

PERFORMA BAKTERI PADATANAH TERCEMAR PESTISIDA¹ [Bacterial Perform in Soil Contaminated with Pesticide]

Maman Rahmansyah dan Nunik Sulistinah

Pusat Penelitian Biologi LIPI

Cibinong Science Center, Jl. Raya Jakarta-Bogor km 46, Cibinong 16911

*e-mail: manrakam@yahoo.co.id

ABSTRACT

Preliminary study on bacterial survive in soil containing pesticide has been carried out. Soil samples collected from Lembang and Dieng. The soil deprive from agriculture area that intensively using pesticide, and compared to other samples gathered from forest soil. All samples examined for total bacteria, denitrification bacteria, phosphate solubilizing bacteria, soil induce respiration, urease and phosphatase activities. Pattern of whole parameters in each soil sample configured similarly, but the value performed differently in the same parameters. Total bacterial population in soil samples also inspected after the samples amended with some certain pesticides. Survival bacteria subjected to media amended with insecticide (Propoxur, Diazinon, and Chlorpyrifos), and herbicides (Bromacil and 2,4-D), and correlation of bacterial growth between sample location were varied. Bacterial degrading pesticide particularly isolated from the soil samples containing 1000 ppm Curzate (fungiside) and 500 ppm 2,4-D. The isolates then cultured in the medium containing insecticide and herbicide, and the response on growth observed in 7 days incubation. Bacterial perform were meaningful to reference of soil degrading pesticide residue in agriculture soil; and it would make representative reference in an effort to use bacteria throughout biofertilizer improvement.

Kata kunci: bakteri-pendegradasi-pestisida, tanah pertanian, tanah hutan, insektisida, herbisida, fungisida.

PENDAHULUAN

Produksi hortikultur di dataran tinggi Lembang (Jawa Barat) dan Dieng (Jawa Tengah) belum nyata terbebas dari penggunaan pestisida kimia. Pestisida pun dengan mudahnya didapat di pasar, dan penggunaannya dianggap masih cukup efektif untuk memberantas hama dan gulma. Dalam penggunaan pestisida, yang harus diperhatikan adalah akibat residu yang ditinggalkannya, sedangkan efek toksik residu yang terbawa pada produk yang dikonsumsi dapat merugikan kesehatan. Oleh karena itu tindakan yang penting adalah agar produk hortikultura yang masih mengandalkan pestisida kimia memerlukan perhatian ekstra dalam penanganan pasca panennya supaya aman ketika sampai di konsumen.

Secara alami, mikroba tertentu mampu menyesuaikan hidup atau sintas pada tanah mengandung pestisida. Diversitas alur metabolisme dalam lingkungan konsorsia mikroba di tanah menjadi proses kunci degradasi. Untuk mengenali alur degradasi atau biokonversi, beberapa hal seperti pengenalan karakter metabolisme mikroba, dan spesifitas enzim terhadap substrat residu pestisida dapat menjadi acuan dalam upaya menghilangkan cemaran pestisida di tanah. Selain itu beberapa faktor

kondisi tanah kadar air, suhu, aerasi, tingkat keasaman (pH), dan kandungan organik tanah secara keseluruhan mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas mikroba tanah, yang pada akhirnya berefek terhadap kemampuan dan kecepatan proses degradasi pestisida (Bollag & Liu, 1990). Sejumlah mikroba asli (indigenous) tanah dapat merespon cemaran pestisida sebagai sumber karbon dalam alur proses metabolismenya. Keberadaan bahan organik tanah akan dimanfaatkan secara penuh oleh mikroba ketika melakukan proses dekomposisi bahan toksik tersebut, dan karena itu prosesnya dinamakan kooksidasi (Digrak & Ozçelik, 1996).

Cemaran pestisida yang terjadi di lahan pertanian umumnya akibat penggunaannya yang kurang terkontrol. Faktor peningkatan cemaran muncul karena pemakaian pestisida secara menerus, mengabaikan kepatuhan dalam penggunaan dosis, serta pemakaian pestisida yang penggunaannya di luar pengawasan resmi. Untuk mengatasi cemaran pestisida, pemanfaatan peran mikroba pendegradasi dapat menjadi pilihan. Sehubungan itu maka telah dilakukan kajian bakteri yang sintas di tanah pertanian hortikultur yang mengandalkan pestisida kimia dalam mengoptimalkan produksinya, dan dari tanah hutan

yang dekat dengan lokasi pengambilan sampel di daerah pertanian, sebagai pembanding. Tujuan kegiatan adalah untuk mengenali aktivitas bakteri tanah dalam kaitannya dengan proses biokonversi pestisida. Perkembangan populasi mikroba dan ciri kehidupan lainnya berupa kenaikan aktivitas respirasi serta aktivitas enzim fosfatase dan urease diamati pada kegiatan penelitian ini. Data yang dihasilkan dapat menjadi acuan dalam penerapan strategi rehabilitasi lahan pertanian dengan masalah cemaran pestisida.

BAHAN DAN CARA KERJA

Bahan

Lokasi pengambilan sampel di daerah sentra produksi sayuran di Lembang, Jawa Barat, dan Dieng,

Jawa Tengah. Sampel tanah diambil secara komposisi pada daerah pertanian yang secara intensif menggunakan pestisida kimia, dan dari daerah hutan yang dekat dengan areal pertanian untuk mendapatkan tanah yang bebas pestisida. Sampel tanah diangkut ke laboratorium, dibebaskan dari serpihan dan bahan bukan tanah, dikeringanginkan, disaring, dan disimpan pada suhu 4°C sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Hasil analisis kimia dan biologi tanah seperti tertera pada Tabel 1.

Bahan pestisida yang digunakan didapat dari pasar di sekitar sentra produksi pertanian di daerah Lembang dan Dieng, datanya seperti tertera pada Tabel 2.

Tabel 1. Kondisi kimia dan biologi tanah

| Status tanah | Tanah Hutan | | Tanah Pertanian | |
|--|-------------|--------|-----------------|-------|
| | Lembang | Dieng | Lembang | Dieng |
| 1. C total (%) | 8,98 | 12,91 | 7,30 | 5,52 |
| 2. N total (%) | 0,68 | 0,95 | 0,55 | 0,46 |
| 3. C/Nrasio | 13,17 | 13,58 | 13,33 | 11,90 |
| 4. N-Amonium (ppm) | 1,73 | 3,57 | 4,98 | 2,38 |
| 5. N-Nitrat (ppm) | 2,16 | 9,75 | 12,95 | 7,14 |
| 6. Respirasi (CO ₂ .g.h ⁻¹) | 1,71 | 2,86 | 1,98 | 2,42 |
| 7. Urease (unit) | 78,05 | 133,29 | 56,37 | 54,57 |
| 8. Fosfatase (unit) | 2,86 | 4,89 | 2,07 | 2,00 |
| 9. Total Bakteri (cfu.10 ⁷) | 9,20 | 1,50 | 14,50 | 5,26 |
| 10. Bakteri Penambat Nitrogen (cfu.10 ⁶) | 4,85 | 1,94 | 3,79 | 1,58 |
| 11. Bakteri Denitrifikasi (cfu.10 ⁶) | 2,80 | 0,82 | 1,50 | 3,50 |
| 12. Bakteri Pelarut Fosfat (cfu.10 ⁵) | 2,40 | 1,40 | 24,00 | 27,90 |

Tabel 2. Karakteristik fisika dan kimia pestisida yang digunakan

| Nama Dagang | Nama Umum | Indeks serap tanah (K _{oc}) (g/ml) | Kelarutan pada air (ppm) | Efektifitas di tanah (Soil half-life)* (hari)/keterangan |
|---------------------|-------------------------|--|--------------------------|--|
| Insektisida: | | | | |
| Baygon;Carbamate | Propoxur | 30 | 2000 | 14-50/non-mutagenic |
| | Diazinon | 500 | 40 | 14-70/tergantung pH |
| | Dursban | - | 2 | 35-78/organofosfat; pH 7 |
| | Sevin | 200 | 114 | 10-24/tergantungpH |
| Fungisida | | | | |
| | Curzate | 50 | 815 | 148/tergantung pH |
| Herbisida: | | | | |
| | Bromex; Hyvar | 32 | 60 | Ionik-organofosfat ** |
| | 2,4-Dichlorobenzonitril | 20 | 796,000 | 10/tergantung suhu |

* Waskom, 1995; ** Gevao & Jones, 2002

Media Isolasi

Media yang digunakan untuk isolasi bakteri pendegradasi pestisida adalah media mineral dengan komposisi sebagai berikut: $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,4475 g, KH_2PO_4 0,1 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,1 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,001 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,0001 g, yeast extract 0,001 g, mikroelemen 1,0 ml, dan aquadest hingga volume 1000 ml (Meyer & Schlegel, 1985). Adapun komposisi mikro elemen untuk media adalah sebagai berikut: $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,1 g, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0,003 g, H_3BO_3 0,3 g, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,2 g, $\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,02 g, $\text{Na}_2\text{MO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,9 g, Na_2SO_3 0,02 g, dan aquadest 1000 ml (Pfennig, 1974)

Isolasi dan Penghitungan Populasi Bakteri

Sebanyak 20 g sampel tanah dimasukkan ke dalam Erlenmeyer-300-ml yang telah berisi 180 ml media mineral, dan mengandung pestisida masing-masing 1000 ppm, kecuali untuk 2,4-D cukup 500 ppm saja. Selanjutnya, tabling diinkubasi di atas mesin pengocok (*shaker*) selama 21 hari pada suhu kamar ($\pm 28^\circ\text{C}$) (Persiapan-1). Masing-masing sebanyak 1 ml hasil Persiapan-1 diinokulasikan ke dalam Erlenmeyer-100 ml yang berisi 50 ml media mineral yang mengandung pestisida uji (carbaryl & propoksur) dan glukose 0,2%, kemudian diinkubasi juga di atas mesin pengocok selama 21 hari pada suhu kamar (Persiapan-2). Sebanyak 50 μl bahan Persiapan-2 disebarkan di atas cawan petri berisi media padat (*Nutrient agar*), diinkubasi pada kondisi suhu kamar, bakteri dihitung menurut pembentukan unit koloni (*colony forming unit/cfu*) sebagai total bakteri; sedangkan untuk mengetahui bakteri yang sintas dengan pestisida maka 50 μl bahan Persiapan-2 disebar pada media agar mengandung pestisida. Untuk mendapatkan nilai total bakteri pada uji pertumbuhan selama 7 hari di media cair mengandung pestisida, maka dilakukan dengan penentuan tingkat kekeruhan hasil Persiapan-2 melalui perhitungan nilai kerapatan optik (*optical density*) pada panjang gelombang 436 nm.

Bakteri pelarut fosfat, penambat nitrogen, dan bakteri denitrifikasi diisolasi dengan cara menimbang 10 g sampel tanah, tambahkan 90 ml H_2O (steril) di dalam erlenmeyer-250 ml, digoyang (*shaker*) 120 rpm selama 60 menit, dibuat satu seri pengenceran 10^{-1} sampai 10^{-7} dari ekstrak tanah dan masing-masing pengenceran diambil 0,2 ml dengan pipet steril, kemudian dituangkan

ke dalam cawan petri steril, selanjutnya ke dalamnya dituangkan media agar pikovskaya (terdiri dari: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 5 g, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,5 g; NaCl 0,2 g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,1 g; KCl 0,2 g; Glukosa 10 g; ekstrak ragi 0,5 g; agar 20 g; MnSO_4 dan FeSO_4 sedikit, akuades 1000 ml) untuk menumbuhkan bakteri pelarut fosfat; media NFB untuk bakteri penambat N, dan media lainnya untuk bakteri denitrifikasi.

Respirasi dan Aktivitas Enzim

Pengukuran respirasi tanah mengacu kepada cara Beck *et al.* (1996). Sample tanah (20 g) diperkaya dengan larutan glukosa (0.08%) sehingga tanah mencapai 50% kapasitas lapang, kemudian diinkubasi di dalam botol Schott-250-ml yang telah diisi dengan 20 ml 0.05 N KOH. Karbon dioksida (CO_2) hasil respirasi mikroba tanah akan ditangkap larutan KOH; dan CO_2 kemudian dititrasi dengan larutan 0.1 N HCl. Setiap ml titrat HCl setara dengan 2.20 mg CO_2 dan sebanding dengan 20.6 mg C-biomassa yang dihasilkan setiap 100 g tanah. Karbon dioksida yang dihasilkan di dalam setiap mg.g-tanah⁻¹ dikalkulasikan sebagai kegiatan respirasi per jam, formulasinya adalah sebagai berikut:

$$\text{CO}_2 = \frac{(S-C) \cdot 2.2 \cdot 100}{\text{SW} \cdot \% \text{dw} \cdot t}$$

- S = volume HCl sample (ml)
 C = volume HCl kontrol (ml)
 2.2 = faktor koreksi (1 ml HCl10. IN ~ 2.2 mg CO_2)
 SW = soil weight (bobot tanah; g)
 100.%'dw = faktor koreksi terhadap bobot kering mutlak tanah
 t = waktu inkubasi (jam)

Aktivitas fosfatase diukur menurut cara Margesin (1996). Satu gram tanah ditempatkan ke dalam Erlenmeyer- 100-ml untuk kontrol (C), dan kelompok perlakuan (T). Satu ml substrat p-nitrophenil fosfat (10.8 mM) dimasukkan ke dalam tabung kelompok T, kemudian tambahkan 4 ml buffer tris (hidroksimethyl) aminomethane (pH 6.5). Seluruh tabung kemudian diinkubasi pada suhu 37°C dengan *waterbath* selama 60 menit, dan digoyangkan. Setelah proses inkubasi, 1 ml 0.5M CaCl_2 dan 4 ml 0.5M NaOH ditambahkan ke dalam tabung, kemudian ditambah dengan 90 ml H_2O . Intensitas warna pada larutan diukur dengan spektrofotometer pada tingkat absorbansi 400 nm.

Prosedur yang sama dilakukan pula kepada tabung kelompok C, namun penambahan 1 ml />-nitrophenil-phosphate sebagai substrat ditambahkan setelah 1 ml 0.5M CaCl₂ Aktivitas fosfatase kemudian diperhitungkan berdasar unit.g' tanah.

Urease diukur menurut cara Kandeler (1996). Lima gram sampel tanah dimasukkan ke dalam Erlenmeyer-100-ml. Tabung dibagi menjadi kelompok kontrol (C) dan perlakuan (T). Substrat urea (0.48 g urea/100ml H₂O) ditambahkan ke dalam tabung kelompok T (2,5 ml), dan tabung kelompok C hanya diisi aquades 2,5 ml. Kelompok tabung T dan C diinkubasi pada suhu 37°C selama 2 jam. Sejumlah substrat urea dan aquades seperti perlakuan di atas ditambahkan pada posisi tabung yang sebaliknya. Artinya bahwa 2.5 ml substrat urea diberikan ke tabung kelompok C, sedangkan 2,5 ml aquades diberikan pada tabung kelompok T. Selanjutnya, ke dalam tabung kelompok T dan C ditambahkan 50 ml 1M KCl, dikocok selama 30 menit, dan disaring. Sebanyak 1 ml dari masing-masing filtrat dimasukkan ke dalam masing-masing tabung menurut perlakuannya, tambahkan 0.2 ml larutan Nessler, dan kemudian masing-masing tabung diberi 9 ml aquades. Seluruh larutan tadi didiamkan selama 10 menit, lakukan observasi dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm.

HASIL

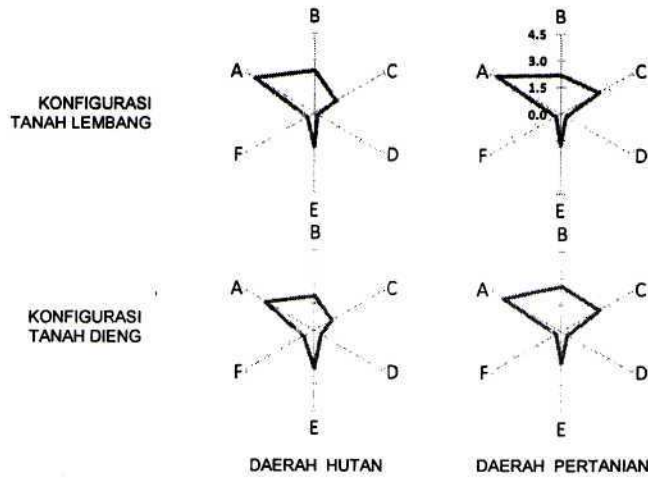
Hasil pengukuran terhadap enam parameter pada sampel tanah terkonfigurasi seperti pada Gambar 1. Kondisi biologi tanah yang terukur berdasar populasi total bakteri (A) bervariasi pada sampel tanah hutan dan pertanian, maupun pada tanah asal Lembang dan Dieng. Demikian pula yang terjadi pada populasi bakteri pelarut fosfat (C). Konfigurasi tanah hutan asal Lembang lebih luas dari tanah hutan Dieng, sedangkan pada tanah pertaniannya menunjukkan pola yang cenderung lebih seimbang. Sekalipun sampel tanah pertanian diperoleh dari lokasi kegiatan hortikultur yang berbeda baik dari segi lokasi maupun lingkungannya, namun keduanya memiliki kesamaan dalam mendapatkan asupan pestisida, sehingga respon terhadap parameter yang digunakan memiliki pola yang sama.

Kandungan karbon dan nitrogen pada tanah pertanian didapati lebih rendah dari tanah hutan, yang terjadi pada tanah asal Dieng maupun Lembang. Nilai rasio karbon-nitrogen menunjukkan hampir sama pada semua sampel dan hanya pada sampel tanah pertanian Dieng yang kondisinya sedikit lebih rendah. N-amonium dan N-nitrat di tanah Lembang cenderung lebih tinggi dari tanah Dieng. Tanah pertanian Lembang kandungannya paling tinggi, yang memberi asumsi bahwa tanah pertanian tersebut cukup intensif menerima asupan nitrogen sebagai sarana produksi.

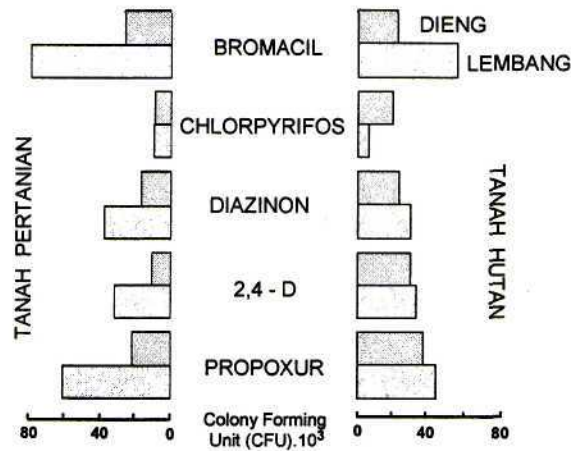
Populasi total bakteri pada tanah pertanian yang didapati cenderung lebih tinggi dari populasi tanah hutan. Hal itu menjadi indikasi bahwa keterdapatannya residu pestisida di tanah merupakan sumber karbon yang dimanfaatkan oleh konsorsia mikroba tanah. Pembuktian dalam uji selanjutnya yang dilakukan melalui respon mikroba terhadap lima macam pestisida dilakukan pada keempat sampel tanah (dua sampel dari tanah pertanian Lembang dan Dieng serta dua sampel lainnya dari tanah hutan). Hasil yang didapat memberikan indikasi populasi yang bervariasi (Gambar 2).

Populasi bakteri tanah asal Lembang menunjukkan kecenderungan populasi yang selalu lebih tinggi dari tanah asal Dieng, baik pada lingkungan tanah pertanian maupun pada lingkungan tanah hutan. Populasi bakteri yang berhasil diperoleh berdasar penghitungan pembentukan koloni memiliki respon yang bervariasi di antara masing-masing jenis pestisida yang diberikan ke tanah. Sangat sedikit jumlah koloni bakteri ketika tanah mengandung insektisida berbasis organofosfat seperti pada Chlorpyrifos; namun tidak demikian pengaruhnya pada tanah yang mengandung herbisida Bromacil sekalipun memiliki kesamaan berbasis organofosfat. Perlu pembuktian lebih lanjut atas perbedaan unsur yang menyusun kimia pestisida tersebut berkaitan dengan perbedaan respon pada populasi bakteri yang teramati. Kedua pestisida tersebut berbeda dalam unsur dasarnya yaitu masing-masing mengandung chlorium dan yang lainnya adalah bromium.

Melihat perbedaan respon populasi bakteri tanah terhadap lima macam pestisida maka sebagian di antara hasil pengukuran parameternya memiliki



Gambar 1. Konfigurasi mikro ekologi tanah yang terbentuk menaut total bakteri (A) terhadap respirasi tanah (D); populasi bakteri denitrifikasi (B) terhadap urease (E); dan populasi bakteri pelarut fosfat (C) terhadap aktifitas fosfatase (F).



Gambar 2. Kemampuan tumbuh bakteri {colony forming unit} pada media kultur mengandung pestisida. Bakteri yang diuji adalah yang diisolasi dari tanah hutan dan tanah pertanian

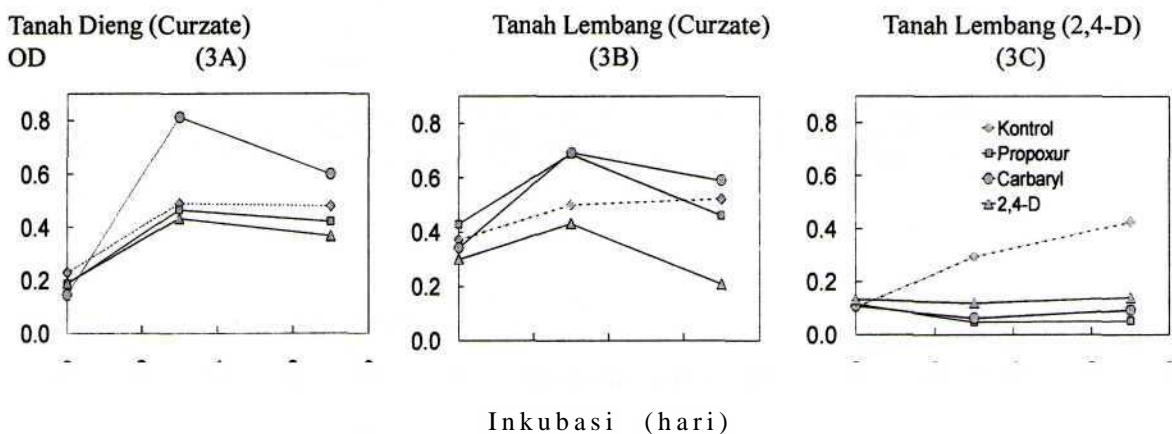
kesamaan tanggap yang diindikasikan dengan nilai korelasi signifikan (Tabel 3). Populasi bakteri tanah dari hutan asal Lembang berkorelasi positif terhadap tanah pertaniannya maupun terhadap populasi tanah pertanian asal Dieng. Korelasi yang signifikan juga terjadi di antara populasi tanah pertanian Lembang terhadap tanah pertanian Dieng. Korelasi di antara populasi bakteri tanah hutan asal Dieng terhadap tanah pertaniannya tidak menunjukkan korelasi, dan demikian pula pada pembentukan koloni bakteri pada tanah hutan Dieng terhadap Lembang.

Pengamatan lebih intensif dilakukan terhadap isolate bakteri tanah yang sintas pada insektisida Curzate dan herbisida 2,4 D. Isolatnya kemudian ditumbuhkan pada media bermineral yang hanya mengandung sumber karbon masing-masing dari insektisida Propoxur dan Carbaryl, dan yang lainnya mengandung sumber karbon berasal dari herbisida 2,4-D. Curzate memberikan kesempatan penuh pada pertumbuhan bakteri di tanah, karena fungisida itu dapat menghilangkan pesaing pertumbuhan bakteri dari golongan fungi. Isolat bakteri yang terseleksi melalui

Tabel 3. Korelasi total bakteri yang tumbuh pada empat macam tanah yang mengalami toksisitas pestisida Propoxur, 2,4-D, Diazinon, Chlorpyrifos, dan Bromacil

| Koleksi sampel: | (HL) | (HD) | (PL) | (PD) |
|--------------------------------------|------|------|-------|-------|
| 1. Tanah Hutan asal Lembang (HL) | | NS* | 0,973 | 0,887 |
| 2. Tanah Hutan asal Dieng (HD) | | | NS | NS |
| 3. Tanah Pertanian asal Lembang (PL) | | | | 0,965 |
| 4. Tanah Pertanian asal Dieng (PD) | | | | |

*NS = tidak berkorelasi nyata pada nilai $p < 0,05 = 0,878$



Gambar 3. Isolat bakteri yang sintas pada herbisida Curzate dan 2,4-D, kemudian diuji kemampuan tumbuhnya pada tanah mengandung insektisida (Propoxur, Carbaryl), dan herbisida (2,4-D) serta dibandingkan terhadap kontrolnya. Kepadatan populasi pada media tumbuh dihitung berdasar nilai kerapatan optik (*optical density* OD) selama 7 hari inkubasi.

insektisida Curzate berasal dari tanah Dieng menunjukkan pola pertumbuhan yang sama selama masa inkubasi 7 hari pada tanah yang berasal dari Dieng dan Lembang (Gambar 3).

Respon isolat bakteri asal tanah Lembang yang sintas pada perlakuan herbisida 2,4-D mengalami penurunan dalam kemampuan tumbuhnya (*vigoritas*) ketika dipelihara pada media bermineral yang mengandung sumber karbon pestisida lain yang diujikan, maupun pada herbisida yang sejenis (2,4-D). Bila diperbandingkan terhadap masing-masing kontrolnya maka isolat yang sintas pada Curzate maupun 2,4-D memiliki pola tumbuh yang sama (Gambar 3A dan 3B), namun pada isolat yang sintas di 2,4-D mengalami *vigoritas* lebih rendah (Gambar 3C). Pola populasi bakteri yang sintas di 2,4-D mengalami

perurunan kemampuan tumbuh pada pestisida Propoxur, Carbaryl, dan 2,4-D sendiri.

PEMBAHASAN

Penggunaan pestisida di lahan pertanian dalam waktu cepat atau lambat residunya akan memasuki wilayah ekosistem tanah. Pertemuan mikroba dan pestisida di tanah akan menghasilkan keragaman pola interaksi yang bervariasi. Sehubungan itu maka frekuensi penggunaan pestisida dapat menjadi faktor yang mempengaruhi proses degradasi pestisida. Penggunaan pestisida yang sama secara berulang di dalam suatu lahan dapat membangun konsorsia mikroba di tanah yang efektif mendegradasi jenis kimia yang menjadi unsur dasar pada komposisi pembentuk pestisida tersebut. Dalam kasus kemampuan mikroba

yang sintas seperti itu dapat menjadikan pestisida tidak lagi efektif digunakan. Dalam contoh kasus seperti itu dapat saja produk suatu pestisida ditarik dari pasar dan tidak diproduksi lagi (Hill & Write, 1978).

Perkembangan populasi bakteri tanah adalah ciri dinamika kehidupan di tanah. Terjadinya populasi bakteri pada tanah yang mengandung pestisida mencirikan adanya proses degradasi terhadap pestisida. Pendegradasian dapat terjadi melalui proses mineralisasi, yang secara utuh hasilnya dimanfaatkan langsung oleh sel-sel mikroba. Asupan sarana produksi berupa pupuk kimia ke dalam tanah pertanian juga akan memberikan pola tersendiri dalam menstimulasi mikroba fungsional yang ada di dalam tanah. Pada penguraian lainnya terjadi sebagai proses metabolisme insidental (*cometabolism*), dan hasilnya pun bukan target langsung dari proses itu sendiri melainkan dimanfaatkan dalam aktivitas normal dari alur metabolisme yang lain (Racke, 1993). Lima macam pestisida diamati oleh Tu (1995) terhadap kondisi mikroba tanah dan pengaruhnya terhadap aktivitas enzim amylase, selulase, fosfatase dan urease. Walau pada awalnya aktivitas enzim di tanah tanah menjadi terganggu karena kehadiran pestisida, namun kemudian mikroba asli yang telah ada di tanah itu menjadi sintas dan akhirnya dapat mendegradasi pestisida.

Bakteri yang sintas karena perlakuan pestisida dapat terjadi karena bakteri itu merupakan kelompok yang memang tidak terpengaruh oleh keberadaan pestisida tersebut. Sedangkan pada sisi lainnya terdapat kelompok bakteri fungsional yang akan hidup lebih sintas karena memanfaatkan residu pestisida menjadi bagian dari sistem metabolismenya. Oleh karena itu dengan memperhatikan keberadaan populasi mikroba yang hidup di lingkungan tanah yang tercemar pestisida maka dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu pengaruh cemaran pestisida (Sing and Walker, 2006). Bakteri yang tetap bertahan hidup di lingkungan yang mengandung pestisida pada penelitian ini merupakan ekspresi bakteri yang mampu hidup dan dapat mendegradasi pestisida.

Ada pestisida tertentu yang ikatan kimianya sulit didegradasi sebagai unsur yang rekalsitran, dan ini yang berpotensi menjadi bahan pencemar.

Keragaman diversitas bakteri pada genera *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* dan *Rhodococcus* mampu mendegradasi pestisida dari unsur rekalsitran. Proses degradasi difasilitasi oleh adanya enzim fungsional yang dimiliki bakteri. Pestisida sebagai komponen asing di lingkungan tanah menimbulkan instabilitas terhadap aktivitas enzim. Fosfatase dan esterase sebagai enzim hidrolisa yang dihasilkan mikroba tanah dapat memutus susunan kimia pestisida yang memiliki susunan rantai labil seperti pada Carbamate, Pyrethroids, Diazinon, Dicamba, Dichloropicolinic Acid, Dimethoate, Phenylalkanoic Ester, Phenylalkanoic Pyrazon, Atrazine, Linuron, Propanil, Chlorpyrifos, dan 2,4-D. Kemampuan proses oksidasi oleh enzim di tanah terhadap residu pestisida terjadi pada tingkat ekstraseluler, kemudian dilanjutkan pada tingkat intraseluler sel-sel bakteri yang akhirnya menyebabkan meningkatnya tingkat kelarutan residu tersebut sehingga pada menjadi unsur organik yang bisa diserap tumbuhan (Bollag and Liu, 1990).

Verifikasi pada proses perombakan pestisida oleh kegiatan mikroba telah dibuktikan melalui pengamatan di laboratorium. *Trametes versicolor* selaku mikroflora asli yang hidup di tanah mampu mendegradasi pestisida setelah mendapatkan pengkayaan sumber karbon organik dari serbuk tongkol buah jagung dan sorgum (Ruiz-aguilar Graciela and Rodriguez-Vazquez Refugio, 2006). Proses ini merupakan contoh dari degradasi akibat alur metabolisme insidental, dimana degradasi enzim yang utamanya adalah terhadap sumber karbon polisakarida.

Digrak dan Ozcelik (1996) melaporkan hasil penelitiannya dalam uji laboratorium bahwa beberapa jenis bakteri dari kelompok *Actinomycetes* tidak dapat dihambat pertumbuhannya oleh beberapa macam pestisida komersial, sedangkan sebagian besar pada kelompok fungi menjadi terhambat pertumbuhannya. Rekomendasi akhirnya diberikan bahwa beberapa *Actinomycetes* spp. dapat digunakan sebagai mikroba alternative dalam penanganan krisis senobiotik akibat kontaminasi pestisida di lahan pertanian. Pemanfaatannya akan lebih tepat bila diberikannya ke lahan apabila disertakan bersamaan dengan penambahan bahan organik ke tanah.

Proses respirasi merupakan bagian dari kehidupan bakteri tanah yang bersifat aerobik sehingga dapat berfungsi menjadi bioindikator terhadap aktivitas kehidupan skala mikroskopis tanah. Transformasi biologi dan kimiawi pada proses pengomposan bahan organik sebagian besar terjadi secara aerob. Residu pestisida yang terdegradasi di dalam proses pengomposan terkait pula dengan proses mineralisasi dan imobilisasi nitrogen oleh mikroba, khususnya dalam pengomposan bahan lignoselulosa (Heal *et al*, 1997). Oleh karena itu penambahan bahan organik dapat mempercepat untuk proses dekomposisi pestisida di tanah (Bending & Turner, 1999; Rahmansyah *et al*, 2009). Oleh karena itu, sistem agronomi dengan pola pertanian organik menjadi model yang populer sehubungan dengan tujuan mengurangi tekanan cemaran pada tanah.

KESIMPULAN

Pola konfigurasi aktivitas mikroba tanah hutan memiliki

kemiripan dengan pola konfigurasi tanah pertanian melalui pengamatan populasi mikroba yang terkait dengan kondisi ekofisiologinya seperti aktivitas respirasi, serta aktivitas enzim fosfatase dan urease.

Mikroba yang terseleksi karena sintas pada lingkungan pestisida tertentu memiliki respon tumbuh yang berbeda ketika ditumbuhkan pada media yang mempunyai sumber pestisida yang berbeda.

Residu pestisida akibat aktivitas hortikultur yang bisa terakumulasi di tanah kemungkinan mampu didegradasi oleh konsorsia mikoba asli yang sintas di tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aislabie J and G Lloyd-Jones. 1995. A review of bacterial-degradation of pesticides. *Australian Journal of Soil Research*. **33(6)**, 925-942.
- Beck T, R Ohlinger and A Baumgarten. 1996. Indirect estimation of microbial biomass: substrate-induced respiration. In: Schinner F, R. Ohlinger, E. Kandeler, & R. Margesin (eds.). *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 64-68.
- Bending GD and MK Turner. 1999. Interaction of biochemical quality and particle size of crop residues and its effect on the microbial biomass and nitrogen dynamics following incorporation into soil. *Biology and Fertility of Soils*. **29**, 319-327.
- Bollag JM and Liu SY. 1990. Biological transformation processes of pesticide. In: Cheng HH (Ed), *Pesticides in the Environment: Processes, Impacts, and Modeling*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 169-211.
- Digrak M and S Ozcelik. 1996. Effect of some pesticide to microorganism. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. **60**, 916-922.
- Gevao B and KC Jones. 2002. Pesticides and Persistent Organic Pollutants. In: *Agriculture, Hydrology and Water Quality* (eds. PM Haygarth and SC Jarvis). CAB International.
- Heal OW, JM Anderson and MJ Swift. 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: Cadisch G, Giller KE (Eds). *Driven by Nature. Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International, Wallingford, UK. Pp 393-399.
- Hill IR and SJL Write. 1978. *Pesticide Microbiology*. Academic Press, London, p 586.
- Kandeler, E. 1996. Enzymes involved in nitrogen metabolism: Urease activity by colorimetric technique. In: Schinner F, R. Ohlinger, E. Kandeler, & R. Margesin (eds). *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 171-174.
- Margesin, R. 1996. Enzymes involved in phosphorus metabolism: Acid and alkaline phosphomonoesterase activity with the substrate p-nitrophenyl phosphate. In: Schinner F, R. Ohlinger, E. Kandeler, & R. Margesin (eds.). *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 213-217.
- Meyer, O & HG. Schlegel. 1985. Biology of aerobic carbon monoxide oxidizing bacteria. *Ann. Rev. Microbiol*. **37** : 277-310.
- Pfennig, N. 1974. *Rhodopseudomonas globiformis* sp. A new species of the Rhodospirillaceae. *Arch. Microbiol*. **100** : 197-206.
- Racke, K.D. 1993. Environmental fate of chlorpyrifos. *Rev. Environ. Contam. Toxicol*. **131**, 1-151.
- Rahmansyah M, S. Antonius and N. Sulistinah. 2009. Phosphatase and urease instability caused by pesticides present in soil improved by grounded rice straw. *ARPN Journal of Agriculture and Biological Science* **4(2)**, 56-62.
- Ruiz-aguilar Graciela and Rodriguez-Vazquez Refugio. 2006. Pesticide Degradation by *Trameles versicolor* in Organic Matrixes under Laboratory Conditions. International Meeting of American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Indianapolis, Nopember 12-16, 2006.
- Singh, B. and A. Walker. 2006. Microbial degradation of organophosphorus compounds. *FEMS Micro. Rev*. **30**, 428-471.
- Tu CM. 1995. Effect of five insecticides on microbial and enzymatic activities in sandy soil. *Journal of Environmental Science and Health* **30(3)**, 289-306.
- Waskom RM. 1995. Best Management Practices for Agriculture Pesticide Uses. Colorado Department of Agriculture and the Agricultural Chemicals and Groundwater Protection Advisory Committee. Colorado State University. 14 p.