkan dengan akuades steril hingga tingkat kekeruhannya sama dengan standard McFarland yang digunakan.

Uji hipersensitif dilakukan untuk mengetahui isolat yang berpotensi patogen bagi tanaman. Uji hipersensitif mikrob pendegradasi herbisida menggunakan modifikasi metode Thapa *et al.* (2012). Mikrob tersebut diperbanyak dalam media cair modifikasi MSM (*Mineral Salt Medium*) dengan tambahan yeast dan pepton kemudian menyuntikkan 1 mL suspensi mikrob (3x10⁸ CFU/ml) ke permukaan bawah daun tanaman tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) menggunakan *syringe* steril (tanpa jarum) dan diamati selama 1 minggu. Jika terjadi nekrosis pada titik suntikan, mikrob tersebut berpotensi patogen bagi tanaman.

Pengujian Mikrob Pendegradasi Herbisida pada Tanaman Padi

Sebanyak 5 mL herbisida dengan konsentrasi 100 ppm disuntikkan ke dalam wadah berisi tanah dan suspensi masing-masing mikrob pendegradasi herbisida diinokulasikan ke dalam wadah berisi tanah terkontaminasi herbisida sebanyak 5 mL (1,5x10⁹ CFU/ml), tanah yang diberi air sebagai kontrol air (KA) dan tanah yang diberi herbisida sebagai kontrol herbisida (KH) tanpa diinokulasi mikrob kemudian diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang. Setelah itu benih tanaman padi varietas Ciherang direndam selama 24 jam dan ditanam sebanyak tiga biji per wadah berisi tanah tersebut kemudian diamati tinggi tanaman dan berat kering tanaman pada hari ke-3, 6, 9, dan 12.

Pengujian Mikrob Pendegradasi Herbisida dengan Pendekatan Respirasi Mikrob

Sebanyak 100 g tanah yang telah disterilisasi dengan sinar gamma dimasukkan ke dalam toples kedap udara kemudian sebanyak 5 mL herbisida dicampurkan ke tanah dan diinokulasi dengan suspensi mikrob pendegradasi herbisida 5 mL (1,5x10⁹ CFU/ml). Sebanyak 5 mL air dan 5 mL KOH (11,12 g/l) pada masing-masing botol film dimasukkan ke dalam toples kedap udara kemudian ditutup rapat. Inkubasi selama 7 hari pada suhu ruang. Pengukuran respirasi mikrob dilakukan dengan memberi 3 tetes

indikator *metil orange* pada botol film berisi KOH kemudian dititrasi dengan HCL 0,1N sampai warna menjadi bening lalu diberi 3 tetes *phenolptalin* dan dititrasi kembali dengan HCL 0,1N sampai warna menjadi merah muda. Respirasi mikrob dihitung menggunakan rumus sebagai berikut: $R = [(A-B) \cdot N \cdot 120]/t$, dimana R: respirasi tanah dalam mg C-CO₂/g/hari; A: mL HCl contoh tanah; B: mL HCl kontrol; N: normalitas HCl, t: lama inkubasi (hari) (Anas, 1989).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Mikroba Pendegradasi Herbisida

Berdasarkan hasil pengamatan, diperoleh sebanyak 3 isolat mikrob dari rhizosfer tanaman padi sawah dan 3 isolat dari rhizosfer hutan pada konsentrasi herbisida 100 ppm. Semakin tinggi konsentrasi herbisida, maka jumlah mikrob yang tumbuh juga semakin sedikit, hal ini berkaitan dengan kemampuan mikrob dalam beradaptasi dan memetabolisme herbisida pada konsentrasi tinggi berbeda. Hasil isolasi mikrob menunjukkan karakter morfologi berbeda di antara masing-masing isolat, baik dari ukuran, bentuk, elevasi, permukaan, margin, dan warna (Tabel 1).

Tabel 1. Karakter morfologi mikrob pada konsentrasi herbisida dan pestisida konsentrasi 100 ppm

Asal tanah	Kode Isolat	Ukuran	Bentuk	Elevasi	Permukaan	Margin	Warna
Sawah	SH1	Large	Irregular	Raised	Halus mengkilap	Undulate	Kuning krem
Sawah	SH2	Moderate	Irregular	Raised	Halus mengkilap	Undulate	Krem
Sawah	SH3	Small	Irregular	Raised	Halus mengkilap	Entire	Krem
Hutan	HH1	Small	Circular	Convex	Halus mengkilap	Entire	Kuning
Hutan	HH2	Moderate	Circular	Convex	Halus mengkilap	Entire	Putih
Hutan	HH3	Small	Circular	Umbonate	Halus mengkilap	Entire	Kuning

Uji Hipersensitif Mikrob Pendegradasi Herbisida

Hasil uji hipersensitif pada daun tanaman tembakau menunjukkan sebagian besar mikrob yang diisolasi berpotensi patogen bagi tanaman. Daun tanaman tembakau yang tidak mengalami nekrosis menandakan mikrob yang diinokulasikan pada daun tembakau memiliki pengaruh negatif terhadap tanaman artinya tidak berpotensi patogen bagi tanaman, tetapi apabila terdapat nekrosis pada titik suntikan

menandakan mikrob tersebut memiliki pengaruh positif terhadap tanaman artinya berpotensi patogen bagi tanaman. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dari 6 mikrob hanya empat mikrob saja yang berpengaruh negatif atau tidak berpotensi patogen bagi tanaman (Tabel 2).

Tabel 2. Uji Patogenitas pada Daun Tembakau

Asal Tanah	Kode Isolat	Sifat Patogenitas	Keterangan
Sawah	SH1	Negatif	Daun tidak menunjukkan adanya gejala nekrosis atau perubahan warna yang ditimbulkan setelah penyuntikan
Sawah	SH2	Negatif	
Hutan	HH1	Negatif	
Hutan	HH2	Negatif	

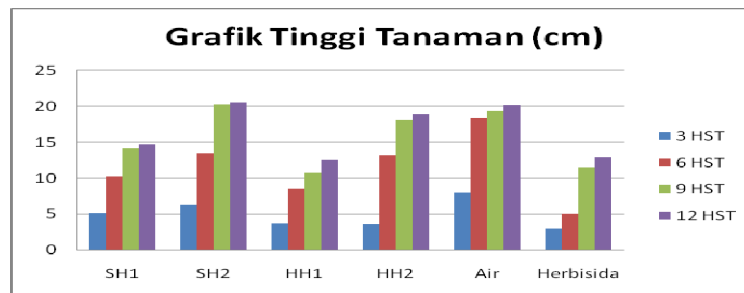


Gambar 1. Gejala nekrosis pada daun tembakau yang telah disuntik oleh mikrob-mikrob yang berhasil diisolasi. Sebagian besar menunjukkan gejala patogen.

Setiap mikrob memiliki kemampuan untuk memproduksi enzim dan metabolit sekunder dengan jumlah dan karakteristik berbeda. Senyawa-senyawa aktif inilah yang kemungkinan menyebabkan mikrob berpotensi patogen bagi tanaman, sehingga diperlukan seleksi mikrob yang menyeluruh guna menghindari penyebaran penyakit di lingkungan. Mekanisme patogenitas ini terkait diduga adanya alelopati yaitu sebuah fenomena yang berupa bentuk interaksi antara makhluk hidup yang satu dengan makhluk hidup lainnya melalui senyawa kimia (Rohman, 2001). Alelopati dari mikroorganisme telah dilaporkan sejak tahun 1951, yaitu identifikasi senyawa griseofulvin dari *Penicillium griseofulvum* yang menghambat pertumbuhan tanaman gandum. Beberapa *Rhizobacteria* juga dilaporkan menyebabkan penghambatan perkecambahan benih, gangguan pertumbuhan akar dan menjadi peka terhadap serangan patogen pada tanaman target (Rice, 1995).

Pengaruh Mikrob Pendegradasi Herbisida terhadap Tanaman Padi

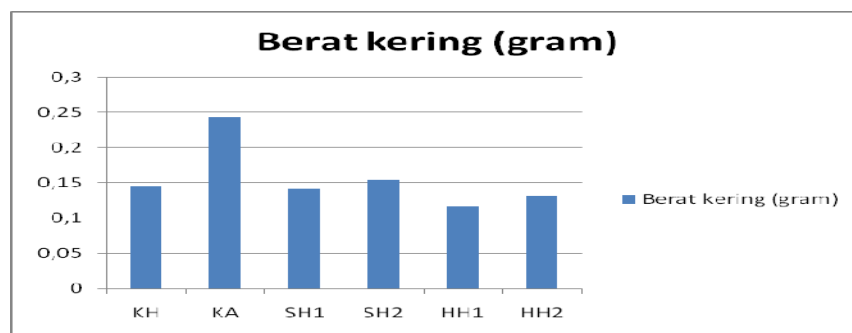
Hasil pengamatan menunjukkan tinggi tanaman pada perlakuan kontrol air (KA) paling tinggi pada hari ke-3 setelah tanam (HST) dan hasilnya konsisten sampai dengan 12 HST. Perlakuan kontrol herbisida (KH) menunjukkan tinggi tanaman paling rendah pada hari 3 HST sampai dengan 12 HST bila dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Perlakuan mikrob pada tanah yang diberi herbisida menunjukkan hasil tinggi tanaman padi yang berbeda sesuai dengan karakteristik dan kemampuan mikrob (Gambar 2).



Gambar 2. Grafik Perlakuan terhadap Tinggi Tanaman Padi

Pada perlakuan mikrob pada tanah terkontaminasi herbisida menunjukkan perlakuan SH2 menunjukkan tinggi tanaman padi tertinggi sampai 12 HST dan hampir sama dengan perlakuan kontrol air (KA). Hal ini menunjukkan perlakuan SH2 memiliki pengaruh positif terhadap degradasi herbisida pada tanah yang ditanam dengan tanaman padi.

Tanaman padi pada perlakuan kontrol air (KA) memiliki berat kering tanaman tertinggi dibandingkan perlakuan kontrol herbisida dan perlakuan mikrob yang diinokulasikan ke tanah terkontaminasi herbisida (Gambar 3). Diduga pertumbuhan tanaman padi terhambat karena pemberian herbisida.



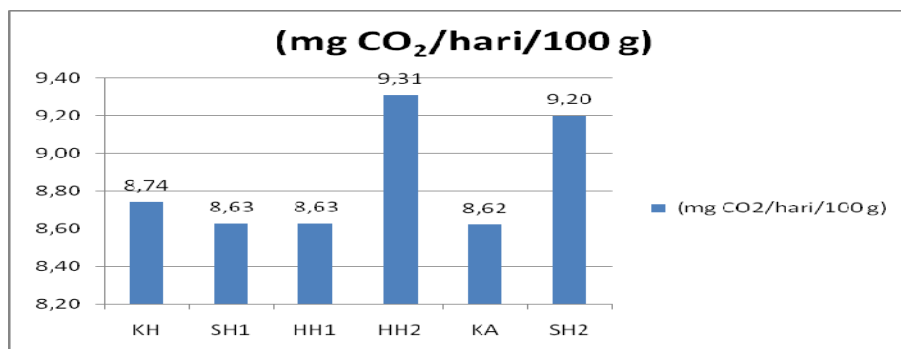
Gambar 3. Pengaruh Perlakuan Terhadap Berat Kering Tanaman Padi.

Tanaman yang diberi herbisida pada saat awal pertumbuhan mengalami keracunan herbisida dengan bahan aktif paraquat diklorida. Menurut Febriarti *et al.* (2010), paraquat merupakan bahan aktif untuk banyak jenis herbisida. Paraquat adalah racun bagi setiap organisme, karena dapat melepaskan radikal bebas yang bereaksi dengan oksigen membentuk superoksida beracun. Dengan adanya perlakuan mikrob pendegradasi herbisida maka konsentrasi residu herbisida di dalam tanah dan pengaruh negatifnya terhadap tanaman padi dapat dikurangi. Perlakuan mikrob SH2 memiliki potensi dalam menurunkan pengaruh negatif herbisida pada tanah yang ditanam tanaman padi. Hal ini terlihat dari tinggi tanaman dan berat kering tanaman padi yang diberi perlakuan mikrob SH2 lebih baik dibandingkan dengan perlakuan lainnya yang diberi kontaminasi herbisida.

Respirasi Mikrob pada Tanah yang Diberi Herbisida

Pada penelitian ini dilakukan pengujian mikrob pendegradasi herbisida dalam hal kapasitasnya melakukan respirasi. Peningkatan laju respirasi diduga karena adanya proses mineralisasi karbon organik (Marten, 1976). Adanya pelepasan CO₂ ketika mikrob diinokulasikan pada tanah yang diberikan herbisida mengindikasikan bahwa adanya proses metabolisme dari mikrob dan paraquat diklorida dapat dimineralisasi oleh mikrob pendegradasi herbisida. Residu-residu herbisida di tanah dapat didegradasi oleh mikrob kemudian akan menjadi sumber nutrisi dan energi bagi mikrob tersebut untuk melakukan proses degradasi lanjut. Nunes *et al.* (2013) melaporkan molinat adalah herbisida tiokarbamat mengalami transformasi mikroba oleh bakteri atau jamur, berperan sebagai sumber nutrisi dan energi. Upaya mengisolasi mikroba untuk digunakan dalam bioremediasi terkontaminasi molinat, digunakan kultur campuran yang didominasi oleh Actinobacteria *Gulosibacter molinativorax* ON4, diisolasi dari limpasan pabrik penghasil molinat.

Hasil perhitungan pada Gambar 4 menunjukkan mikrob dengan kode HH2 dan SH2 memberikan hasil tertinggi dalam menghasilkan CO₂. Meningkatnya konsentrasi CO₂ dalam toples kedap udara yang diinokulasi dengan mikrob HH2 dan SH2 menunjukkan bahwa mikrob-mikrob ini memiliki kemampuan dalam mendegradasi herbisida dengan bahan aktif paraquat diklorida, dimana hasil metabolismenya akan menghasilkan air dan CO₂. Gambar 4 menunjukkan bahwa perlakuan mikrob ini menambah wawasan yang menarik dalam menurunkan residu herbisida melalui degradasi biologi. Singh dan Singh (2014), beberapa isolat bakteri dan jamur yang diperoleh dari tanah dan air limbah dapat menurunkan paraquat. Degradasi paraquat oleh kultur murni akan menghasilkan produk akhir seperti air, CO₂ dan amoniak (NH₃).



Gambar 4. Pengaruh mikrob pendegradasi herbisida pada tanah yang diberi herbisida paraquat terhadap produksi CO₂.

KESIMPULAN

Hasil isolasi mikrob pendegradasi herbisida diperoleh sebanyak 3 isolat dari rhizosfer tanaman padi sawah dan 3 isolat dari rhizosfer tanaman hutan. Hasil pengujian patogenitas pada daun tembakau diperoleh 4 isolat yang berpengaruh negatif atau tidak berpotensi patogen terhadap tanaman tembakau, yaitu SH1 dan SH2 dari rhizosfer tanaman padi sawah, HH1 dan HH2 dari rhizosfer hutan. Tanaman padi dengan perlakuan kontrol air (KA) memiliki berat kering tanaman tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Perlakuan SH2 diduga memiliki pengaruh positif terhadap degradasi herbisida pada tanah yang ditanami oleh padi. Hasil respirasi mikrob menunjukkan bahwa mikrob HH2 dan SH2 memiliki kemampuan dalam memproduksi CO₂ lebih tinggi daripada perlakuan lainnya. Dengan demikian mikrob SH2 berpotensi dalam mendegradasi herbisida dengan bahan aktif paraquat diklorida berdasarkan pengaruhnya terhadap tinggi tanaman dan berat kering tanaman padi lebih baik serta respirasi mikrob SH2 tergolong tinggi yang hampir sama dengan HH2 yang menandakan terdapat proses mineralisasi herbisida.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, I. 1989. Biologi Tanah dalam Praktek. IPB, Bogor
- Baer, K. N. 2005. "Paraquat." In Encyclopedia of Toxicology. 2nd ed, edited by P. Wexler, 330. Oxford: CRC Press.
- Castillo, M.A., Felis N., Arago P., Cuesta G., dan Sabater C.. 2006. Biodegradation of The Herbicide Diuron by Streptomyces Isolated from Soil. *International Biodeterioration & Biodegradation* 58: 196–20.
- Dewan Ketahanan Pangan. 2015. Kebijakan Strategis Pangan dan Gizi Tahun 2015 – 2019. bkp.pertanian.go.id/downlot.php?file=KSPG_2015-2019%20.pdf diakses 29 Januari 2016.

- FAO. 2009. *A Third More Mouths To Feed*. <http://www.fao.org/news/story/en/item/35571/icode/>. Diakses tanggal 23 Juni 2015.
- Febriarti, B.L., Linda T.M dan Nefira E.W. 2010. Isolasi dan Seleksi Bakteri Pendegradasi Paraquat dari Tanah Pertanian di Kampar Riau. *Jurnal Teknobiologi*, 1(2) : 27 – 33
- Indraningsih. 2008. Pengaruh Penggunaan Insektisida Karbamat terhadap Kesehatan Ternak dan Produknya. *Wartazoa Vol. 18 No. 2 Th. 2008*
- Kurnia, U., Husien S., Rasti S dan Nurjaya. 2009. Teknologi Pengendalian Lahan Sawah. *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian Pengembangan Inovasi Pertanian*. 2(4): 272-280
- Li, S., P.A. Crooks., X. Wei and J. de Leon. 2004. Toxicity of Dipyridyl Compounds and Related Compounds. *Critical Reviews in Toxicology* 34: 447–460.
- Lin, H.M., H.L. Liu., M.C. Yang., T.H. Tsai., C.C. Chou., C.F. Chang, H. M. Chen and Y.R. Lin. 2010. "Clinical Features and Outcome Analysis of Patients Suffer From Paraquat Intoxication in Central Taiwan." *Journal of Taiwan Emergency Medicine* 12: 99–106.
- Marten, R. 1976. Degradation of (8.9–14) endosulfan by soil microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.* 31, 853–859.
- National Institute for Occupational Safety and Health. 2012b. "NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards.". <http://www.cdc.gov/niosh/npg/pgintrod.html>. (Diakses 29 Januari 2016).
- Nunes, O.C., Ana R. L and Célia M.M. 2013. Microbial degradation of the herbicide molinate by defined cultures and in the environment. *Appl Microbiol Biotechnol (2013) 97:10275–10291*.
- Rahmansyah, M dan Sulistinah N. 2009. Performa Bakteri pada Tanah Tercemar Pestisida. *Berita Biologi*. 9(5): 1-8.
- Rice, E.L. 1995. *Biological Control of Weeds and Plant Diseases: Advances in Applied Allelopathy*. Univ. of Oklahoma Press, Norman.
- Rohman, F. 2001. *Petunjuk Praktikum Ekologi Tumbuhan*. Malang: Universitas Negeri Malang
- Sembodo, J.R. 2010. *Gulma dan Pengelolaannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Singh, B and Kashmir S. 2014. Microbial degradation of herbicides. *Critical Reviews in Microbiology, Early Online*: 1–17.
- Suntres, Z.E. 2002. "Role of Antioxidants in Paraquat Toxicity." *Toxicology* 180: 65–77.
- Thapa, S.P., S.Y. Cho., J.H. Hur and C.K. Lim. 2012. Phenotypic and Genetic Characterization of *Erwinia rhapontici* isolated from Diseased Asian Pear Fruit Trees. *Phytoparasitica*. DOI 10.1007/s12600-012-0251-3
- Wua, B., Song, B and Yang, H. 2013. Central nervous system damage due to acute paraquat poisoning: an experimental study with rat model. *Neuro Toxicology*. 35:62–70.