

Peranan Arang Aktif dalam Mitigasi Residu Pestisida pada Tanaman Komoditas Strategis

Role of Activated Charcoal in Mitigating Pesticide Residues in Strategic Commodity Crops

E. Srihayu Harsanti, A.N. Ardiwinata, Mulyadi, dan A. Wihardjaka¹

Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jl. Jakenan Km 5 Jaken Pati 59182 Jawa Tengah

Diterima 12 Oktober 2013; Disetujui Dimuat 9 Desember 2013

Abstrak. Pestisida memegang peranan penting dalam mempertahankan hasil tanaman tinggi. Namun penggunaannya yang tidak tepat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Akumulasinya di dalam tanah, air, dan produk pertanian yang melebihi kadar batas maksimum residu akan menurunkan kualitas lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu upaya mitigasi residu pestisida adalah ameliorasi dengan menggunakan arang aktif yang bahannya dapat berasal dari limbah pertanian. Arang aktif efektif menurunkan residu pestisida dalam tanah dan produk pertanian, baik pestisida organoklorin, organofosfat, ataupun karbamat. Pemberian arang aktif dari tempurung kelapa dan tongkol jagung baik dengan atau tanpa diperkaya mikroba konsorsia efektif menurunkan kadar residu lindan dan aldrin di tanaman sawi.

Kata kunci : Arang akti / Residu pestisida / Tanaman pangan / Sayuran

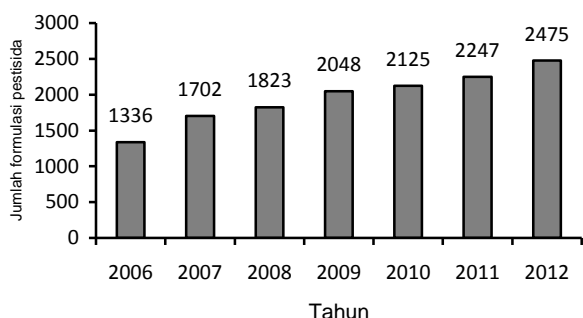
Abstract. Pesticide plays an important role in maintaining high crop yields. However, its inappropriate use affects negative impact on the environment. Its accumulation in soil, water, and agricultural products that exceed the maximum residue limit will reduce environmental quality and human health. Amelioration using activated charcoal is one of efforts to mitigate pesticide residues. Activated charcoal materials can be derived from agricultural wastes. Activated charcoal effectively reduces pesticide residues in soil and agricultural products, either organochlorine pesticides, organophosphates, or carbamates. Application of activated charcoal from coconut shell and corn cob with or without enrichment with microbial consortia effectively reduce the levels of lindane and aldrin residues in vegetable plants such as mustard.

Keywords : Activated charcoal / Pesticide residue / Food plants /Vegetables

Gangguan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) merupakan kendala utama yang dihadapi petani hingga kini dalam budidaya tanaman pertanian strategis baik tanaman pangan ataupun hortikultura. Gangguan OPT dapat mengakibatkan kehilangan hasil panen hingga 20 – 40%. Rata-rata kerugian akibat OPT pada tanaman hortikultura dapat mencapai Rp 1,7 triliun per tahun. Menghadapi ancaman serangan OPT, petani dan pengusaha pertanian selalu berusaha melakukan pengendalian OPT dengan berbagai teknik yang dianggap efektif. Sebelum adanya program pengendalian hama terpadu (1966-1985), penggunaan pestisida cukup tinggi (Soejitno dan Ardiwinata 1999). Sampai saat ini pestisida kimia merupakan sarana pengendalian OPT yang paling banyak digunakan oleh petani di Indonesia (95,29%) karena dianggap efektif, mudah digunakan dan secara ekonomi menguntungkan.

Penggunaan pestisida adalah salah satu yang paling memberikan kontribusi terhadap peningkatan produksi pertanian sejak tahun 1970. Dari tahun ke tahun, jumlah pestisida yang beredar di Indonesia semakin meningkat. Pada tahun 2008 jumlah pestisida yang beredar sebanyak 1702 formulasi, sedangkan pada tahun 2006 terdaftar sebanyak 1336 formulasi, dimana insektisida menduduki ranking terbanyak (517 merek), disusul kemudian herbisida (366 merek) dan fungisida (236 merek) (PPI 2008). Tahun 2012 formulasi pestisida di Indonesia mencapai 2475 formulasi (Direktorat Pupuk dan Pestisida 2012) seperti terlihat pada Gambar 1. Menurut FAO (1998) penggunaan herbisida di Indonesia pada tahun 1996 sebesar 26.570 ton meningkat 395% dibanding tahun 1991 (6.739 ton). Di Asia, Indonesia termasuk negara yang banyak menggunakan pestisida setelah Cina dan India (Soerjani 1990).

Penggunaan pestisida yang makin intensif dan cenderung tidak terkontrol, mengakibatkan agroekologi pertanian dan kesehatan manusia sebagai konsumen menjadi terabaikan. Pengendalian hama sebelum program pengendalian hama terpadu (PHT) lebih banyak mengandalkan pestisida jenis organoklorin yang memiliki toksisitas tinggi dan persistensi lama dalam tanah sehingga berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Meskipun perlindungan tanaman dengan sistem PHT telah digalakan, namun masih banyak petani yang menggunakan pestisida secara tidak bijaksana. Di beberapa daerah, sebagian petani taaman pangan dan sayuran masih menggunakan insektisida yang sudah dilarang (Soejitno dan Ardiwinata 1999).



Sumber: Direktorat Pupuk dan Pestisida (2012)

Gambar 1. Perkembangan penggunaan formulasi di Indonesia dari tahun 2006-2012

Figure 1. Trend of formulation use in Indonesia from 2006 to 2012

Adanya persetujuan GATT dan tuntutan ekolabelling maka pencemaran pestisida menjadi masalah yang sangat penting secara regional, nasional, dan internasional (Soejitno dan Ardiwinata 1999). Salah satu upaya mitigasi residu pestisida dalam tanah dan air adalah melalui ameliorasi dengan menggunakan arang aktif sebagai amelioran. Bahan baku arang aktif tersedia melimpah di sekitar lingkungan pertanian yang berupa limbah-limbah pertanian, seperti sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa, tandan kosong kelapa sawit, dan sebagainya. Oleh karena itu, tulisan ini bertujuan untuk mengkaji peran arang aktif dalam mitigasi residu pestisida dalam tanah, air, dan produk pertanian.

RESIDU PESTISIDA DI LAHAN PERTANIAN

Penggunaan pestisida yang tidak terkendali menimbulkan masalah yang lebih kompleks antara lain pencemaran tanah, air, tanaman dan kesehatan manusia. Beberapa ahasil penelitian menunjukkan adanya residu pestisida yang membahayakan pada tanaman pangan di Jawa Barat (Murtado *et al.* 1996), Jawa Tengah dan Bali (Ohsawa *et al.* 1985), dan perairan pantai Sulawesi Selatan (Sunaryo 1990). Ardiwinata *et al.* (1999) melaporkan adanya residu insektisida tertentu dalam beras dan tanah yang kadarnya sudah mendekati batas maksimum residu. Demikian juga di lahan sawah di Jawa, dilaporkan terdeteksi beberapa residu insektisida dalam tanah dan air sawah.

Sawah

Residu insektisida dalam tanah dan air sawah di daerah Jawa Tengah dan Jawa Barat terdeteksi lebih tinggi daripada di daerah Jawa Timur (Tabel 1). Residu insektisida golongan organoklorin masih terdeteksi meskipun jenis insektisida tersebut telah dilarang digunakan, antara lain BHC, aldrin, endosulfan di tanah sawah Jawa Barat dan Jawa Tengah, dan endosulfan di Jawa Timur. Ini menunjukkan bahwa jenis insektisida tersebut lebih lambat terdegradasi dibandingkan jenis insektisida lainnya.

Pestisida jenis organoklorin umumnya merupakan *persistent organic pollutants* (POPs), karena terdapat gugus halogen pada senyawanya dan mempunyai sifat kelarutan yang rendah di dalam air, dan kelarutan yang tinggi di dalam lipida. POPs terakumulasi di dalam jaringan lemak. POPs diketahui tahan lama berada di lingkungan dan mempunyai efek jangka panjang terhadap sistem imun, hormon, dan reproduksi manusia. Jenis organoklorin yang menjadi prioritas utama United Nations Environment Programme (UNEP) dalam mengidentifikasi keberadaannya di lingkungan adalah aldrin, hexachlorobenzene, chlordane, mirex, dieldrin, toxaphene, DDT, dioxin, endrin, furans, heptachlor dan PCBs.

Hasil penelitian UNESCO tahun 1991 menunjukkan bahwa hampir di semua sampel tanah, air, dan tanaman ditemukan kandungan residu organoklorin seperti aldrin, dieldrin, DDT, heptaklor

dan lindan (UNESCO 2004). Berdasarkan kategori toksisitas dan bahaya, endrin dan dieldrin termasuk dalam kategori I (*extremely hazardous*), sedangkan aldrin, toxaphene, chlordane, DDT, heptachlor dan lindane termasuk kategori II (*highly hazardous*). Pestisida organoklorin (OK) dikenal sebagai insektisida yang memiliki persistensi yang tinggi terutama dalam tanah dan air tanah (Tabel 2), sehingga berpotensi terakumulasi hayati (bioakumulasi) dalam tubuh makhluk hidup, baik manusia, hewan maupun tumbuhan. Pestisida OK umumnya mempunyai kelarutan yang rendah, kecuali lindan maka di dalam tanah insektisida ini relatif tidak bergerak. Pestisida OK mempunyai tekanan uap yang rendah, yang berarti tidak volatil. Aldrin mempunyai tekanan uap yang lebih tinggi, sedangkan lindan dan heptaklor sangat volatil.

Tabel 1. Residu insektisida maksimum dalam tanah dan air sawah di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur

Table 1. Maximum insecticide residue in the soil and water in paddy field in West Java, Central Java and East Java

Lokasi	Bahan aktif pestisida	Kadar residu maksimum (ppb)		
		Tanah sawah	Air sawah	BMR
Jawa Barat	BHC	38	7	100
	Aldrin	19	-	100
	Endosulfan	36	2	100
	Klorpirifos	40	4	100
	Diazinon	60	4	100
	Karbofuran	56	5	200
	BPMC	41	-	-
Jawa Tengah	BHC	26	2	100
	Aldrin	18	5	100
	Endosulfan	97	1	100
	Klorpirifos	46	2	100
	Diazinon	45	2	100
	Fention	34	2	100
	Fenvalerat	20	2	2000
Jawa Timur	Endosulfan	6	-	100
	Klorpirifos	4	-	100
	Diazinon	4	-	100
	Karbofuran	3	-	100
	BPMC	4	-	100
	Mipcin	2	-	200

BMR = batas maksimum residu, - tidak terdeteksi

Sumber: Ardiwinata *et al.* (1999), Jatmiko *et al.* (1999), Harsanti *et al.* (1999)

Tabel 2. Persistensi dari beberapa insektisida organoklorin

Table 2. Persistence of some organochlorine insecticides

Insektisida organoklorin	Waktu paruh teoritis (bulan)	Waktu untuk degradasi 95% (tahun)
Aldrin	3 - 8	1 - 6
Klordan	10 - 12	3 - 5
DDT	30	4 - 30
Dieldrin	27	5 - 25
Heptaklor	8 - 10	3 - 5
Lindan	12 - 20	3 - 10

Sumber: Kuhnt cit Salomon & Stigliani (1995)

Keberadaan pestisida dalam tanah sebagian akan terangkut ke dalam tanaman budidaya. Beras di Jawa Barat (Subang, Indramayu, Cirebon, Karawang, Cianjur, Sukabumi, Padeglang) terdeteksi mengandung residu klorpirifos, BHC, endosulfan, karbofuran dan BPMC dengan kadar di bawah BMR (Tabel 3). Demikian juga beras dari beberapa daerah di Jawa Tengah mengandung residu insektisida klorpirifos, BHC, aldrin, endosulfan, fention, fenvalerat, diazinon. Kadar residu klorpirifos dan aldrin telah mendekati BMR yaitu masing-masing 0,0970 dan 0,0199 ppm. Kandungan residu insektisida dalam beras telah mendekati BMR ditemukan pada beras yang berasal dari Rembang, Grobogan, Sukoharjo, Bantul, Wonosobo, dan Cilacap. Dibandingkan dengan di Jawa Barat dan Jawa Tengah, kandungan residu insektisida dalam beras di beberapa daerah Jawa Timur relatif rendah, yaitu Bojonegoro, Ngawi, Magetan, Madiun, Malang, Lumajang, Jember, dan Banyuwangi.

Tabel 3. Residu insektisida maksimum dalam beras di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur

Table 3. Maximum insecticide residue in rice of West Java, Central Java and East Java

Insektisida	Kadar residu insektisida (ppm)		
	Jawa Barat	Jawa Tengah	Jawa Timur
Klorpirifos	0,0016	0,0970	0,0008
Diazinon	-	0,0556	0,0003
Fention	-	0,0372	-
Lindan	0,0024	0,0466	-
Aldrin	-	0,0199	-
Endosulfan	0,0005	0,0357	0,0006
Fenvalerat	-	0,0212	-
Karbofuran	0,0013	-	0,0008
BPMC	0,0059	-	-

- tidak terdeteksi

Sumber: Ardiwinata *et al.* (1999).

Tabel 4. Residu insektisida pada beberapa komoditas sayuran di Indonesia selama tahun 1994-1999

Table 4. Insecticide residue on some vegetables in Indonesia during 1994-1999

Pestisida	Kadar residu insektisida (ppb)						
	Kubis	Bawang	Cabai	Kentang	Seledri	Tomat	Wortel
Endosulfan	-	16	810	33	-	8	-
Klorpirifos	13	98	5	4	-	240	17
Profenofos	16	48	928	37	5032	64	210
Alfametrin	-	-	70	-	-	100	-
Sihalotrin	-	-	4	-	-	-	-
Ditiokarbamat	412	-	3	-	-	27	-
Permetrin	17	-	-	-	-	52	30
Klorotalonil	-	-	-	4	-	290	-
BPMC	-	-	57	-	-	6	-
Sipermetrin	-	-	-	-	-	18	-
Deltametrin	-	-	9	30	-	-	-
Fenvalerat	-	-	-	-	-	35	-
Fentoat	-	-	-	-	-	370	-
triazofos	-	-	-	20	-	-	-

- tidak terdeteksi

Sumber: Laksanawati *et al.* (1994), Ardiwinata *et al.* (2007)

Sayuran

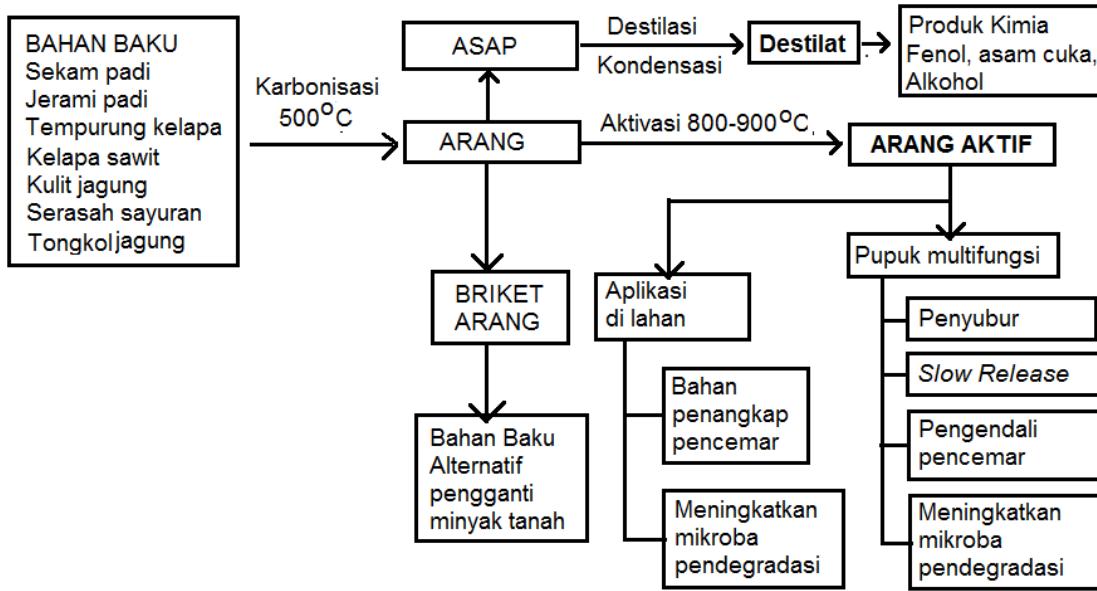
Penggunaan pestisida yang tinggi sejak revolusi hijau meningkatkan akumulasi residu dalam tanah dan produk pertanian. Beberapa peneliti telah melaporkan bahwa residu insektisida terdeteksi pada beberapa komoditas sayuran di Indonesia pada tahun 1994-1999, yaitu kubis, bawang merah, cabai, kentang, seledri, tomat, dan wortel. Sayuran cabai dan tomat terdeteksi paling banyak senyawa insektisida seperti endosulfan, klorpirifos, profenofos, alfametrin, sihalotrin, ditiokarbamat, BPMC, dan deltametrin (Tabel 4).

Di Jawa Barat, tanaman wortel terdeteksi mengandung insektisida klorpirifos (0,30 ppm) dan deltametrin (0,15 ppm); tanaman seledri terdeteksi residu profenofos (0,10 ppm), klorpirifos (0,075-0,150 ppm), deltametrin (0,01 ppm) dan diazinon (0,01-0,03 ppm). Di Jawa Tengah, tanaman wortel terdeteksi residu diazinon (0,10 ppm), karbofuran (0,04 ppm), dan permetrin (0,02 ppm) (Laksanawati *et al.* cit Soejitno dan Ardiwinata, 1999). Kubis, tomat dan mentimun dari pasar di Yogyakarta mengandung residu organoklorin yaitu α -BHC, β -BHC, γ -BHC, aldrin, dieldrin, heptaklor, endrin, p,p-DDT, p,p-DDE, dan o,p-DDT dengan kadar berkisar 0,1-11,9 ppb (Ohsawa *et al.* 1985).

KARAKTERISTIK ARANG AKTIF DAN PROSES PEMBUATAN

Arang aktif adalah bahan berkarbon yang berstruktur sarang sangat baik dengan luas permukaan spesifik internal besar yang mampu menambat molekul-molekul beragam pada permukaan inner, dan mampu menyerap berbagai bahan baik dalam bentuk fase gas ataupun cair. Arang aktif terdiri atas 87-97% C dan mengandung unsur-unsur seperti oksigen, hidrogen, sulfur, dan nitrogen (Choma & Jaroniec 2006). Arang aktif adalah alkali lemah yang mempunyai kemampuan menyerap air dan menahan udara. Namun arang aktif yang mengandung abu tinggi merupakan alkali kuat (pH 9-10) dan mempunyai luas permukaan yang besar (Ogawa, 1994). Arang aktif umumnya digunakan dalam sektor industri sebagai bahan pembersih, penyerap, dan bahan pengemban katalisator.

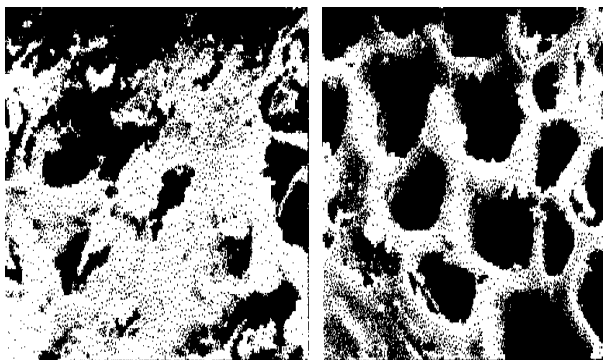
Arang aktif adalah suatu bahan hasil proses pirolisis arang pada suhu 600-900 oC. Selama ini bahan arang aktif tersedia melimpah dan bersifat dapat diperbaharui (renewable) yang berasal dari limbah pertanian, limbah kayu dan bambu. Bahan lainnya yang dapat digunakan adalah dari limbah pertanian antara lain sekam padi, jerami padi, tongkol jagung, batang jagung, serabut kelapa, tempurung kelapa, tandan kosong dan cangkang kelapa sawit, dan



Gambar 2. Diagram pembuatan arang aktif
 Figure 2. Diagram of active charcoal making process

sebagainya. Pada tahap awal limbah pertanian dibuat arang melalui proses karbonisasi 5.000°C dan tahap selanjutnya dilakukan aktivasi pada suhu 8.000 C-9.000°C. Proses pembuatan arang aktif terlihat pada Gambar 2.

Perbedaan mendasar arang dengan arang aktif adalah bentuk pori-porinya (Gambar 3). Pori-pori arang aktif lebih besar dan bercabang serta berbentuk zig-zag. Arang aktif bersifat multifungsi, selain media meningkatkan kualitas lingkungan juga pori-porinya sebagai tempat tinggal ideal bagi mikroba termasuk mikroba pendegradasi sumber pencemar seperti residu pestisida dan logam berat tertentu.



(a) (b)

Gambar 3. Struktur pori dari arang (a) dan arang aktif (b)

Figure 3. Pore structure of charcoal (a) and ative charcoal

Keunggulan arang aktif adalah kapasitas dan daya jerapnya yang besar, karena struktur pori dan keberadaan gugus fungsional kimiawi di permukaan arang aktif seperti C=O, C²⁻, dan C^{2H-}. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4, kualitas arang aktif ditunjukkan dengan nilai daya serap Iod dimana berdasarkan ketentuan dari SNI 06-3730-1995 arang aktif dinilai berkualitas bilamana nilai daya serap Iodnya mendekati 750 mg g⁻¹, misalnya arang dari tempurung kelapa dan tongkol jagung sebelum diaktivasi daya serap iodinya masing-masing adalah 276 dan 452 mg g⁻¹, namun setelah diaktivasi meningkat menjadi 672 dan 647 mg g⁻¹ mendekati nilai persyaratan kualitas arang aktif (Harsanti *et al.* 2010).

KEGUNAAN ARANG AKTIF DI LAHAN PERTANIAN

Arang aktif dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan hayati tanah. Arang aktif efektif dalam meningkatkan sifat fisik tanah seperti agregat tanah dan kemampuan tanah mengikat air. Pada tanah berliat, arang aktif dapat membantu menurunkan kekerasan tanah dan mempertinggi kemampuan pengikatan air tanah, sehingga berpengaruh terhadap peningkatan aktivitas mikroorganisme tanah. Di dalam tanah, arang aktif memainkan peranan sebagai shelter atau rumah untuk mikroorganisme. Pori-pori kecil pada karbon aktif digunakan sebagai tempat tinggal bakteri,

sedangkan pori besar dan retakan (cracks) digunakan sebagai tempat berkumpul (Ogawa 1994).

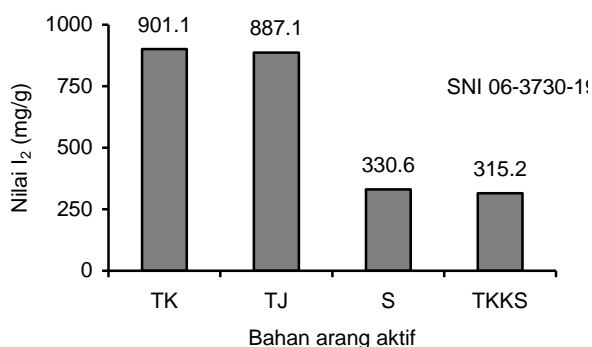
Penggunaan arang aktif di lahan sawah dapat meningkatkan jumlah bakteri dan bakteri fiksasi nitrogen (*Azotobacter*) di dalam tanah terutama di sekitar akar tanaman pangan. Hasil penelitian di Jepang melaporkan bahwa lahan yang diberi arang aktif meningkatkan frekuensi bakteri fiksasi nitrogen sebesar 10-15% di Hokkaido dan Tohoku (Honshu Utara), 36-48% di Kanto hingga Chugoku (Honshu sebelah Timur-Barat), dan 59-66% di Kyusu (Ogawa 1994). Hasil kajian di Balingtan melaporkan bahwa arang aktif dari tempurung kelapa dan tongkol jagung meningkatkan populasi mikroba *Citrobacter* sp, *Enterobacter* sp, dan *Azotobacter* sp lebih tinggi pada pertanaman padi dibandingkan arang aktif dari sekam padi dan tandan kosong kelapa sawit, sedangkan arang aktif tongkol jagung pada pertanaman kubis dapat meningkatkan populasi mikroba *Citrobacter* sp, *Pseudomonas* sp, *Serratia* sp, *Bacillus* sp, *Azotobacter* sp, dan *Azospirillum* sp. Beberapa bakteri tersebut termasuk bakteri pendegradasi pestisida dan penambat nitrogen.

MIKROORGANISME PENDEGRADASI RESIDU INSEKTISIDA

Kelompok utama mikroba tanah (*Actinomycetes*, jamur dan bakteri) dapat secara mudah menyesuaikan diri atau mendegradasi insektisida melalui oksidasi, dealkilasi, hidrosilasi, dehidrohalogenasi, epoksidasi, dehalogenasi reduktif, dan dealkilasi-N (Matsumura 1973). Beberapa mikroba yang berpotensi sebagai pendegradasi insektisida antara lain *Arthrobacter* sp., *Actinomycetes*, *Azospirillum lipoterum*, *Achromobacter* sp., *Bacillus* sp., *Flavobacterium* spp., *Micrococcus* sp., *Nocardia* sp., *Rhodococcus* sp., *Pseudomonas* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas cepacia*, *Streptomyces* spp. (Matten *et al.* 1994; Kennedy & Gewin 1997; Karpouzias *et al.* 2000). Dehidrohalogenasi merupakan proses utama karena sebagian besar pestisida mengandung halogen. Goring *et al.* (1975) menyimpulkan bahwa proses degradasi insektisida di dalam tanah mencakup reaksi kimia, pengkayaan mikrobial dan kometabolisme. Transformasi kimia dan mikrobiologis secara serentak dalam tanah sulit untuk dibedakan. Jalur degradasi rumit utama sudah mantap mencakup reaksi dehidrohalogenasi dan isomerisasi. Hasil akhir transformasi insektisida dalam tanah adalah karbon dioksida, air, garam mineral, metabolit yang secara alamiah berada dalam tanah, dan humat. Namun, nasib banyak metabolit insektisida dalam tanah relatif tidak dikenal. Menurut Kaufman & Edwards (1983), hanya tiga atau empat jalur degradasi metabolit lengkap yang diketahui dari 150 bahan kimia yang dipakai sebagai insektisida di seluruh dunia.

Penguraian hayati dilakukan oleh mikroorganisme, terutama pada tanah yang gembur (muck) (Rajagopal *et al.* 1984) dan tanah dengan kandungan bahan organik rendah (Zhong *et al.* 1995; Bachman & Patterson 1999). Pada tanah tergenang (flooded), insektisida dimineralisasi sempurna sebagai sumber-C tunggal lewat reaksi orde pertama oleh *Pseudomonas* sp. seperti *Pseudomonas cepacia*. Penguraian insektisida secara signifikan juga ditunjukkan oleh *Bacillus* sp., *Arthrobacter* sp., *Micrococcus* sp., dan *Azospirillum* sp. (misalnya *Azospirillum lipoferum*) dalam medium garam-garam mineral dengan atau tanpa sumber N tambahan (NH_4^+) (Hubbell *et al.* 1973). Penguraian agak lebih cepat jika insektisida menjadi sumber tunggal C dan N. *Pseudomonas stutzeri* dan *Bacillus pumilis* dapat menguraikan lebih dari 98% karbofuran dalam 30 hari (Mohapatra and Awasthi 1997).

Watanabe (1973) dan Matten *et al.* (1994) melaporkan bahwa penguraian insektisida di tanah



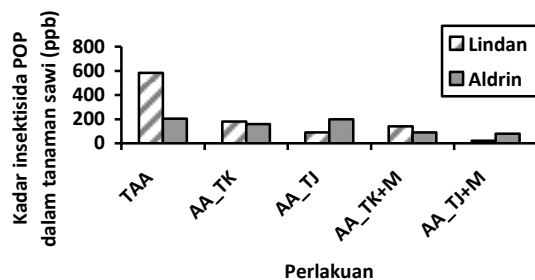
Sumber: Ardiwinata *et al.* (2003)

Gambar 4. Uji daya serap Iod pada empat bahan arang aktif (TK = tempurung kelapa, TJ = tongkol jagung, S = sekam padi, TKKS = tandan kosong kelapa sawit)

Figure 4. Experiment of Iod absorption on four kinds of active charcoal (TK=coconut shell, TJ=corn cob, S=hull of rice, TKKS=empty bunches of oil palm)

disebabkan oleh peranan mikroba *Pseudomonas* sp. Jalur penguraian dimulai dengan terbentuknya senyawa 3-hidroksi (insektisida) dan insektisida fenol dan selanjutnya diikuti oleh senyawa hidroksi(insektisida) fenol dan CO₂. Pendapat senada juga disampaikan oleh Chaudhry dan Ali (1988) bahwa diantara 15 genera bakteri yang diisolasi, ternyata bakteri *Pseudomonas* dan *Flavobacterium* mempunyai kemampuan dominan untuk mendegradasi insektisida.

Penggunaan arang aktif dalam budidaya tanaman pertanian dapat menurunkan residu pestisida dalam tanah, air, dan produk pertanian. Hasil penelitian Balingtan (2009), Arang aktif (AA) tempurung kelapa di tanah pertanaman kubis dapat menurunkan residu insektisida klorpirifos di air hingga sekitar 50%, sedangkan AA sekam padi, AA tempurung kelapa, AA tempurung kelapa pelapis urea, dan zeolit di tanah pertanaman kubis dapat menurunkan residu lindan di air hingga sekitar 50%. Penggunaan arang aktif dapat melalui beberapa cara antara lain melalui ameliorasi, pelapis urea, dan sebagai filter air inlet dan outlet (Fio) yang ditempatkan pada saluran air inlet dan outlet. Hasil penelitian Balingtan 2009 menunjukkan bahwa AA tempurung kelapa, AA tempurung kelapa pelapis urea, AA tongkol jagung dan AA tempurung kelapa pelapis urea + Fio pada pertanaman padi sawah dapat menurunkan residu insektisida klorpirifos dan lindan pada air outlet lebih dari 50%.



Keterangan : TAA = tanpa arang aktif, AA_TK = arang aktif dari tempurung kelapa, AA_TJ = arang aktif dari tongkol jagung, AA_TK+M = arang aktif tempurung kelapa diperkaya mikroba konsorsia, AA_TJ+M = arang aktif tongkol jagung diperkaya mikroba konsorsia

Gambar 5. Residu lindan dan aldrin dalam tanaman sawi yang diberi arang aktif dari tempurung kelapa dan tongkol jagung di lahan sayuran Magelang

Figure 5. Residue of lindan and aldrin on mustard green treated with coconut shell and corn cob active charcoal on vegetables field, in Magelang

Arang aktif yang berasal dari sekam padi mampu menurunkan kandungan residu pestisida di dalam tanah hingga 70%. Pori arang aktif sebagai rumah ideal bagi bakteri *Pseudomonas* sp yang berfungsi sebagai pendegradasi karbofuran hingga lebih dari 50%. Hasil penelitian Harsanti *et al.* (2013) menunjukkan bahwa arang aktif dengan yang diperkaya mikroba konsorsia takaran 45 kg ha⁻¹ efektif menurunkan residu organoklorin lindan dan aldrin (Gambar 5). Kadar residu lindan dan aldrin pada tanaman sawi yang diberi arang aktif dari tempurung relatif lebih tinggi daripada yang diberi arang aktif dari tongkol jagung. Demikian pula dengan arang aktif yang diperkaya mikroba konsorsia, kadar residu kedua senyawa POPs tersebut lebih rendah pada bahan tongkol jagung.

PROSPEK PENGEMBANGAN ARANG AKTIF

Penggunaan arang aktif untuk menurunkan residu pestisida dalam tanah dan produk pertanian mempunyai prospek yang menjanjikan. Penurunan residu pestisida berarti meningkatkan kualitas pangan sekaligus kualitas lingkungan, sehingga pangan lebih aman dikonsumsi dan lebih menyehatkan manusia. Arang aktif juga dapat memperbaiki sifat fisik tanah, ketersediaan hara esensial bagi tanaman, dan meningkatkan populasi mikroba yang menguntungkan bagi kesuburan tanah. Manfaat langsung dari penggunaan AA di lahan pertanian adalah dapat mengurangi pencemaran air permukaan di sungai/kali yang dapat mengganggu kehidupan organisme air dan kesehatan manusia, mengurangi residu pestisida dan logam berat pada produk pertanian, mengurangi limbah pertanian dan memberikan nilai tambah dari limbah pertanian. Dengan demikian arang aktif atau sering disebut sebagai AA dapat berperan dalam meningkatkan kualitas lingkungan. Oleh karena itu, upaya sosialisasi efektivitas arang aktif di tingkat petani perlu dilakukan terutama oleh dinas-dinas terkait dan pemerhati lingkungan.

KESIMPULAN

1. Penggunaan bahan agrokimia terutama pestisida dalam budidaya tanaman pangan dan sayuran setiap tahun mengalami peningkatan sehingga menyebabkan akumulasi residu pestisida dalam tanah, air, dan produk pertanian.

2. Residu pestisida organoklorin hingga kini masih terdeteksi di lahan sawah dan sayuran meskipun penggunaannya sudah dilarang, yang menunjukkan bahwa pestisida tersebut lebih resisten terhadap degradasi oleh mikroba dan umumnya merupakan senyawa persisten organic pollutant (POP).
3. Pemanfaatan arang aktif dari limbah pertanian merupakan salah satu remediasi untuk menurunkan kadar residu pestisida dalam tanah, dimana arang aktif dari tongkol jagung lebih efektif menurunkan residu organoklorin aldrin dan lindan daripada arang aktif dari tempurung kelapa.
4. Pengkayaan arang aktif dengan mikroba konsorsia lebih efektif menurunkan kadar residu pestisida daripada arang aktif yang tidak diperkaya dengan mikroba konsorsia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiwinata, A.N., S.Y. Jatmiko, dan E.S. Harsanti. 1999. Monitoring residu insektisida di Jawa Barat. Hal. 91-105 dalam Risalah Seminar Menuju Produksi Padi Berwawasan Lingkungan. Bogor, 24 April 1999.
- Ardiwinata, A.N. S.Y. Jatmiko, E.S. Harsanti, dan J. Soejitno. 2003. Residu pestisida: Ekolabel dan upaya ameliorasi. Hal. 97-107 dalam: Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian. Pusat Litbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Balingtan. 2009. Laporan Tahunan 2008. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Jakenan, Pati, Jawa Tengah.
- Bachman, J & H.H. Patterson. 1999. Photodecomposition of the carbamate pesticide carbofuran: Kinetics and the influence of dissolved organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 33:874-881.
- Chaudhry, G.R., and A.N. Ali. 1988. Bacterial metabolism of carbofuran. *Applied and Environmental Microbiology* 54(6): 1414-1419.
- Choma, J., & M. Jaroniec. 2006. Characterization of nanoporous carbons by using gas adsorption isotherms. p. 107-158 in Bandosz, T.J. (ed.). *Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation*. Elsevier.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2012. Pedoman Teknis Kajian Pestisida Terdaftar dan Beredar T.A. 2012. Direktorat Pupuk dan Pestisida, Dirjen Prasarana dan sarana Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Harsanti, E.S., S.Y. Jatmiko, dan A.N. Ardiwinata. 1999. Residu insektisida pada ekosistem lahan sawah irigasi di Jawa Timur. Hal. 119-128 dalam Risalah Seminar Menuju Produksi Padi Berwawasan Lingkungan. Bogor, 24 April 1999.
- Harsanti, E.S., Mulyadi, Eman Sulaeman, Sri Wahyuni, dan Indratin. 2010. Pupuk urea berlapis arang aktif di lahan sawah yang menurunkan residu lindan dan klorpirifos. Laporan Penelitian Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Jakenan, Pati, Jawa Tengah.
- Harsanti, E.S., Indratin, Sri Wahyuni, E. Sulaeman, dan A.N. Ardiwinata. 2012. Efektivitas arang aktif diperkaya mikroba konsorsia terhadap residu insektisida lindan dan aldrin di lahan sayuran. *Jurnal kualitas Lingkungan Hidup ECOLAB* 7(1): 27-36.
- Jatmiko, S.Y., E.S. Harsanti, dan A.N. Ardiwinata. 1999. Pencemaran pestisida pada agroekosistem lahan sawah irigasi dan tadah hujan di Jawa Tengah. Hal. 106-118 dalam Risalah Seminar Menuju Produksi Padi Berwawasan Lingkungan. Bogor, 24 April 1999.
- Kaufman, D.D., and D.F. Edwards. 1983. Pesticide/microbe interaction effects on persistence of pesticides in soil. pp. 177-182 In: Miyamoto, J., and P.C. Kearney (Eds.) *Pesticide Chemistry: Human Welfare and the Environment*. Vol. 4. Pergamon Press.
- Laksanawati, H. Dibyantoro, O.S. Gunawan, R.E. Suriatmadja, I. Sulastrri, dan M. Suparman. 1994. Deteksi residu pestisida pada wortel dan seledri di beberapa sentra produksi di Jawa Barat dan Jawa Tengah. *Bul. Penel. Hort.* Vol. XXVII No. 1. p. 89-97.
- Matsumura, F. 1973. Degradation of pesticides residues in the environment. pp. 494 in: C.A. Edward (Ed.). *Environmental Pollution by Pesticides*. Plenum Press, London.
- Matten, A., S. Chapalamadugu, B. Kaskar, A.R. Bhatti, and G.R. Chaudhry. 1994. Microbial metabolism of carbamate and organophosphate pesticides. pp. 198-233 In G.R. Chaudry (Ed.). *Biological Degradation and Bioremediation of Toxic Chemicals*. First Eds. Chapman & Hall.
- Kennedy, A.C. and V.L. Gewin. 1997. Soil microbial diversity: Present and future considerations. *Soil Science*. 162(9): 607617.
- Karpouzias, D.G., J.A.W. Morgan and A. Walker. 2000. Isolation and characterization of 23 carbofuran degrading bacteria from soils from distant geographical areas. 6p. <http://www.blackwell-synergy.com/links/doi/10.1046/j.1472-765x.2000.00823.x/full/>
- Mohapatra, S. & M. D. Awasthi. 1997. Enhancement of carbofuran degradation by soil enrichment cultures, bacterial cultures and by synergistic interaction among bacterial cultures. *Pestic. Sci.* 49:146-148.
- Goring, C.A., D.A. Laskowski, J.W. Hamaker and R.W. Meikle. 1975. Principles of pesticide degradation in soil. pp. 135 in Haque, R., and V.H. Freed (Eds.). *Environmental Dynamics of Pesticides*. Plenum Press, New York.
- Murtado, A. Nugraha, I. Nasution, I.M. Samudra, P. Lestina, dan Ismiyatun. 1996. Status residu pestisida pada sentra produksi padi sawah. Laporan Hasil Penelitian Balitbio. Bogor. 15p.

- Ogawa, M. 1994. Symbiosis of people and nature in the tropics: Tropical agriculture using charcoal. *Farming Japan*. 28(5): 21-30.
- Ohsawa, K., S. Hartadi, S. Noegrohati, H. Sastrohamidjojo, K. Untung, N. Arya, K. Sumiartha, and S. Kuwatsuka. 1985. Residue analysis of organochlorine and organophosphorus pesticides in soils, water and vegetables. In: *Ecological Impact of Pest Management in Indonesia*. pp. 59-70.
- Rajagopal, B.S., G.P. Brahma Prakash, B.R. Reddy, U.D. Singh, and N. Sethunathan. 1984. Effect and persistence of selected carbamate pesticides in soil. In: Gunther, F.A., and J.D. Gunther (Eds.). *Residue Reviews: Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 93. Springer-Verlag, New York.
- Salomon, W., and W.M. Stigliani. 1995. *Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments: Risk Assessment of Delayed and Non-Linear Responses*. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Soejitno, J., dan A.N. Ardiwinata. 1999. Residu pestisida pada agroekosistem tanaman pangan. Hal. 72-90 dalam *Risalah Seminar Menuju Produksi Padi Berwawasan Lingkungan*. Bogor, 24 April 1999.
- Soerjani, M. 1990. Kecenderungan penggunaan pestisida di Indonesiadan berbagai negara Asia serta dampaknya terhadap lingkungan. Hal. 719-745 dalam *Perlindungan Tanaman menuju Terwujudnya Pertanian Tangguh dan Kelestarian Lingkungan*. Agricon. Bogor.
- Sunaryo, P.I. 1990. *Dampak Pestisida pada Biota Perairan*. Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin. Makasar. 14p.
- UNESCO. 2004. *Indonesia Progress Report on the Millenium Deloppment Goals*. UNESCO. New York.
- Watanabe, I. 1973. Decomposition of pesticides by soil microorganism-special emphasis on the flooded soil condition. *JARQ*. 7: 15-18.
- Zhong, H., F.L. Hastings, F.P. Hain, and J.F. Monahan. 1995. Carbaryl degradation on tree bark as influenced by temperature and humidity. *J. Econ. Entomol.* 88(3): 558-563.