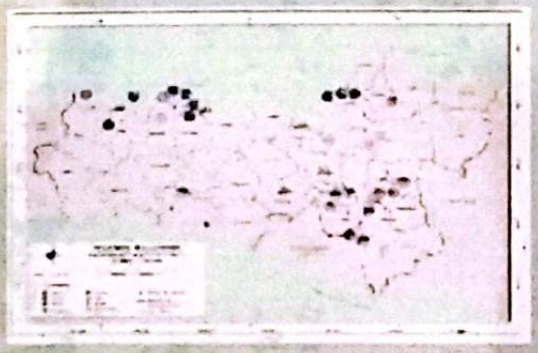
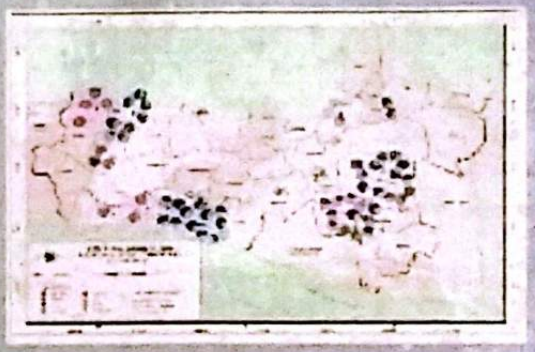
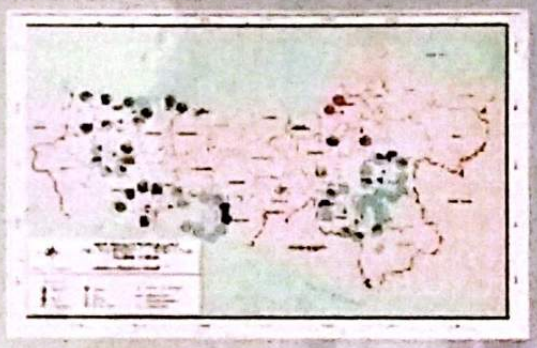
Petunjuk Teknis

REMEDIASI PESTISIDA SENYAWA POPs DI LAHAN SAWAH IRIGASI









BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
2016

PETUNJUK TEKNIS

REMEDIASI LAHAN TERCEMAR RESIDU SENYAWA POPS DENGAN BIOCHAR DAN ARANG AKTIF

PERPUSTAKAAN
BALAI PENELITIAN
LINGKUNGAN PERTANIAN
JAKENAN

BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN

BALAI BESAR LITBANG SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN

KEMENTERIAN PERTANIAN

2016

PETUNJUK TEKNIS

REMEDIASI LAHAN TERCEMAR RESIDU SENYAWA POPS DENGAN BIOCHAR DAN ARANG AKTIF

Penanggung jawab : Kepala Balai Penelitian Lingkungan Pertanian

Penyusun : Poniman
Sri Wahyuni
Indratin
Slamet Riyanto

Penyunting : H.L. Susilawati
A. Wihardjaka

Penyunting pelaksana : Yono

Foto sampul/layout : Yono

Diterbitkan Oleh
BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN
BALAI BESAR LITBANG SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
JL. Raya Jakenan – Jaken Km 05 Pati 59182 Jawa Tengah
Telp. 0295 3351277 fax. 0295 3351399
website : http://balingtan.litbang.pertanian.go.id
e-mail : balingtan@litbang.pertanian.go.id ; balingtan@yahoo.com

Petunjuk Teknis ini dapat disitasi dengan menyebutkan sumbernya

Hak Cipta @ 2016, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian

Jl. Raya Jakenan-Jaken KM 5 Jakenan-Pati 59182, Jawa Tengah

KATA PENGANTAR

Sejak revolusi hijau digulirkan pemerintah Indonesia, penggunaan pestisida terus meningkat dari tahun ke tahun. Ketergantungan petani terhadap penggunaan pestisida sulit dikendalikan, meskipun SL-PHT telah dinyatakan berhasil. Hampir di seluruh desa di Indonesia petaninya telah dikenalkan dan dilatih dalam program SL-PHT.

Kala itu, dikenalkanlah kepada petani pestisida dari golongan organoklorin yang akhirnya kita kenal sebagai pestisida senyawa POPs. Semua pestisida senyawa POPs berbahaya bagi lingkungan dan makluk hidup di sekitarnya. Saat ini setelah lebih dari 20 tahun, pestisida senyawa POPs dilarang penggunaannya di Indonesia, sisa-sisa residu dalam tanah, air, dan produk pertanian yang saat itu sering digunakan pestisida dari golongan organoklorin masih sering ditemukan.

Disisi lain, pasar bebas dunia 2020 tinggal menghitung hari, bahkan pasar bebas ASEAN (MEA) telah mulai berjalan tahun ini. Artinya *ekolabeling* akan menjadi prasyarat dagang antar negara, dan hanya produk-produk yang memenuhi syarat saja yang dapat masuk sebagai komoditas perdagangan. Memang dampaknya belum banyak dirasakan oleh para petani secara langsung, tetapi apabila pada saatnya nanti persyaratan ekolabeling dijalankan secara penuh pastilah dampak langsungnya akan dirasakan petani.

Hasil penelitian memberikan keyakinan bahwa produk pertanian yang bersih (*clean product*) hanya dapat dihasilkan dari proses produksi yang bersih dan dilakukan pada lahan-lahan yang bersih dari cemaran. Cemaran di lahan pertanian dapat diremediasi menggunakan bahan-bahan limbah pertanian.

Remediasi secara fisika dengan biochar atau arang aktif yang dikombinasikan dengan mikroba, nyata dapat menurunkan residu pestisida senyawa POPs pada tanah, air, dan produk beras.

Petunjuk teknis ini disusun untuk memberikan gambaran kepada *stakeholder* pentingnya remediasi pada tanah-tanah tercemar residu pestisida senyawa POPs, seperti: klordan, dieldrin, endrin, dan endosulfan di lahan sawah irigasi ditanam padi. Pendapat dan masukan sangat kami harapkan untuk perbaikan juknis ini. Kepada semua pihak yang konntribusi terhadap penyusunan juknis ini disampaikan ucapan terima kasih.Semoga juknis ini bermanfaat bagi petani secara umum.

Jakenan, September 2016

Kepala Balai

Dr. Ir. Prihasto Setyanto, M.Sc.

NIP. 19690816 199503 1 001

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR 3
DAFTAR ISI 5
DAFTAR TABEL 7
DAFTAR GAMBAR 8
I. PERTIMBANGAN UMUM 9
1.1 Revolusi hijau dan pestisida 10
1.2 Dampak revolusi hijau 11
1.2.1 Dampak positif 11
1.2.2 Dampak negatif 12
a. Timbulnya resistensi (ketahanan, kekebalan) hama 12
b.Timbulnya resurgensi hama 13
II. PESTISIDA PERSITENT ORGANIC POLUTTANS (POPs) 15
2.1. Definisi POPs 15
2.2. Distribusi pestisida POPs 17
2.3. Efek dan distribusi POPs di alam 18
2.4. Efek dan distribusi POPs di dalam jaringan tanaman 19
2.5. Efek dan distribusi POPs di dalam tubuh manusia 20
III. RESIDU PESTISIDA POPs DI LAHAN PERTANIAN 22
3.1. Status Residu Pestisida 24
3.2. Dampak Penggunaan Pestisida 27

IV. TINDAKAN PEMERINTAH DALAM MENGATUR TATA KELOLA PEREDARAN PESTISIDA POPs 28

4.1. Peran pemerintah terhadap pengaturan dan pengawasan peredaran pestisida POPs 28

4.2. Pentingnya ratifikasi pengaturan dalam peredaran POPs dunia 30

4.3. Teknologi Remediasi Residu Pestisida POPs 33

4.3.1. Bioremediasi 33

4.3.2. Kemoremediasi dan fisikoremediasi 36

4.3.3. Fitoremediasi 36

V. TEKNOLOGI REMEDIASI RESIDU PESTISIDA POPs DENGAN UREA BERLAPIS BIOCHAR ATAU ARANG AKTIF (AA) 37

5.1. Biochar 37

5.2. Aktivasi biochar menjadi AA 40

5.3. Mekanisme Aktivasi biochar menjadi AA 42

5.4. Fungsi dan manfaat biochar atau AA terhadap pertanian dan non pertanian 43

5.5. Manfaat biochar atau AA untuk sektor non pertanian 44

VI. KERAGAAN REMEDIASI PESTISIDA POPs 49

6.1. Pengaruh residu pada contoh tanah sawah 49

6.2. Pengaruh residu pada contoh beras 50

PENUTUP 53

DAFTAR BACAAN 54

DAFTAR TABEL

Tabel 1.Waktu paruh pestisida senyawa POPs (Indraningsih et al., 2006) 17

Tabel 2. Baku mutu senyawa POPs dalam limbah (PP. 85/1999) 29

Tabel 3. Lampiran II, tabel PP 74/2001, B3 yang dilarang (disitir sebagian khususnya senyawa POPs) 29

Tabel 4. Residu pestisida POPs pada contoh beras pada lahan sawah Kabupaten Jombang 2015 (Poniman et.al., 2015) 51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Akumulasi DDT dalam rantai makanan (Miller, 1975) 18

Gambar 2. Residu organiklorin pada contoh tanah di sentra produksi padi Jawa Tengah 25

Gambar 3. Residu organoklorin pada air tanah di sentra produksi Jawa Timur 26

Gambar 4. Residu organoklorin pada contoh beras di sentra produksi padi Jawa Tengah 26

Gambar 5. Skema pembuatan biochar dan arang aktif dari limbah pertanian (sumber: Poniman et al., 2015) 41

Gambar 6. Penurunan residu pada contoh tanah, searah jarum jan (a). residu klordan, (b). residu dieldrin, (c). residu endrin , dan (d). residu endosulfan 49

Gambar 7. Residu dieldrin dan endosulfan pada contoh beras di lahan sawah Kabupaten Jombang MK I 2015 52

I. PERTIMBANGAN UMUM

Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat di suatu wilayah memerlukan peningkatan kecukupan pangan. Saat ini, luas lahan pertanian relatif tidak bertambah, bahkan di beberapa wilayah dilaporkan terus menurun atau menyempit karena adanya alih fungsi lahan. Oleh karena itu, salah satu cara pemenuhan kebutuhan pangan dapat dilakukan dengan intensifikasi lahan untuk mencapai hasil yang maksimal.

Intensifikasi pertanian dilakukan dengan mengoptimalkan input seperti pupuk dan pestisida untuk memperoleh hasil produksi yang maksimal. Di Indonesia, awal penggunaan pupuk dan pestisida merupakan bagian dari revolusi hijau dan program modernisasi pertanian dari pemerintah tahun 1970-an. Program modernisasi pertanian ini mampu menjawab tantangan peningkatan produksi. Namun, setelah beberapa waktu penggunaanya memberikan efek samping.

Ketergantungan terhadap pupuk dan pestisida menyebabkan tanah yang semula memberikan respon baik terhadap pemberian pupuk menjadi melandai, hama dan penyakit yang semula dapat diberantas dengan pestisida tertentu menjadi tidak efektif lagi, dan beberapa hewan lain yang tidak merugikan menjadi ikut terbunuh akibat penggunaan pestisida yang berlebihan.

Manfaat penggunaan pestisida dalam mengendalikan hama penyakit membawa dampak yang harus dibayar mahal. Hama dan penyakit menjadi sulit dikendalikan dan resisten terhadap jenis pestisida tertentu. Tidak semua pestisida mengenai sasaran, sisanya jatuh ke tanah dan terakumulasi di tanah menyebabkan pencemaran lahan pertanian.

1.1 Revolusi hijau dan pestisida

Pestisida merupakan salah satu bagian dari revolusi hijau. Anggapan bahwa pestisida adalah obat bukan racun memperoleh tanggapan positif dari petani. Revolusi hijau adalah pengembangan teknologi pertanian untuk meningkatkan produksi dengan mengubah pertanian yang semula menggunakan teknologi tradisional menjadi pertanian yang menggunakan teknologi modern. Revolusi hijau menekankan pada tanaman *Serealia* (padi, jagung, gandum, dan lain-lain) untuk memenuhi kebutuhan pangan. Empat pilar dari revolusi hijau, yaitu: (1) penyediaan air melalui sistem irigasi, (2) pemakaian pupuk kimia untuk meningkatkan hasil, (3) penggunaan pestisida untuk pemberantasan hama dan penyakit, dan (4) penanaman varietas unggul (http://ridwanaz.com/umum/biologi).

Dari empat pilar tersebut diacu untuk program panca usaha tani: yaitu: (1) teknik pengolahan lahan pertanian, (2) pengaturan irigasi, (3) pemupukan, (4) pemberantasan hama, dan (5) penggunaan bibit unggul. Program ini menghantarkan Indonesia untuk berswasembada beras di tahun 1984.

Namun belakangan revolusi hijau menuai tuduhan miring sebagai penyebab gagalnya sistem pertanian di Indonesia karena produknya sarat kandungan residu pestisida, merusak lingkungan dan kesuburan tanah. Awal penggunaan pestisida di Indonesia belum diketahui waktunya. Namun diperkirakan bahwa pestisida mulai dikenalkan secara terbatas sejak perang dunia ke-2 dan digunakan secara besar-besaran sejak revolusi hijau berlangsung (Kasumbogo, 1993). Pestisida pertama yang dikenal berasal dari bahan aktif kelompok tembaga (Cu), belerang (S) untuk mengendalikan jamur *Plasmopara viticola* penyebab penyakit *downy mildew* pada buah anggur. Saat revolusi hijau berlangsung banyak beredar pestisida berbahan

aktif senyawa *Persitent Organic Pollutan* (POPs) dari kelompok organoklorin. Revolusi hijau telah menghasilkan perilaku baru sebagian besar petani di Indonesia. Petani semakin tergantung terhadap pestisida dan semakin meningkat penggunaannya.

1.2 Dampak revolusi hijau

Revolusi hijau memberikan anjuran penggunaan bahan kimia secara besar-besaran. Pupuk organik yang semula menjadi andalan petani digantikan dengan pupuk anorganik. Demikian juga dengan penggunaan pestisida nabati dianjurkan menggunakan pestisida kimia seperti: *dichloro diphenyl trichloro ethane* (DDT), endrin, dieldrin, dan lain sebagainya.

Penggunaan bahan kimia disektor pertanian dapat mengakibatkan dampak positif dan negatif.

1.2.1 Dampak positif

Dampak positif yang diperoleh dari program modernisasi pertanian yang diacu dari revolusi hijau adalah peningkatan produksi. Indonesia memproduksi beras sekitar 12,2 juta ton pada tahun 1969 dan meningkat menjadi 25,8 juta ton beras pada 1984 (Pusdiklat Kementerian Luar Negeri RI, 2011). Peningkatan produksi tersebut mengantar Indonesia sebagai negara swasembada beras. Pengakuan atas prestasi tersebut, dibuktikan dengan diundangnya Presiden Suharto oleh Direktur FAO (*Food and Agriculture Organization*) untuk menyampaikan pidato dalam sidang konferensi ke-23 di Roma, Italia, 14 November 1985 (Pusdiklat Kementerian Luar Negeri RI, 2011). Dampak postif lain yang dapat dirasakan masyarakat pertanian adalah: munculnya lapangan kerja di sektor pertanian semakin luas, pendapatan petani meningkat, dan meningkatnya produktivitas lahan.

c. Timbulnya ledakan hama sekunder

Hama terbagi menjadi hama utama dan hama kedua atau hama sekunder. Tujuan penyemprotan pestisida secara umum adalah untuk mengendalikan hama utama. Penyemprotan pestisida dapat menyebabkan penurunan populasi hama utama dan dapat berakibat adanya ledakan hama sekunder yang bersifat merusak. Contoh kasus di hamparan persawahan jalur Pantura Jawa Barat beberapa waktu lalu terjadi serangan hebat hama penggerek padi kuning *Scirpophaga incertulas*, dan disemprot menggunakan pestisida Dimecron dari udara. Akibatnya muncul hama ganjur karena parasitnya terbunuh. Peristiwa serupa serangan hama wereng coklat *Nilaparvata lugens* menggantikan kedudukan hama penggerek batang padi sebagai hama utama di Indonesia. Hal ini disinyalir akibat penggunaan pestisida golongan klor secara intensif untuk mengendalikan hama sundep dan beluk.

II. PESTISIDA PERSITENT ORGANIC POLUTTANS (POPs)

2.1. Definisi POPs

POPs indetik dengan pestisida golongan organoklorin karena memiliki gugus halogen pada setiap senyawanya. POPs adalah senyawa organik yang dapat bertahan lama di lingkungan dan terdegradasi melalui proses kimia, biologi, dan fotolisis. POPs mempunyai sifat kelarutan yang rendah di dalam air, dan kelarutan yang tinggi di dalam lemak (lipid). Karena itu POPs cenderung bersifat akumulatif dan selalu terdapat di lingkungan. POPs bersifat semi volatil sehingga dapat berada dalam fase uap ataupun terserap di dalam partikel debu, sehingga POPs dapat berpindah tempat ke jarak yang sangat jauh melalui media udara (long-range air transport) sebelum akhirnya terdeposisi di bumi (Ritter et al., 2007).

United Nations Environment Programme (UNEP) pada tahun 2001 menyepakati sebuah konvensi yang dikenal dengan "konvensi Stockholm", menyetujui pengendalian emisi POPs yang berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan (Anonim, 2005). Terdapat 12 senyawa POPs, yaitu: aldrin, klordan, DDT, dieldrin, endrin, heptaklor, heksaklorobenzen, mirex, toksapen, polychlorinated biphenyls (PCB), polychlorinated dibenzo-p-dioxins dan polychlorinated dibenzofurans. Sembilan pertama merupakan senyawa yang terkandung dalam pestisida dari golongan organoklorin, sedangkan tiga yang lain berasal dari non pestisida, yaitu dari hasil proses industri kimia (Anonim, 2005 dan Ritter et al., 2007).

Kesembilan pestisida tersebut berasal dari golongan organoklorin dan banyak digunakan di Indonesia dimasa lalu (Tarumingkeng, 1992). Organoklorin merupakan pencemar utama dalam POPs yang sedang dipermasalahkan dunia akibat

sifatnya yang toksik, kronis, persisten dan bioakumulatif (Zhou et al., 2006). Chlorinated hydrocarbon atau organokhlorin terdiri dari beberapa kelompok yang diklasifikasi menjadi tiga kelompok, yaitu: (1) kelompok cyclodienes (aldrin, klordan, dieldrin, heptachlor, endrin, toksapen, dan mirex, (2) kelompok hexachlorocyclohexan (lindan), dan (3) kelompok derivat chlorinated-ethan (DDT).

Di negara-negara sekitar ekuator dengan iklim tropis termasuk Indonesia organoklorin termasuk pestisida yang sangat efektif dan ampuh dalam mengendalikan OPT. Sebagai pestisida, sifat persistensinya sangat menguntungkan karena keampuhannya dalam mengendalikan OPT.Karena keampuhan dan daya bunuh terhadap OPT yang tinggi, serta harganya yang murah pestisida organoklorin banyak digunakan meskipun dunia telah menentang.

Waktu paruh pestisida POPs

Waktu paruh residu pestisida adalah waktu yang diperlukan untuk dapat mengurai setengah dari jumlah residu pestisida saat awal. Waktu paruh dapat dipengaruhi oleh kegiatan mikroba (bakteri dan jamur), perubahan cuaca (sinar matahari, kelembaban, suhu, dan lain-lain), serta proses kimia lainnya. Berikut waktu paruh pestisida yang dikategorikan sebagai senyawa POPs (Tabel 1).

Tabel 1. Waktu paruh pestisida senyawa POPs (Indraningsih et al., 2006)

Insektisida	Waktu paruh
	------- tahun ------
DDT	3-10
Heptaklor	7-12
Endrin	4-8
Toksafen	10
Aldrin	1-4
Dieldrin	1-7
Klordan	2-4
BHC	2
Endosulfan	4*)

Keterangan: *) satuan hari

2.2. Distribusi pestisida POPs

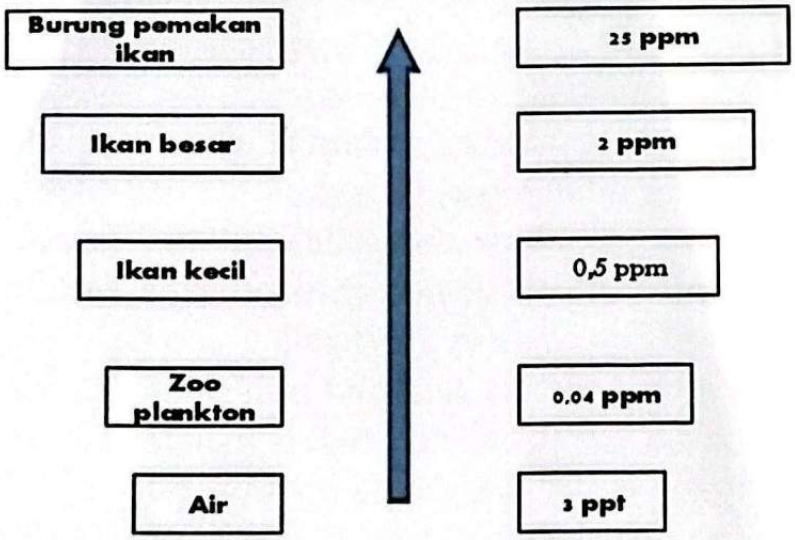
Apabila dilihat dari tabel 1, residu POPs seharusnya sudah menurun atau setidaknya sulit ditemukan, karena waktu paruhnya sudah terlampui. Akan tetapi, dalam jangka waktu 40 tahun organoklorin masih ditemukan di lingkungan dan biota, dan terdistribusi secara global di bumi bahkan ke daerah terpencil dimana organoklorin tidak pernah digunakan residu organoklorin masih dapat ditemukan (Fernández dan Grimalt, 2003). POPs juga dapat terdistribusi kedalam jaringan tanaman dan ikut masuk ke dalam tubuh makluk hidup melalui rantai makanan dan terpapar secara langsung. Apabila masuk ke dalam tubuh manusia berdampak terhadap sistem imun, hormon, dan reproduksi manusia.

POPs yang bersifat semi volatil mudah terbawa oleh aliran massa udara, dan berpindah tempat ke tempat yang jauh. POPs

yang lebih volatil dari kelompok organoklorida, dapat berubah menjadi bentuk gas sehingga penyebarannya sedikit terbatas (tidak terlalu jauh dari sumber emisinya), sedangkan POPs yang kurang volatil seperti kelompok hidrokarbon poliaromatik berpindah dalam bentuk partikel yang bergerak bersamaan dengan aliran massa udara (Tarumengkeng, 1982 ; Fernández dan Grimalt, 2003).

2.3. Efek dan distribusi POPs di alam

POPs yang masih tersisa di alam bebas merupakan residu yang berasal dari penggunaan masa lalu. Meskipun berdasarkan waktu paruhnya seharusnya sudah tidak ditemukan lagi residu POPs. Akan tetapi, kenyataan yang ditemukan di lapangan masih dapat dijumpai residu POPs. Ini membuktikan bahwa biomagnifikasi dan bioakumulasi tetap berjalan, sesuai dengan perannya masing-masing. Proses Biomagnifikasi dan bioakumulasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Akumulasi DDT dalam rantai makanan (Miller, 1975)

Biological magnification dari DDT dapat terjadi karena DDT merupakan insektisida yang sangat efektif terhadap serangga, tetapi tidak beracun bagi hewan (burung dan mammalia) (Gambar 1). Konsentrasi DDT 1 ppm di dalam tubuh serangga dapat berlipat menjadi 2000 kali lebih besar bila serangga-serangga tersebut dimakan oleh katak. Dan dalam tubuh burung yang memakan katak tersebut, konsentrasi DDT bisa jadi 8000 kalinya. Begitu seterusnya, hingga konsentrasi DDT semakin meningkat di dalam rantai makanan.

Ilyina et al. (2006) menyebutkan bahwa setidaknya terdapat empat model transport POPs di laut, yaitu:

1. Perpindahan melalui arus laut. Di dalam air laut, POPs berpindah mengikuti proses adveksi dan difusi turbulen.
2. Perpindahan melalui pertukaran udara-laut, yaitu terjadi karena pertukaran gas yang bersifat reversibel, deposisi partikel kering, dan deposisi basah.
3. Perpindahan distribusi secara fasa. Senyawa POPs yang terlarut dalam air berbentuk partikel bergerak mengikuti arus laut. Gaya berat dan gravitasi membuat senyawa-senyawa POPs mengendap di dasar laut membentuk sedimen. Akibat aktivitas biologi atau proses erosi sedimen dapat menyebabkan disturbansi dan akan diikuti perpindahan senyawa POPs ke permukaan.
4. Perpindahan akibat degradasi permukaan air laut.

2.4. Efek dan distribusi POPs di dalam jaringan tanaman

Residu yang terdapat dalam tanaman dapat berasal dari pestisida yang langsung diaplikasikan pada tanaman, melalui mekanisme aliran masa dari dalam tanah, melalui hembusan angin, dan debu yang terbawa hujan dari daerah penyemprotan

yang lain (Ozaki, et al., 1986 ; Ramesh et al., 1989 ; Li et al ,1996 ; Rozak et al., 2004 ; dan Khozanah, 2013).

Tinggi rendahnya residu pestisida pada jaringan tanaman sangat ditentukan oleh jenis pestisida, dosis dan frekuensi aplikasi, serta waktu aplikasi (Tarumengkeng, 1992 ; Karlina et al., 2014). Pestisida POPs bersifat persisten, lipofilik, tidak sistemik, meskipun demikian dapat diserap jaringan tanaman dalam jumlah rendah. Sedangkan distribusi pestisida POPs dalam tanaman sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman dan struktur jaringan organokhlor dari dalam tanah.

Residu dalam jaringan dapat menumpuk pada bagian tanaman tertentu, seperti menumpuk pada umbi, daging umbi, daun, dan lain-lain (Brooks, 1974). Di dalam jaringan tanaman pestisida POPs mengalami biotransformasi menjadi metabolit yang lebih mudah larut dalam air. Hasil metabolit tersebut dapat bersifat lebih beracun seperti aldrin yang mengalami epoksidasi menjadi dieldrin yang lebih persisten dan beracun.

2.5. Efek dan distribusi POPs di dalam tubuh manusia

Efek dan distribusi pestisida yang paling penting untuk diminimalkan adalah pada manusia. Toksisitas akut suatu senyawa digambarkan oleh nilai LD 50. Tabel 2 memperlihatkan bahwa senyawa organofosfat dan karbamat pada umumnya mempunyai harga LD 50 lebih tinggi dari senyawa organohlor. Kasus keracunan akut jarang dijumpai di masyarakat, sedangkan kasus keracunan kronis sering dijumpai pada petugas pengendalian hama dan para pekerja sektor industri pestisda.

Senyawa yang bersifat lipofilik dan masuk ke dalam tubuh manusia segera terdistribusi ke dalam jaringan-jaringan berlemak dan tersimpan di dalamnya. Senyawa organokhlor

dapat diekskresikan bersama dengan lemak melalui air susu, sehingga terjadi perpindahan residu insektisida yang telah terakumulasi dalam tubuh ibu ke anak yang disusuinya. Bioakumulasi menyebabkan keracuanan kronis. Bioakumulasi dapat terjadi apabila pemasukan (intake) lebih besar dari pengeluarannya (excretion).

Residu pestisida dalam makanan dengan level rendah tidak menimbulkan gejala keracunan kronis mapun akut, tetapi dapat menimbulkan efek subtil (subtle effect) – efek lanjut jangka panjang yang terjadi pada dosis rendah yang berulang-ulang. Efek subtil dapat berupa perubahan histologis dan patologis, efek karsinogenik, tumorigenik, mutagenik dan teratogenik. Efek subtil dari residu POPs dipicu oleh sifat biakumulasi dalam jaringan lemak tubuh karena proses rantai makanan (Pozo et al., 2006). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Lee et al., (2006) memperlihatkan adanya hubungan yang erat antara tingginya konsentrasi POPs pada penderita penyakit diabetes.

Pada hewan percobaan (tikus) pemberian 5-10 ppm DDT dapat mempengaruhi perubahan sitologi (Kasumbogo, 2008). DDT sebanyak 0,4 – 0,7 mg/kg/hari dalam ramsum makanan tikus, meningkatkan terjadinya leukimia dan tumor pada generasi kedua dan ketiga, kanker paru-paru meningkat sampai 25 kali pada generasi kelima (Kemeny dan Tarjan, 1966,1969). Beberapa insektisida seperti karbaril, DDT, dieldrin, lindane, fenion dan malation dapat menimbulkan efek mutagenik dan teratogenik pada dosis yang lebih tinggi dari pada dosis yang terdapat dalam lingkungan pada umumnya (Epstein dan Legators, 1971. Fernández dan Grimalt, 2003

III. RESIDU PESTISIDA POPs DI LAHAN PERTANIAN

Pencemaran di sektor pertanian sebagian besar diakibatkan oleh penggunaan bahan agrokimia terutama pestisida. Residu pestisida di lingkungan terjadi akibat dari aplikasi pestisida, terbawa oleh air (sungai, air tanah dan laut), angin dan terbawa dalam rantai makanan. Residu pestisida di lingkungan akan terus bergerak mengikuti rantai-rantai pembawanya, sedangkan pada produk pertanian akan masuk dalam tubuh konsumennya dan menimbulkan dampak negatif yang tidak diinginkan. Gangguan tersebut berupa: menurunnya nafsu makan, menurunnya daya jangkau perpindahan tempat sampai gangguan berat seperti: mutasi gen, kemandulan, dan bahkan kematian (Fernández dan Grimalt, 2003)

Ketidak tepatan petani dalam menentukan jenis, dosis dan cara aplikasinya merupakan penyebab pencemaran residu pestisida. Dalam sistem pengendalian organisme penganggu tanaman (OPT) terpadu, penggunaan pestisida dijadikan pilihan terakhir setelah cara-cara yang lain sudah tidak mampu lagi mengendalikan OPT. Untuk mengurangi terjadinya residu pestisida perlu dilakukan enam tepat, yaitu:

1. Tepat jenis, pestisida yang digunakan harus disesuaikan dengan jenis OPT yang ada di lapangan. Misalnya insektisida untuk mengendalikan serangga harus digunakan insektisida, untuk mengendalikan fungi dan cendawan digunakan fungisida, untuk mengendalikan rumput-rumputan digunakan herbisida.
2. Tepat dosis, dosis atau takaran yang digunakan hendaknya sesuai dengan anjuran yang tertera pada label/kemasan.
3. Tepat cara, setiap jenis pestisida memiliki karakteristik penggunaan yang berbeda. Biasanya formulasi penjualan

pestisida sudah disesuaikan dengan alat aplikasi dan cara aplikasinya. misalnya penyemprotan, perendaman, penaburan, pengolesan.

4. Tepat sasaran, jenis komoditas, jenis dan cara hidup OPT memiliki karasteriktik yang berbeda. Oleh karena itu setiap aplikasi pestisida harus disesuaikan dengan jenis komoditasnya (padi, tomat, kol, dan lain sebaginya), jenis OPT (serangga, tungau, dan lain sebaginya) dan cara hidup (menggerombol dibawah daun, makan pada waktu menjelang matahari terbenam, dan sebaginya). Hal seperti itu harus mendapat perhatian agar pestisida yang diaplikasikan tepat mengenai sasaran.
5. Tepat waktu, aplikasi pestisida akan efektif apabila dilakukan pada waktu yang tepat. Misalnya hersisida akan tepat diaplikasi di pagi hari sekitar pukul 9-11, memberantas ulat grayak akan berhasil apabila aplikasinya dilakukan sebelum matahari terbenam sampai sesaat setelah terbenam matahari.
6. Tepat tempat, yaitu disesuaikan dengan keadaan tempat yang akan diaplikasi pestisida, misalnya lahan kering, lahan basah, rawa, gudang, dan lain sebagainya. Insektisida untuk organisme di gudang beras misalnya tidak tepat apabila digunakan untuk mengendalikan hama ulat grayak di lahan sayuran.

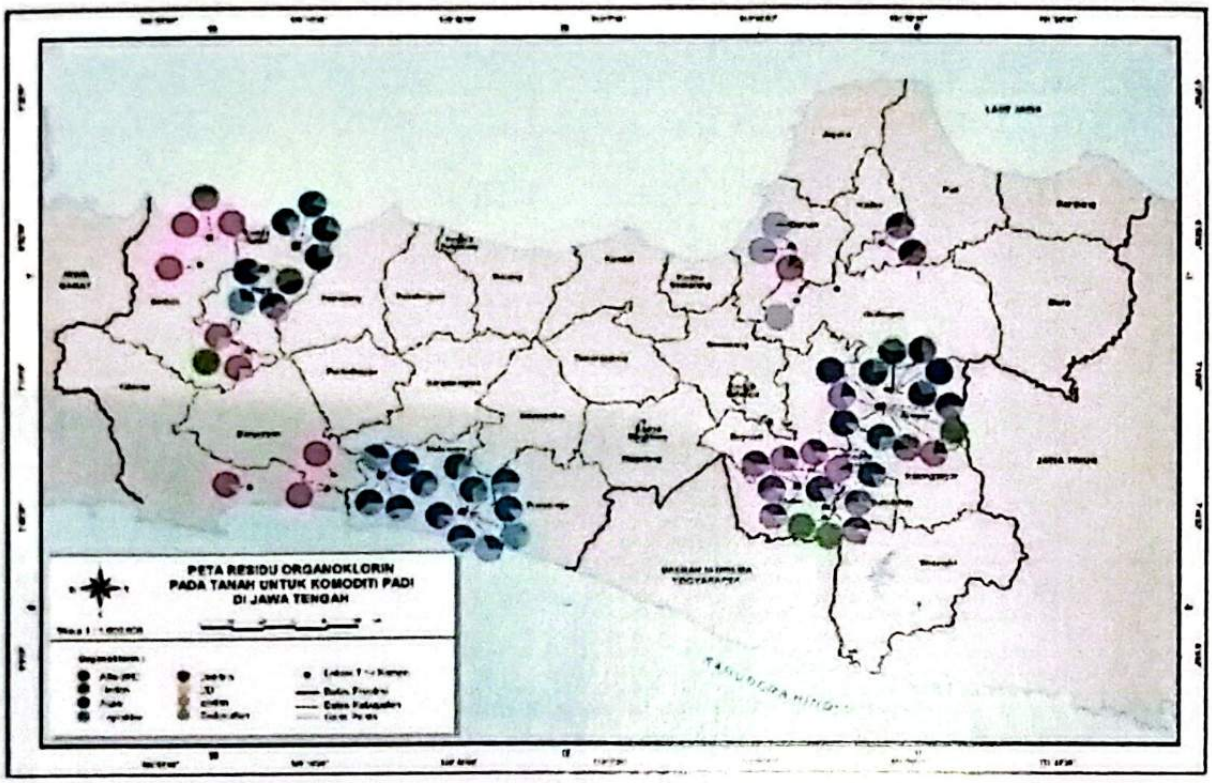
Apabila "6 tepat" tersebut dapat dipatuhi oleh para petani, maka pencemaran akibat residu pestisida dapat ditekan. Filosofi 6 tepat hendaknya tidak menjadi "slogan" semata, tetapi harus menjadi "tindakan" nyata. Ingat semua pestisida adalah RACUN, dan karena racun harus diminimalkan dampak negatifnya.

3.1. Status Residu Pestisida

Penggunaan pestisida yang tinggi meninggalkan residu pestisida golongan organoklorin, organofosfat dan karbamat dalam tanah. Pada ekosistem padi, konsentrasi residu pestisida dari tinggi ke rendah berturut-turut adalah tanaman > tanah > air (Ardiwinata et al, 2007). Hal ini disebabkan karena penyemprotan pestisida umumnya dilakukan langsung terhadap tubuh tanaman.

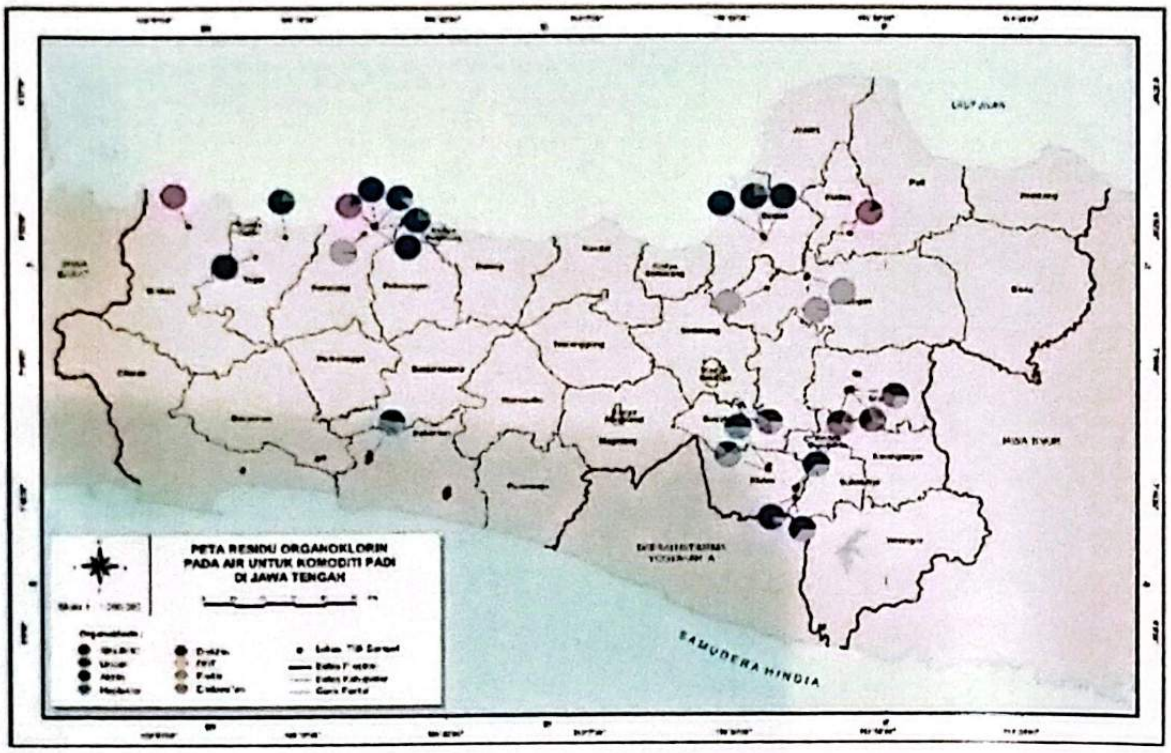
Residu pestisida telah mencemari lahan sawah irigasi dan tadah hujan di Jawa Tengah, lahan sawah irigasi di Jawa Timur dan Jawa Barat (Jatmiko et al., 1999; Harsanti et al., 1999; Ardiwinata et al., 1999; Ardiwinata dan Nursyamsi, 2012). Residu pestisida bukan hanya mencemari lahan sawah, tetapi juga telah mencemari agroekosistem tanaman pangan lainnya seperti kedelai, sayuran dan lain-lain, bahkan beras dan kedelai di beberapa pasar di DKI Jakarta (Riza dan Gayatri, 1994).

Residu organoklorin yang ditemukan di sentra produksi padi Jawa Tengah terdapat di dalam contoh tanah, air dan tanaman masing-masing disajikan pada Gambar , 2, 3 dan 4 (Ardiwinata et al., 2007) Senyawa yang ditemukan berupa lindan, heptaklor, aldrin, dieldrin, endrin, DDT dan endosulfan (Ardiwinata dan Nursyamsi, 2012). Senyawa organoklorin dominan yang ditemukan dalam tanaman padi adalah aldrin dan lindan, terutama ditemukan di Kabupaten Cilacap, Brebes dan Demak. Selanjutnya dalam contoh air di Kabupaten Klaten, Sragen dan Demak ditemukan aldrin, endrin dan lindan.

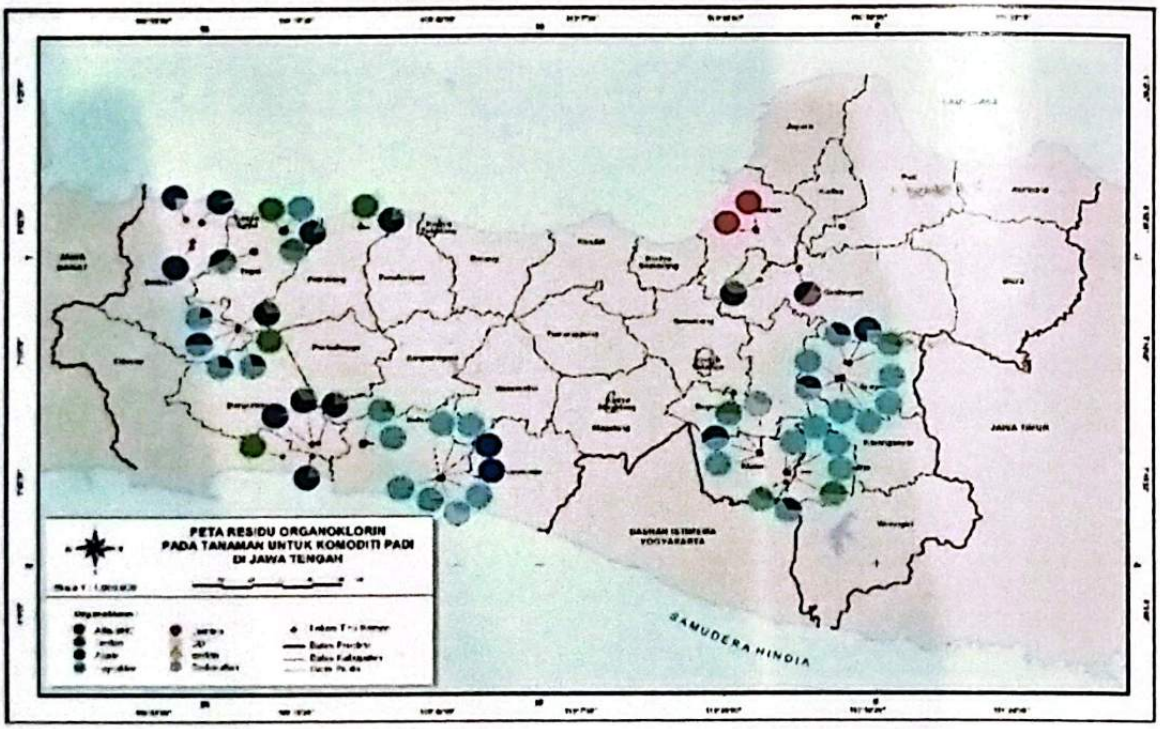


Gambar 2. Residu organiklorin pada contoh tanah di sentra produksi padi Jawa Tengah

PERPUSTAKAAN
BALAI PENELITIAN
LINGKUNGAN PERTANIAN
JAKENAN



Gambar 3. Residu organoklorin pada air tanah di sentra produksi Jawa Timur



Gambar 4. Residu organoklorin pada contoh beras di sentra produksi padi Jawa Tengah

Residu pestisida terdeteksi masuk kedalam produk pertanian yang dikonsumsi manusia seperti beras, sayuran, kedelai dan lain-lain. Murtado (1996) melaporkan bahwa beras yang beredar di pasar-pasar tradisional Jakarta mengandung lindan, aldrin dan heptaklor. Kedelai di beberapa pasar di daerah Jawa Barat (Ciamis, Cianjur, Garut, Kuningan, Majalengka dan Sumedang) ditemukan residu lindan dan dieldrin dan senyawa insektisida lainnya, serta contoh kedelai impor mengandung senyawa POPs lindan (Ardiwinata dan Soejitno, 1999)

3.2. Dampak Penggunaan Pestisida

Penggunaan pestisida memberikan kontribusi dalam pengendalian hama dan penyakit sehingga tercapai swasembada beras pada tahun 1984. Salah satu komponen dalam program BIMAS dan INMAS saat itu untuk mendukung swasembada beras adalah penggunaan pestisida. Disisi lain, penggunaan pestisida dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Badan Perlindungan Lingkungan Amerika (EPA) melaporkan bahwa berbasis volume yang digunakan, 60% dari herbisida, 90% dari fungisida dan 30% dari semua insektisida mempunyai potensi sebagai penyebab kanker (karsinogen). Selain bersifat karsinogenik residu pestisida dapat menimbulkan EDPs (Endocrine Disrupting Pesticides) yang mempengaruhi metabolisme steroid, gangguan fungsi tiroid, spermatogenesis, hormon gonadotropik, aktivitas oestrogenik dan aktivitas anti-androgenik (PAN, 2004 dalam Ardiwinata et al., 2007).

IV. TINDAKAN PEMERINTAH DALAM MENGATUR TATA KELOLA PEREDARAN PESTISIDA POPs

4.1. Peran pemerintah terhadap pengaturan dan pengawasan peredaran pestisida POPs

Peran pemerintah dalam mengatur dan mengawasi peredaran pestisida POPs di Indonesia sangat stretegis. Pemerintah telah mengeluarkan 3 peraturan untuk membatasi peredaran pestisida.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 85 tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan beracun berbahaya (B3), dimana senyawa POPs dan organoklorin (OCs) masuk dalam daftar limbah dari bahan kimia kadaluarsa, tumpahan, sisa kegiatan atau buangan produk yang tidak memenuhi spesifikasi.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.74 tahun 2001 tentang pengelolaan bahan beracun berbahaya (B3), dimana beberapa senyawa POPs dan OCs masuk dalam Tabel-1 lampiran II sebagai bahan yang dilarang dipergunakan. Sedangkan lindan masuk kedalam Tabel-2 Lampiran II sebagai bahan yang penggunaannya terbatas.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001 tentang kriteria mutu air.

Tabel 2. Baku mutu senyawa POPs dalam limbah (PP. 85/1999)

Kode limbah	Parameter	Baku Mutu (mg/L=ppm)
D 4023	Endrin	0,02
D 4025	Heptaklor	0,08
D 4026	heksoklorobenzen	0,13
D 4030	Lindan	0,4
D 4032	Metoksiklor	10
D 4001	Aldrin, Dieldrin	0,07
D 4008	Klordan	0,003

Tabel 3. Lampiran II, tabel PP 74/2001, B3 yang dilarang (disitir sebagian khususnya senyawa POPs)

No.	No Reg Chemical Abstract Service	Nama bahaan Kimia		Rumus molekul
1	309-00-2	Aldrin	HHDN	C12H8Cl6
2	57-74-9	Klordan	CD68; Velsicol 1068; Toxichlor; Niran; Octachlor; Orthochlor; Synclor; Belt; Corodan	C10H6Cl8
3	50-29-3	DDT	Dichlorodiphenyltrichloroethane ; D-58; Chlorophenothane; Clofenotane; Dicophane; p,p-DDT; Agritan; Gesapon; Gesarex; Gesarol; Guesapon; Necide	C14H9Cl5
4	60-57-1	Dieldrin	Compound 497; ENT 16225; HEOD; Insecticide No.497; Octalox	C12H8Cl6OH
5	72-20-8	Endrin	Compound 268; ENT 17251; Mendrin; Nendrin; Hexadrin	C12H8Cl6OH
6	76-44-8	Heptaklor	E3314; Velsicol 104; Drinox; Heptamu	C10H5Cl7

7	2385-85-5	Mirex	C6-1283; ENT 25719; Dechlorane; Hexachloropentadienedime	C10Cl12
8	8001-35-2	Toksapen	Hercules 3956: Polycholorcamphene; Chlorinatedcamphene; Campeclor; Altox; Geniphene; Motox; Penphene; Phenacide; Phenatox; Strobane-T; Toxakil	C10H10Cl89
9	118-74-1	Heksakloro benzen	Polychlorobenzene; Anticarie; Bunt-cure; Bunt-no-more; Julins carbon chloride	C6Cl6
10	1336-36-3	PCBs	Polychlorinated Biphenyls; Chlorobiphenyls; Arocloc; Clophen; Fenclor; Kenachlor; Phenochlor; Pyralene; Santotherm	C12XX=H or Cl

4.2. Pentingnya ratifikasi pengaturan dalam peredaran POPs dunia

Konvensi Stockholm ditandatangani oleh 151 negara termasuk Indonesia. Bentuk keseriusan pemerintah Indonesia terhadap Konvensi Stockholm adalah disyahkannya UU Nomor 19 tahun 2009, tentang pengesahan Stockholm Convention On Persistent Organic Pollutants (Konvensi Stockholm tentang bahan pencemar organik yang persisten). Konvensi Stockholm merupakan perjanjian internasional yang diprakarsai oleh The Governing Council of the United Nations Environment Programme (UNEP) sebagai usaha dalam menyikapi dan mewaspadai keberadaan POPs.

Setelah proses ratifikasi ketentuan mengikat dari suatu konvensi menjadi jelas dan pasti bagi negara dalam kedudukannya memperoleh jaminan hak terhadap pelaksanaan konvensi secara internaional. Dalam perspektif internasional ratifikasi Stockholm menjadi penting dalam hal menjaga

hubungan politik dengan negara lain sekaligus meningkatkan posisi tawar Indonesia dalam menghadapai perdagangan bebas dunia.

Keputusan untuk meratifikasi Konvensi Stockholm kedalam hukum Indonesia merupakan langkah strategis dalam ikut menjaga permasalahan lingkungan global dan mendatangkan konsekuensi politik internasional yang menguntungkan. Dengan ratifikasi konvensi Stockholm akan membuka kesempatan kerjasama dalam segala bidang meliputi ekonomi, budaya, teknologi, dan lain-lain.

Ratifikasi konvensi Stockholm memperkuat tata aturan hukum Indonesia tentang tata kelola lingkungan yang telah ada sebelumnya. Hal ini penting karena proses perlindungan lingkungan manusia dan lingkungan mendukung proses pembangunan berkelanjutan berwawasan lingkungan menjadi lebih efektif dan efisien untuk dilaksanakan.

Sebagai tindak lanjut ratifikasi konvesi Stockholm dan sebagai salah satu persyaratannya maka disusunlah dokumen Rencana Penerapan Nasional (NIP, National Implementation Plan), sebagai kerangka kerja program. NIP disusun dengan maksud untuk memformulasikan kebijakan, peraturan, strategi, dan program yang memuat tindakan bagi pemenuhan kewajiban konvensi dalam rangka mengurangi atau menghentikan pelepasan POPs di Indonesia.

Setelah melalui diskusi panjang oleh berbagai pihak, akhirnya NIP ditandatangani dan diluncurkan oleh Menteri Lingkungan Hidup tanggal 8 Oktober 2014. Meskipun NIP ini belum dapat berjalan secara optimal, namun sebagian besar stakeholder menaruh harapan besar terhadap penerapan NIP.

Sebagian rencana tindak lanjut dari NIP terhadap tata kelola POPs adalah sebagai berikut:

4.3.2. Kemoremediasi dan fisikoremediasi

Kemoremidiasi adalah remediasi menggunakan bahan kimia, seperti: injeksi ozon dan gas oksigen, pengendapan kimia, pemisahan membran, penukar ion, penyerapan karbon, oksidasi kimia air, dan *surfactant enhanced recovery.* Sedangkan fisikoremediasi merupakan remediasi secara fisika, seperti air sparging dan dual phase extraction. Kemoremediasi dan fisikoremdiasi jarang dilakukan, karena memerlukan teknologi yang rumit dan penuh kehati-hatian. Selain itu kemoremediasi dikhawatirkan menambah efek toksiknya bagi organisme hidup (Ni'matuzahrohet al., 2006).

4.3.3. Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah teknologi pembersihan, penghilangan atau pengurangan zat pencemar dalam tanah atau air dengan menggunakan bantuan tanaman (Chussetijowati et al., 2009). Sampai saat ini dikenal lima jenis fitoremediasi yaitu: fitoekstrasi, fitodegradasi, filtrasi akar, fitostabilisasi, dan fitovolatilisasi (Pilon-Smith 2005; Fellet et al., 2007; Padmavathiamma dan Li 2007). Dalam fitoremediasi terdapat 2 mekanisme utama yaitu: 1) akar tanaman dapat mengambil polutan dari dalam tanah; dan 2) dengan menggunakan tanaman pembersih yang dikenal dengan istilah pemacu fitoremediasirizosfir. Aiyen (2006) melaporkan bahwa tanaman hiperakumulator harus mampu mentranslokasikan unsur-unsur tertentu tersebut dengan konsentrasi sangat tinggi ke pucuk dan tanpa mengganggu pertumbuhan tanaman (fitotoksisitas).

V. TEKNOLOGI REMEDIASI RESIDU PESTISIDA POPs DENGAN UREA BERLAPIS BIOCHAR ATAU ARANG AKTIF (AA)

Perbedaan mendasar antara biochar dan arang aktif (AA) adalah bentuk pori-porinya. Pori-pori AA lebih besar dan bercabang serta berbentuk zig-zag, sedangkan pori-pori biochar lebih kecil. Dalam partikel biochar atau AA terdapat tiga macam pori, yaitu (1) makropori dengan ukuran lubang >50 nm, (2) mesopori dengan ukuran lubang antara 2-50 nm, dan (3) mikropori dengan ukuran lubang < 2 nm (Crittenden et al., 1998)

5.1. Biochar

Biochar atau arang merupakan materi padat yang berasal dari limbah pertanian yang mengalami karbonisasi. Biochar memiliki pori-pori yang lebih kecil (mikro), dan apabila diaplikasikan ke dalam tanah dapat mengikat karbon (C) yang cukup besar. Biochar diyakini dapat meningkatkan keamanan pangan, kualitas air tanah, dapat menjaga kestabilan kation tanah, posfor, total N dan kapasitas tukar kation tanah (KTK) yang pada akhimya meningkatkan hasil karena dapat mengurangi risiko pencucian hara khususnya kalium dan N-NH4 (Bambang, 2012 dan IBI, 2012). Lehmann dan Rondon (2006) serta Rondon et al. (2007) melaporkan bahwa biochar juga menyediakan media tumbuh yang baik bagi berbagai mikroba tanah.

AA bersifat multifungsi, yaitu sebagai media meningkatkan kualitas lingkungan, dan pori-porinya sebagai tempat tinggal ideal bagi mikroba. Kandungan karbon pada AA berfungsi sebagai sumber karbon bagi mikroba, menyebabkan mikroba senang hidup dalam pori-pori AA. Senyawa karbon amorf AA,

berbentuk padatan berpori mengandung 85-95% karbon, dan memiliki daya serap iod tinggi. AA dari tempurung kelapa dan tongkol jagung memiliki daya serap Iod masing-masing 901,1 mg/g dan 887,1 mg/g diatas standart SNI 06 0730 1995 sebesar 750 mg/g (Ardiwinata, 2009). Rongga arang aktif sangat disukai oleh mikroba sebagai tempat tinggal (rumah), sehingga populasi mikroba di dalam rongga AA meningkat karena adanya nutrisi berupa C dan N yang berasal dari residu pestisida yang terabsorp oleh dan masuk dalam pori AA.

Teknologi remediasi menggunakan urea berlapis biochar atau berlapis AA, terdiri dari serangkaian kegiatan, yaitu: (1) pembuatan biochar atau AA dari limbah pertanian, (2) pelapisan urea dengan biochar atau AA, (3) pengkayaan mikro pada urea berlapis biochar atau AA, dan (4) aplikasi urea berlapis biochar atau AA yang diperkaya mikroba.

Pembuatan biochar dari limbah pertanian

Bahan yang digunakan untuk pembuatan biochar adalah limbah pertanian yang memiliki kandungan lignin tinggi. Limbah-limbah tersebut antara lain sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa, dan tandan kosong kelapa sawit. Selama karbonisasi, unsur-unsur bukan karbon seperti hidrogen (H) dan oksigen (O) merupakan unsur pertama yang berubah bentuk menjadi gas akibat dari proses pirolisis (Manocha, 2003 dan Darmstadt et al., 2004). Karbonisasi melibatkan dekomposisi panas dari karbon, melepaskan spesi non karbon, dan membentuk karbon berpori dengan masa yang tetap dan serta membentuk pori-pori yang tidak beraturan. Proses karbonisasi biasanya dilakukan pada suhu di bawah 800°C pada arus tetap dan tanpa udara (Cislo et al., 2003).

Parameter yang menentukan mutu dan hasil karbonisasi adalah (1) tingkat pemanasan, (2) suhu akhir dan (3) waktu

perendaman (https://nico03soil.wordpress.com, 2012). Makropori terbentuk pada pemanasan sekitar 5000C karena dan pada pemanasan kurang dari 5000C makropori sulit terbentuk. Untuk meningkatkan makropori dapat dilakukan dengan proses aktivasi dengan suhu sekitar 800°C – 9000C. Sebaliknya pemanasan di atas 1000°C dapat mengakibatkan pengerasan karbon dan menurunkan porositas (Butt et al., 1998). Oleh karena itu suhu saat aktivasi menjadi penting untuk diperhatikan.

Karbonisasi dapat dilakukan secara pirolisis dengan cara yang paling sederhana sampai yang modern. Contoh cara karbonisasi sederhana adalah dengan memanfaatkan drum bekas sebagai tungku pembakaran. Caranya adalah dengan menyiapkan dua buah drum bekas dan memotong salah satu drum menjadi dua bagian. Kedua potongan drum menghadap keatas, potongan drum bagian bawah digunakan sebagai ruang pembakaran sedangkan potongan drum bagian atas digunakan sebagai tempat karbonisasi bahan. Potongan drum bagian atas dibuatkan tutup tahan panas dan lubang kecil sebagai tempat keluarnya asap. Drum ditutup rapat agar kedap udara, sehingga pirolisis berjalan sempurna. Saat pembakaran hanya lubang asap saja yang terbuka. Lubang asap tersebut dilengkapi dengan pipa penangkap asap untuk disalurkan ke drum kedua (drum yang masih utuh). Drum kedua dipasang tidak jauh dari tempat berdirinya drum pertama. Drum kedua diisi air berfungsi sebagai pendingin, yang didalamnya ditanam pipa berasal dari drum pertama dan berujung di luar drum untuk keluarnya asap cair.

Alat yang terbuat dari drum bekas volume 100 L, dapat digunakan untuk membuat kurang lebih 15 kg bahan biochar. Bahan biochar seperti: tempurung kelapa, tongkol jagung, dan sekam padi dimasukkan ke dalam tempat pembakaran kemudian dibakar dengan api sedang. Pembakaran berlangsung

sekitar 5 jam dengan suhu antara 250-3000C. Asap yang keluar dari proses pembakaran, otomatis ditangkap pipa yang ada di bagian atas tungku dan disalurkan melalui pipa ke dalam drum pendinginan. Asap panas yang masuk ke dalam ruang pendinginan akan mencair dan keluar dalam bentuk asap cair. Asap cair dapat dimanfaatkan sebagai pengawet ikan (pengganti formalin), pengawet makanan, dan pestisida organik. Setelah 5 jam, bara api dipadamkan dengan cara disiram air dan arang diangkat, setelah dingin arang kemudian dijemur diterik matahari. Dengan cara tersebut dihasilkan biochar sebanyak 4-5 kg dalam sekali proses.

5.2. Aktivasi biochar menjadi AA

Aktivasi adalah suatu proses menghilangkan ter yang masih tertinggal pada pori karbon dengan cara pemanasan uap air atau dengan suatu bahan pelarut kimia, sehingga luas permukaan pori menjadi lebih besar (Manocha, 2003; Darmstadt et al., 2004).

Proses aktivasi secara fisika dapat dilakukan dengan cara pemanasan mencapai suhu pada 800-1000°C untuk membentuk makropori arang aktif (Manocha, 2003). Proses perubahan menjadi bahan gas dengan uap air dan gas asam arang terjadi dengan reaksi endotermik sebagai berikut:

$C + H2O \rightarrow CO + H2$ (29 kkal),

$C + CO2 \rightarrow 2CO$ (39 kkal)

$CO + H2O \rightarrow CO2 + H2$ (10 kkal)

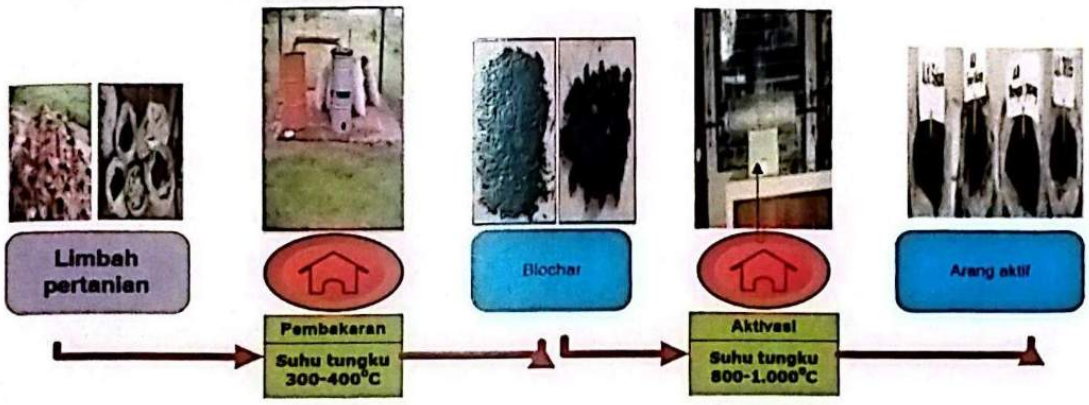
Molekul H2O lebih kecil daripada molekul CO2 dan diserap lebih cepat ke dalam pori-pori karbon, sehingga reaksi dengan uap lebih cepat daripada dengan CO2 (Manocha, 2003). Aktivasi dengan CO2 membuat oksidasi eksternal dan pengembangan pori-pori lebih besar dibandingkan dengan aktivasi uap air.

Jumlah relatif oksidasi internal dan eksternal tergantung pada pengembangan pori-pori dan karbonisasi bahan. Aktivasi arang tanpa pengembangan pori hanya akan menurunkan ukuran karbon granular (Gert Strand, 2001). Bobot karbon yang hilang meningkat secara linier dengan suhu dan waktu aktivasi. Aktivasi pada suhu rendah kurang dari 8000C menciptakan mesopori dan mikropori. Jumlah makropori meningkat tajam pada suhu aktivasi tinggi, dan peningkatan suhu aktivasi menyebabkan penurunan diameter pori-pori (Manocha, 2003).

Proses biochar menjadi AA adalah sebagai berikut:

1. biochar yang telah diturunkan dari tungku kemudian digrinding dengan bantuan mesin grinding atau penggerus,
2. masukan biochar yang telah digrinding ke dalam komponen aktivasi, berupa pipa panjang untuk dialirkan uap panas,
3. nyalakan sumber pemanas, jaga pada kondisi suhu stabil sekitar 800-900 oC dan dipertahankan selama 4-5 jam,
4. Dinginkan dan bongkar dari tungku pembakaran.

Berikut disajikan skema pembuatan biochar dan aktivasinya menjadi arang aktif secara sederhana (Gambar 4).



Gambar 5. Skema pembuatan biochar dan arang aktif dari limbah pertanian (sumber: Poniman et al., 201

5.3. Mekanisme Aktivasi biochar menjadi AA

Struktur dan distribusi ukuran pori-pori sebagian besar ditentukan oleh sifat alami bahan baku dan proses karbonisasinya. Atom karbon berbeda satu sama lain didalam kereaktifannya, tergantung pada pengaturan ruang pori arangnya. Pembakaran mengeleminasi karbon yang tidak sesuai dan membuka pori-pori dalam partikel karbon.

Secara normal, pada fase pertama, karbon yang tidak sesuai akan terbakar ketika pembakaran mencapai 10% dan pori-pori akan terbuka. Setelah itu, karbon pada cincin aromatis mulai terbakar dan menghasilkan sisi aktif dan memperluas permukaan pori-pori (Manocha, 2003).

Pada fase selanjutnya, reaksi aktivasi meruntuhkan dinding karbon oleh larutan aktivasi dan akan kehilangan bobot hingga 70%. Hasil aktivasi ini meningkatan jumlah pori-pori dan distribusi ukuran pori menjadi luas. Aktivasi dengan tingkat pembakaran 50-70% menyebabkan peningkatan total volume absorpsi 0,60 – 0,83 cm3/g. Didalam kasus aktivasi karbon dengan sistem uap, mikropori memberikan kontribusi sebesar 33% terhadap volume pori total dan 63% terhadap luas permukaan karbon yang dihasilkan. Sedangkan dengan cara aktivasi CO2 mempunyai volume pori total lebih kecil (0,49 cm3/g) daripada karbon yang dihasilkan dengan cara uap. Namun demikian, efektivitas luas permukaan kedua cara tersebut hampir sama. Aktivasi dilakukan dalam tungku aktifator dan sebanyak 50 kg biochar dimasukkan kedalam tungku. Gas LPG sebagai bahan bakar dialirkan untuk menyalakan tungku pembakaran. Proses aktivasi ini berlangsung selama 6-7 jam pada suhu 800-900oC.

Mekanisme degradasi residu pestisida dengan biochar dan AA

Kapasitas dan daya serap arang aktif yang besar melalui struktur pori dan keberadaan gugus kimia di permukaan arang aktif (C=O, ion C2- dan ion C2H-) mampu berperan dalam menurunkan pencemaran residu pestisida. Apabila residu pestisida masuk kedalam rongga AA, maka residu pestisida tersebut akan didegradasi oleh mikroba pendegradasi sehingga residu pestisida akan terurai/terdegradasi. Dengan demikian konsentrasi residu dari produk pertanian akan dapat diminimalisir. Selain itu penggunaan AA dari limbah pertanian untuk menanggulangi pencemaran residu pestisida dapat mengurangi limbah pertanian.

5.4. Fungsi dan manfaat biochar atau AA terhadap pertanian dan non pertanian

Manfaat biochar atau AA untuk sektor pertanian

Penggunaan arang aktif di lahan sawah dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. AA efektif dalam meningkatkan sifat fisik tanah seperti memperbaiki agregat tanah dan kemampuan tanah mengikat air. Pada tanah dengan kandungan liat tinggi, penggunaan arang aktif dapat membantu menurunkan kekerasan tanah dan meningkatkan kemampuan pengikatan air tanah, sehingga berpengaruh terhadap peningkatan aktivitas mikroorganisme.

Pori-pori kecil pada biochar atau AA dapat digunakan sebagai tempat tinggal bakteri, sedangkan pori-pori besar dan retakan digunakan sebagai tempat berkumpulnya koloni mikroba. Penggunaan biochar atau AA di lahan sawah dapat meningkatkan jumlah bakteri terutama bakteri fiksasi nitrogen

(Azotobacter sp.) di sekitar perakaran tanaman. Biochar atau AA dari tempurung kelapa, tongkol jagung, sekam padi, dan tandan kosong kelapa sawit dapat meningkatkan populasi mikroba Citrobacter sp., Enterobacter sp., dan Azotobacter sp. pada pertanaman padi. Sedangkan AA tongkol jagung pada pertanaman kubis dapat meningkatkan populasi mikroba Citrobacter sp., Pseudomonas sp., Serretia sp., Bacillus sp., Azotobacter sp., dan Azospirrilium sp.

Biochar atau AA sekam padi mampu menurunkan kandungan residu pestisida di dalam tanah higga 70%. Pemberian AA ke dalam tanah meningkatkan populasi bakteri Pseudomonas sp. yang berfungsi sebagai pendegradasi karbofuron hingga 50%.

Pemberian biochar atau AA secara simultan dengan urea dapat meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen. Hasil penelitian Balingtan pada tanah sawah Inceptisol di Karawang yang mengandung residu pestisida organoklorin, perlakuan urea berlapis arang aktif (UAA) dapat meningkatkan efisiensi pupuk N sebesar 13,5% (Wahyuni, et al., 2011). UAA bersifat lambat urai (slow release) sehingga menjamin ketersediaan N bagi tanaman dalam waktu relatif lama.

5.5. Manfaat biochar atau AA untuk sektor non pertanian

Biochar atau AA dapat digunakan sebagai sumber C untuk CS2, CaC2, silikon karbida, NaCN, CO, pigmen cat, obat-obatan, perekat (adhesive), serbuk hitam, elektroda, reaktor katalis, bantalan rem, absorben silinder gas (Estudillo et al., 1977), atau sebagai bahan campuran untuk pabrikasi baja (Palcon et al., 1978). Bahkan arang yang berasal dari tempurung kelapa apabila ditambah dengan Cu (tembaga) sangat baik digunakan

untuk menghilangkan As (III) dari air limbah sintetik dan limbah industri (Manju et al., 1998).

AA tempurung kelapa mempunyai beberapa kelebihan antara lain: kerapatan tinggi, kemurnian tinggi dan bebas debu serta memiliki mikropori lebih banyak (Estudilloet al., 1977 ; Roy, 1995). Pada umumnya struktur AA tempurung kelapa adalah seragam dan mempunyai ukuran pori-pori berkisar 5-10 Â (Fernandez dan Delgado, 1994).

AA tempurung kelapa telah lebih dulu digunakan sebagai absorben polutan pada limbah industri dan pertambangan minyak. AA aktif tersebut dapat memucatkan minyak untuk menurunkan bilangan peroksida dan kandungan asam lemak; menghilangkan fenol dari air (Manju et al., 1998); rafinasi (sebagai penghilang bau maupun warna) minyak sayur, gula, molase, jus buah, gliserin, dan sirup; sebagai adsorben gas dari alkaloid, enzim dan racun (toksin dan gas) dari berbagai sumber; sebagai penyaring gas berbahaya dalam masker gas serta dalam pabrikasi obat dan produk makanan; untuk pemulihan bensin, benzena, dan produk atsiri lainnya (Yustina dan hartini, 2011). AA juga dapat digunakan untuk menghilangkan bau dan rasa tidak enak pada proses penjernian air dengan menggunakan klorin sebagai desinfektan (Yang Yin et al., 2007).

Kelemahan AA tempurung kelapa dari segi komersialnya adalah mutunya kurang stabil bergantung pada usia dan ketebalan dari tempurung kelapa yang digunakan, dan harganya relatif lebih mahal daripada arang dari kulit gandum dan arang kayu (Palcon et al.,1978).

Pelapisan urea dengan biochar atau AA

Urea yang dilapisi arang aktif akan meningkat efisiensi pupuk N karena bersifat lambat urai (slow release). Pelapisan

urea dengan arang aktif dapat menurunkan kehilangan N melalui proses pencucian (leaching). Selaput (coating) arang aktif pada urea dapat menghambat pembentukan nitrat setelah beberapa saat pemberian pupuk nitrogen. Perlakuan 5% coating memberikan pengaruh yang cukup signifikan, sehingga konsentrasi nitrat cukup rendah jika dibandingkan dengan tanpa coating.

Pelapisan urea dengan biochar atau AA diawali dengan menimbang/menyiapkan masing-masing bahan. Untuk membuat urea berlapis biochar atau AA sebanyak 100 kg diperlukan bahan-bahan sebagai berikut: 80 kg urea, 20 kg biochar atau AA grinding, 80 mL molase dan air secukupnya. Setelah bahan-bahan tersebut siap, maka tahapan selanjutnya adalah membuat urea berlapis, yaitu:

1. perekat dibuat dengan cara melarut molase sebanyak 80 mL ke dalam air,
2. urea dimasukan ke dalam rotary granulator,
3. mesin penggerak rotary granulator dihidupkan, larutan perekat disemprotkan sedikit demi sedikit dan biochar atau AA dimasukan secara perlahan. Perekatan tersebut dilakukan secara berulang-ulang sampai urea terlapisi biochar atau AA secara sempurna.
4. apabila urea biochar atau AA telah terbentuk secara sempurna, maka mesin penggerak dimatikan,
5. urea berlapis biochar atau UAA yang sudah jadi diambil dari rotary granulator, dan dihamparkan beberapa saat untuk menghindari penggumpalan dan menurunkan kadar air,
6. urea berlapis biochar atau AA dimasukkan ke dalam wadah kedap air, dan siap digunakan seperti penggunaan pupuk urea.

Pengkayaan mikroka pada urea berlapis biochar (UB) atau urea berlapis arang aktif (UAA)

Mikroba yang digunakaan sebaiknya berasal dari mikroba indigenius, dimana urea berlapis biochar (UB) atau AA akan digunakan, seperti: Citrobacter sp., Sphaerotillus natans, Bacillus sp., Azotobacter sp. dan Azospirrillium sp. Mikroba-mikroba tersebut terbukti mampu mendegradasi residu pestisida POPs. Pengkayaan UB dan/atau UAA dengan mikroba dapat dilakukan dengan cara menyemprotkan mikroba sesaat sebelum diaplikasikan urea dilakukan. Caranya adalah dengan menyemprotkan larutan mikroba konsorsia sebanyak 40 mL setiap 1 kg UB atau UAA. Tahapan pengkayaan mikroba adalah sebagai berikut:

1. UB atau UAA dihamparkan tipis dengan beralaskan terpal/alas lainnya,
2. mikroba konsorsia disemprotkan secara merata dan dilakukan pembalikkan terus menerus hingga larutan mikroba habis,
3. UB atau UAA yang telah diperkaya dengan mikroba dimasukkan ke wadah yang telah disediakan, dan
4. UB atau UAA dapat diaplikasikan sebagaimana pemupukan urea pada umumnya.

Pengkayaan UB/UAA dengan mikroba dapat dilakukan sesegera mungkin dan sebelum urea berlapis dibongkar dari rotary granulator. Adapun caranya adalah sebagai berikut:

1. larutan mikroba disiapkan sesuai keperluan (40 mL mikroba kedalam 1 kg bobot UB atau UAA). Untuk pengkayaan 100 kg UB atau UAA diperlukan mikroba sebanyak 4.000 mL atau 0,4 L
2. saat mesin masih hidup dan rotary masih bergerak, mikroba disemprotkan sedikit demi sedikit sampai larutan habis.

3. UB atau UAA dikeringanginkan dan dihindarkan dari sinar matahari langsung, dan
4. UB atau UAA yang telah diperkaya mikroba diwadahi dengan wadah kedap air, dan sesegera mungkin diaplikasikan ke lahan sawah.

Aplikasi UB atau UAA untuk menurunkan residu pestisida POPs

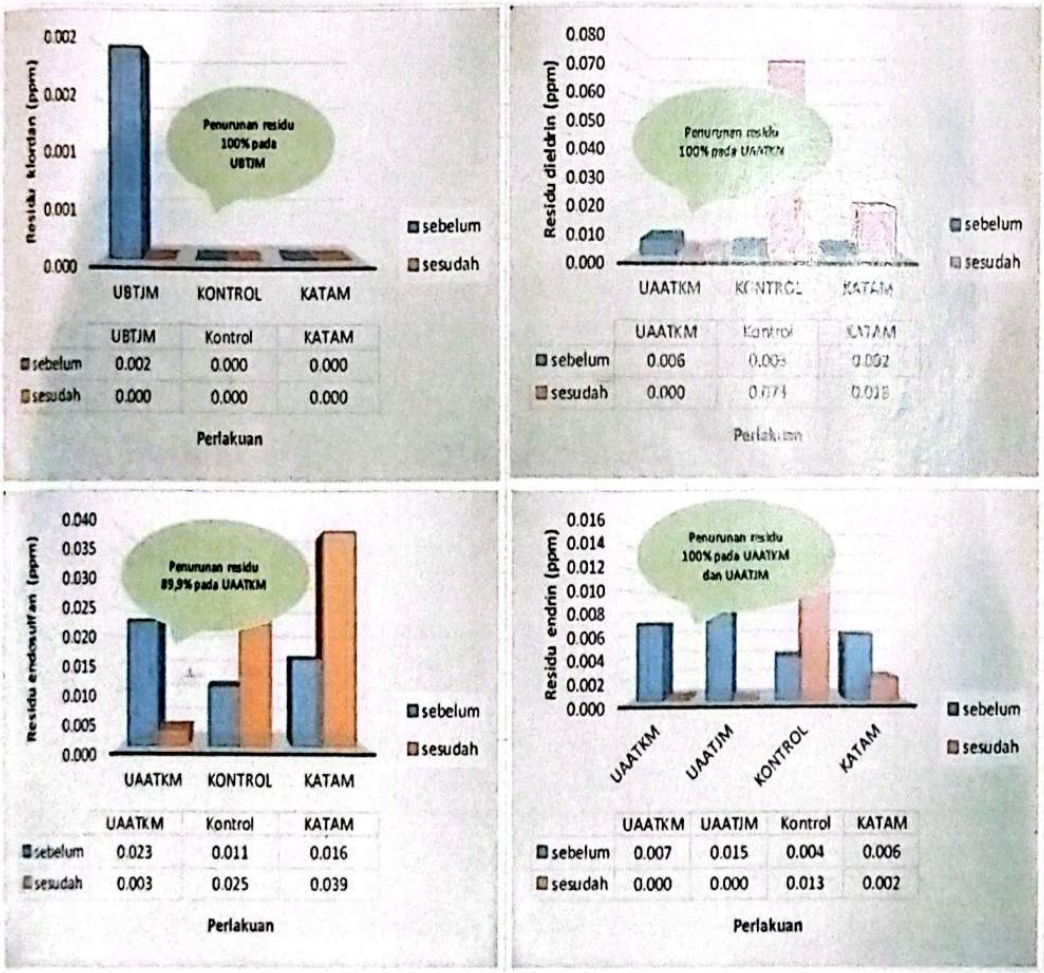
Aplikasi UB atau UAA tidak berbeda dengan aplikasi pupuk urea pril. UB atau UAA disebar secara merata pada lahan sawah, atau juga dapat dicampur dengan pupuk lain seperti SP36, KCl, phonska dan lain-lain. Hanya perlu dicatat bahwa pencampuran pupuk tidak boleh terlalu lama dan sesegera mungkin diaplikasikan setelah pupuk dicampur.

Pada tanaman padi, UB atau UAA dapat diberikan sekali (umur 7-10 HST=hari setelah tanam) atau dua kali (umur 7-10 HST dan umur 35-40 HST), sedang pemberian tiga kali tidak dianjurkan karena UB atau UAA termasuk pupuk yang slow release. Adapun dosis yang dianjurkan adalah 250-300 kg/ha UB atau UAA sesuai tingkat kesuburan lahan, atau juga dapat dilihat dosis anjuran urea melalui KALENDER TANAM (KATAM) TERPADU untuk masing-masing wilayah.

VI. KERAGAAN REMEDIASI PESTISIDA POPs

6.1. Pengaruh residu pada contoh tanah sawah

Teknologi remediasi dengan urea berlapis biochar atau AA yang diperkaya mikroba konsorsia dapat menurunkan residu klordan, dieldrin, endrin, dan endosulfan dalam tanah sawah (Gambar 3).



Gambar 6. Penurunan residu pada contoh tanah, searah jarum jan (a). residu klordan, (b). residu dieldrin, (c). residu endrin , dan (d). residu endosulfan

Remediasi urea berlapis biochar tongkol jagung diperkaya mikroba konsorsia (UBTJM) mampu menurunkan residu klordan pada contoh sawah sebesar 100%. Teknologi urea berlapis arang aktif tempurung kelapa diperkaya mikroba konsorsia (UAATKM) mampu menurunkan residu dieldrin pada contoh tanah sawah sebesar 100%. Teknologi urea berlapis arang aktif tempurung kelapa diperkaya mikroba konsorsia (UAATKM) dan urea berlapis arang aktif tongkol jagung diperkaya mikroba konsorsia (UAATJM) mampu menurunkan residu endrin pada contoh tanah sebesar 100%. Teknologi urea berlapis arang aktif tempurung kelapa diperkaya mikroba konsorsia (UAATKM) mampu menurunkan residu endosulfan pada contoh tanah sebesar 86,9%.

6.2. Pengaruh residu pada contoh beras

Residu klordan, dan endrin tidak terdeteksi pada contoh beras, tetapi residu dieldrin dan endosulfan dapat terdeteksi pada contoh beras. Teknologi urea berbasis tongkol jagung (UAATJM dan UBTJM) dapat menekan residu dieldrin dalam tanah. Pengukuran residu pestisida pada contoh beras disajikan pada (Tabel 4).

Tabel 4. Residu pestisida POPs pada contoh beras pada lahan sawah Kabupaten Jombang 2015 (Poniman et.al., 2015)

Perlakuan	Konsentrasi Residu			
	Klordan	Dieldrin	Endrin	Endosulfan
	---------- mg/kg ----------			
UAATKM	0,000	0,013	0,000	0,003
UAATJM	0,000	0,000	0,000	0,005
UBTKM	0,000	0,004	0,000	0,005
UBTJM	0,000	0,000	0,000	0,004
Kontrol	0,000	0,005	0,000	0,005
KATAM	0,000	0,006	0,000	0,004
BMR beras*)	0,020	0,020	0,020	1.00
ADI **) (mg/kg bb)	0,002	0,0001	0,0002	0,006

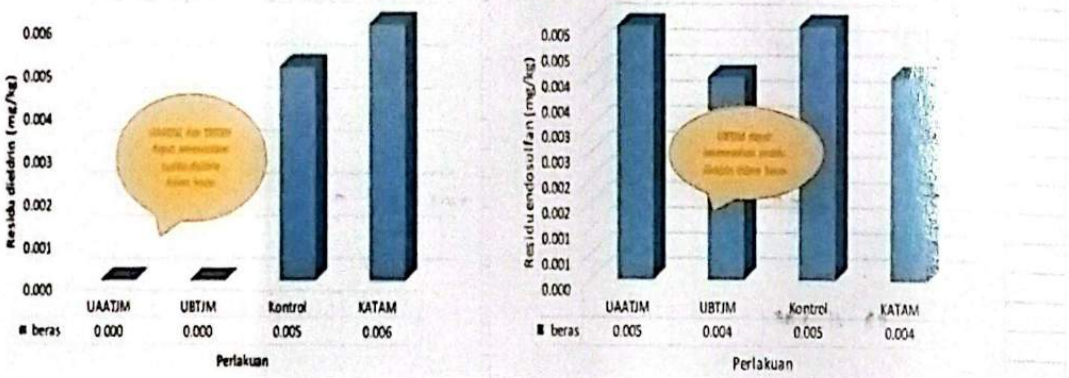
Keterangan: UAATKM: urea arang aktif tempurung kelapa mikroba, AATJM: urea arang aktif tongkol jagung mikroba, UBTKM: urea biochar tempurung kelapa mikroba, UBTJM: urea biochar tongkol jagung mikroba, Kontrol pola petani (350 kg urea/ha + 350 kg phonska/ha + 350 kgZA/ha), dan KATAM (300 kg urea/ha dan 75 kg SP36/ha).

*) Menurut SNI 7313:2008

**) Menurut International Program on Chemical Safety (1998)

Pada Tabel 4 terlihat bahwa semua residu pada contoh beras berada dibawah ketentuan BMR untuk beras. Batas atas sebesar 0,020 mg/kg untuk klordan, dieldrin, dan endrin, serta sebersar 1 mg/kg untuk endosulfan (SNI 7313:2008). Berbeda dengan BMR, ADI (Acceptable daily intake) sebagai acuan maksimum residu harian menunjukkan bahwa residu dieldrin

berdasarkan ketentuan ADI sebesar 0,0001 mg/kg berat badan, sedangkan residu endosulfan berdasarkan ketentuan ADI sebesar 0,006 mg/kg berat badan. Meskipun berdasarkan BMR aman untuk dikonsumsi, tetapi sebagai bahan yang dapat mengalami bioakumlasi dalam tubuh manusia tetap harus diwaspadai. Ilustrasi diatas menunjukkan bahwa residu dieldrin melebihi ketentuan ADI, sehingga dimungkinkan dapat menimbulkan resiko kesehatan.



Gambar 7. Residu dieldrin dan endosulfan pada contoh beras di lahan sawah Kabupaten Jombang MK I 2015

Keterangan: UAATJM: urea arang aktif tongkol jagung mikroba, UBTJM: urea biochar tongkol jagung mikroba, Kontrol pola petani (350 kg urea/ha + 350 kg phonska/ha + 350 kgZA/ha), dan KATAM (300 kg urea/ha dan 75 kg SP36/ha).

PENUTUP

Remediasi lahan tercemar bahan agrokimia terutama pestisida dapat dilakukan secara fisika dan biologi. Salah satu remediasi lahan tercemar secara fisika adalah dengan menggunakan biochar atau AA dimana bahan bakunya dapat dibuat dari limbah pertanian, sedangkan secara biologi adalah dengan menggunakan mikroba indigenous.

Petunjuk Teknis ini merupakan salah satu teknologi remediasi lahan pertanian tercemar residu pestisida POPs (klordan, disledrin, endrin, dan endosulfan) dalam mendukung akselerasi pembangunan pertanian ramah lingkungan yang lestari. Harapannya dengan adanya petunjuk teknis ini dapat menjadi panduan bagi para stakeholder dan pengambil kebijakan dalam upaya melakukan remediasi lahan yang tercemar residu pestisida.

DAFTAR BACAAN

Anonim. 2005. Ridding The World of POPs: A Guide tothe Stockholm onvention on Persistent Organic Pollutants. United Nations Environment Programme. Geneva

Ardiwinata, A.N. dan D. Nursyamsi. 2012. Residu Pestisida di Sentra Padi di Jawa Tengah. Pangan. Media Komunikasi dan Informasi. Volume 21 No.1 Maret 2012. Hal 39-58

Ardiwinata, A.N., S.Y. Jatmiko, & E.S. Harsanti, 1999. Monitoring residu insektisida di Jawa Barat. Hal 91-105 *dalam* Soetjipto Partohardjono, J. Soejitno, & Hermanto (Eds.). *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah*. Bogor 24 April 1999. Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Deptan. Bogor.

Arianti, F.D. 2002. Toksisitas Insektisida Endosulfan terhadap Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dalam Lingkungan Air Tawar. Tesis. Program Pascasarjana Institut Pertaniaan bogor. Bogor. 87 halaman.

Bambang,S.A., 2012. Si Hitam Biochar yang Multiguna. PT. Perkebunan Nusantara X (Persero), Surabaya

Corrigan,P.J.andP.Seneviratna. 1990.Occurence of organochlorine residues in Australiameat.Aust.Vet.J.67,(2):56-58

Crittenden, Barry and W.J.Thomas. 1998. Adsorption Technology and design. United Kingdom. Elsevier Science and technology Books.

Dipermana. 2012. Entomologi pertanian: pengendalian hama. https://yogadpermana.wordpress.com/2012/06/15/entomo

logi-pertanian-pengendalian-hama/ (diakses 7 November 2016)

Estudillo, C.P., J.M. San Luis, E.C Amio<& F.N. Tamolang. 1977. Charcoal production and utilization of coconut shell and trunk in Philippines. *NSDB Technol.J.*2:35-46.

FAO/WHO.1985.CodexAlimentariusCommision:GuidetoCodexRecommendationsConcerningPesticideResidues.Part2.MaximumLimitsforPesticideResiduesFAO/WHO,Roma

Fernandes, E. C., & T. S. Delgado. 1994. Charcoal and activated charcoal from coconut husks. *Philipp. Technol. J.* 19:59-65.

Fernández P. & J.O. Grimalt. 2003. On The Global Distribution of persistent Organic Pollutants. Chimia 57: 514-521.

Fytianos,K.,G.Vasilikiotis,L.Weil,E.Kavlendis,andL.Laskaridis.1985.Preliminarystudyoforganochlorinecompoundsinmilkproducts,humanmulkandvegetables.Bull.Environ.Contam.Toxicol34:504-508

Gert Strand. 2001. Activated Carbon for Purification alcohol. Malmoe Sweden

Harsanti, E.S., S.Y. Jatmiko, & A.N. Ardiwinata. 1999. Residu insektisida pada ekosistem lahan sawah irigasi di Jawa Timur. Hal. 199-128 *dalam* S.Partohardjono, J. Soejitno, & Hermanto (Eds.). *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah.* Bogor 24 April 1999. Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Deptan. Bogor.

Haryanto === Sejarah dan perkembangan pestisida dari masa ke masa. www.niaharyanto.com.(diakses 7 Nov.2016)

http://en.wikipedia.org/wiki/Chlordane(diakses, 15 April 2013)

http://en.wikipedia.org/wiki/Dieldrin (diakses, 22 April 2013)

http://en.wikipedia.org/wiki/Endosulfan (diakses, 23 April 2013)

http://en.wikipedia.org/wiki/Endrin (diakses, 23 April 2013)

Iljas,J.,K.Widodo,I.Pranaya,danK.Suparno.1986.Penelitiankadarresidu pestisidadalamsususapiperahdaridaerahJawaTengahMedika12(12):1097-1100

Ilyina, T., T. Pohlmann, G. Lammel, J. Sündermann. 2006. A Fate and Transport Ocean Model for Persistent Organic Pollutants and Its Application to The North Sea. Journal of Marine Systems 63: 1-19.

Indraningsih, & Y. Sani. 2006. Residu pestisida dalam jaringan otak sapi perah di Lembang, Jawa Barat. *JITV* 11(1): 76-83.

Indraningsih, Yuningsih, Firmansyah, & Rahmat. 2006. Residu pestisida pada serum sapi potong dan kemungkinan timbulnya residu pada produk peternakan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*. Bogor. 5-6 September 2006. Hal. 212-219.

Indraningsih. 2008. Residu pestisida pada susu segar: Sumber pencemaran dan alternatif penanggulangannya. *Prosiding Prospek Industri Sapi Perah Menuju Perdagangan Bebas 2020*. Jakarta. 21 April 2008. Hal. 294-302.

International Biochar Initiative (IBI), 2012. What is Biochar?. www.biochar-international.org (diakses 2 Desember 2016)

Jatmiko, S.Y., E.S. Harsanti, & A.N. Ardiwinata. 1999. Pencemaran pestisida pada agroekosistem lahan sawah irigasi dan tadah hujan di Jawa Tengah. Hal. 106-118 *dalam* S. Partohardjono, J. Soejitno, & Hermanto(*Eds.*). Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Bogor 24 April 1999. Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Deptan. Bogor.

Karlina, L., Anwar Daud, dan Ruslan. 2014. Identifikasi residu pestisida Klorfirifos dalam cabe besar dan cabe rawit di pasar terong dan Lotte mart Kota Makasar.

Khozanah. 2013. Perbedaan distribusi konsentrasi dan sumber pestisida organoklorin dalam air dan sedimen pada musim peralihan di perairan teluk Jakarta. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, Vol. 5, No. 1, Hlm. 122-130

Khozanah. 2013. Perbedaan Distribusi Konsentrasi Dan Sumber Pestisida Organoklorin Dalam Air Dan Sedimen Pada Musim

Peralihan Di Perairan Teluk Jakarta Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, Vol. 5, No. 1, Hlm. 122-130

Komisi Pestisida. 1990. Pedoman Pengujian Residy Pestisda dalan hasil pertanian, Pelaksanaan kententuan Batas maksimum Residu Pestisida jakarta: Direktorat Perlindungan tanaman pangan, Departemen Pertanian

Lehmann, J. and Rondon, M. (2006) Bio-Char Soil Management on Highly Weathered Soils in the Humid Tropics. In: Uphoff, N., *Ed.*, Biological Approaches to Sustainable Soil Systems, CRC Press, Boca Raton,p:517-530.

Li, Y.F ., A. Mc Millan, and M.T. Scholz. 1996.Global HCH usage with 1° x 1° longitude/latitude resolution. Environment Science Technology, 30:3525-3533

Manju, G.N., C. Raji, & T.S. Anirudhan. 1988. Evaluation of coconut husk carbon for the removal of arsenic from water. *Wat. Res.* 32: 3062-3070.

Manocha, S.M. 2003. Porous carbons. Sadhana Part 1 & 2.28:335-348. (http://www.ias.ac.in/sadhana/ Pdf2003Apr/Pe1070.pdf

Mishchenko, O. Dubovik, I. Laszlo, and I.N. Sokolik, 2007: Modeling of the scattering and radiative properties of nonspherical dust-like aerosols. *J. Aerosol Sci.*, **38**, 995-1014,

Ni'matuzahroh, A. Yahya, dan M. TAndjung. 2006. Studi PerbandinganBiosurfaktan Pseudomonas aeruginosaIA7d dan Surfaktan Sisntetik Tween-80 dalam Biodegradasi Solat oleh Mikroba Perairan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Berkala Penelian Hayati volume: 12 (13-18)

Ozaki , M., Y.Tanaka and Kuwatsuka.1986. Degradation of isouron in soil. Journal Pesticide. Sci. 11:223-229

Palcon, R.S., R.P. Creencia, P.C. Tambora, Jr., & C.P Estudillo. 1978. Properties of coconut shell charcoal from the three stages of nut maturity. *Phil. Agr.* 61:291-303.

Poniman dan Indratin. 2014. Residues of organochlorine and Organophosphate in Vegetables and Soil on Andisols of Magelang Regency.Jurnal Tanah dan Iklim (*edisi khusus*)

Poniman, Indratin, M.T. Sutriadi (2013) Residu pestisida di lahan sayuran dataran tinggi Dieng. Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Produktivitas Sayuran Dataran Tinggi. BBSDLP. Hal.328-336

Poniman, Indratin, Sri Wahyuni, dan ES. Harsanti. 2015. Pemanfaatan Limbah Pertanian Menjadi Biochar Dan Arang Aktif Untuk Menurunkan Residu Klordan Di Lahan Sawah (makalah disampaikan. (makalah disampaikan pada Seminar Nasional Lingkungan Tropis, Palembang, 8 Agustus 2015)

Poniman. 2008. Pemanfaatan air permukaan untuk budidaya sayuran, Studi kasus di Sub DAS Solo hulu Tawangmangu. Prosiding Seminar Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Air. Pusat Penelitian Sumberdaya Air. Kementerian PU. Hal.: 59-66

Ramesh, A.S., Tanabe, R. Tatsukawa, A.N. Subramanian, S. Palanichmy, D. Mohan, and V.K. Venugopalan. 1989. Seasonal variation of persistent organochlorine insecticide residues in air from Porto Novo. South India. Environment. Pollut., 62:213-222.

Razak, H. dan I. Gunawan. 2004. Kandungan pestisida organoklorin dalam sediment dan kerang tahu (Meretrix meretrix) di muara Sungai Citarum, Jawa Barat. J. Riset IPTEK Kelautan, 2(1):25-35

Republik Indonesia. 2002. Peraturan Pemerintah No 68 tahun 2002 tentang Ketahanan Pangan.

Republik Indonesia. 2012. Undang-Undang No 18 tahun 2012. Pangan.

Ritter, L., K.R. Solomon, J. Forget. 2007. Persistent Organic Pollutants: An Assessment Report on DDT, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane,Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated Biphenyls, Dioxins, and Furans. Canadian Network of Toxicologi Centres.

Riza V.T., dan Gayatri. 1994. Ingatlah bahaya pestisida. Bunga rampai residu pestisidaa dan alternatifnya. Pesticide Action Network (PAN). Jakarta, Indonesia

Rochaddi, B. dan C.A. Suryono. 2009. Pestisida Organoklorin pada Aqifer dangkaldi Wilayah Pesisir Kota Semarang. Jurnal Ilmu Kelautan. *September 2009. Vol. 14 (3): 155 -159*

Romanna, V.I. 2011. Kebijakan penggunaan pestisida pada tanaman. Jurnal Lingkungan Hidup/

Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramirez, J., Hurtado, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (Phaseolus vulgaris L.) increases with bio-char additions. Biology and Fertility of Soils 43, 699.

Tarumingkeng R. 1992. Pestisida: Sifat, Mekanisme Kerja dan Penggunaannya. Jakarta : Penerbit Ukrida.

Tarumingkeng, R. 1992. Insektisida: sifat, mekanisme dan dampak penggunaannya. Ukrida, Jakarta. Halaman:97-229

UNEP, ILO, WHO. 1992. Endosulfan 40, Genewa

Yang, Y., Q. Feng, G. Hong, G.W. Kattawar, W.J. Wiscombe, M.I.

Yustina dan hartini. 2011. Adsorbsi minyak goring bekas menggunakan arang aktir dari sabut kelapa. Dalam Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengelolaan SDA Indonesia. Yogyakarta, 27 Pebruari 2011.

Zhou R., Zhu L., Yang K., Chen Y. 2006. Distribution of Organochlorine Pesticides in Surface Water.

BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN
Telp : (0296) 4749044 fax : 4749046
Jl. Raya Jakenan Jaken Km 06 Jakenan Pati 59182
E-mail: balingtan@litbang.deptan.go.id
Website : www.balingtan.litbang.deptan.go.id