PETUNJUK TEKNIS

TEKNOLOGI REMEDIASI MELALUI PENGKAYAAN UREA BERLAPIS ARANG AKTIF DENGAN MIKROBA PENDEGRADASI SENYAWA POPs ≥25% DI LAHAN SAWAH



BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
2014

PETUNJUK TEKNIS

TEKNOLOGI REMEDIASI MELALUI PENGKAYAAN UREA BERLAPIS ARANG AKTIF DENGAN MIKROBA PENDEGRADASI SENYAWA POPs ≥ 25% DI LAHAN SAWAH

Penanggung Jawab:
Kepala Balai Penelitian Lingkungan Pertanian

Penyusun:
Triyani Dewi
Sri Wahyuni
Indratin

Penyunting:
Asep Nugraha Ardiwinata
A. Wihardjaka

Penyunting Pelaksana:
Poniman
Fitra Purnarianto

Diterbitkan Oleh:
BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN
BALAI BESAR LITBANG SUMBERDAYA LAHAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
2014

PETUNJUK TEKNIS

TEKNOLOGI REMEDIASI MELALUI PENGKAYAAN UREA BERLAPIS ARANG AKTIF DENGAN MIKROBA PENDEGRADASI SENYAWA POPs ≥ 25% DI LAHAN SAWAH

Penyusun:
Triyani Dewi
Sri Wahyuni
Indratin

Hak Cipta:

BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN 2014
JL.Raya Jakenan – Jaken Km.05 Kab. Pati, Jawa Tengah 59182
Telp. 0295-385215 fax. 0295-383927
Website : http://balingtan.litbang.deptan.go.id
e-mail : balingtan@litbang.deptan.go.id

KATA PENGANTAR

Penggunaan pestisida didalam pengelolaan lahan pertanian telah mengakibatkan peningkatan pencemaran lingkungan pertanian. Pestisida yang penggunaannya tidak tepat dapat meninggalkan residu dalam tanah, air, dan tanaman (produk) yang apabila dikonsumsi akan membahayakan kesehatan manusia. Pemanfaatan limbah pertanian sebagai arang aktif merupakan salah satu upaya untuk meremediasi lahan-lahan pertanian terutama yang terkontaminasi atau tercemar senyawa *Persistent Organic Polluttans* (POPs) yaitu senyawa kimia yang persisten di lingkungan, dapat mengalami bioakumulasi di rantai makanan, dan memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan pertanian.

Petunjuk teknis ini disusun sebagai bahan pertimbangan dalam memanfaatkan limbah-limbah pertanian untuk pembuatan arang aktif sebagai penjerap senyawa-senyawa insektisida di lahan pertanian yang terkontaminasi. Urea yang dilapisi arang aktif yang diperkaya mikroba dapat menurunkan konsentrasi residu pestisida dalam tanah, air, maupun produk. Petunjuk teknis semoga bermanfaat bagi pihak yang berkepentingan di bidang yang sama. Masukan untuk penyempurnaan juknis ini kami harapkan, sehingga lingkungan biofisik dan keamanan pangan dapat terjaga kelestariannya. Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan Petunjuk Teknis ini.

Jakenan, Oktober 2014
Kepala Balai

Dr. Ir. Prihasto Setyanto, M.Sc.
NIP. 19690816.199503.1.001

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
GLOSSARY	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	3
II. RESIDU PESTISIDA SENYAWA POPs DI LAHAN PERTANIAN	4
2.1. Senyawa Persisten Organic Pollutans (POPs)	4
2.2. Pencemaran Residu Senyawa POPs	5
2.3. Residu Senyawa POPs Pada Beras	6
2.4. Residu Insektisida Pada Sayuran	7
III. PEMANFAATAN ARANG AKTIF DI LAHAN PERTANIAN DALAM MENURUNKAN RESIDU PESTISIDA	9
3.1. Karakteristik Arang Aktif	9
3.2. Bahan Baku Arang Aktif	11
3.3. Peran Arang Aktif dalam Proses Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Residu Senyawa POPs	12
3.4. Mekanisme degradasi arang aktif	14

Halaman

IV. PROSES PEMBUATAN UREA BERLAPIS ARANG AKTIF YANG DIPERKAYA OLEH MIKROBA 15
4.1. Bahan dan Alat yang Diperlukan 15
4.2. Proses Pembuatan Arang 17
4.3. Proses Aktivasi Arang Aktif 19
4.4. Pelapisan Urea dengan Arang Aktif/Biocar 22
4.5. Pelapisan Arang Aktif dan Penambahan Mikroba Konsorsia 24
V. APLIKASI UREA BERLAPIS ARANG AKTIF/ BIOCAR PADA LAHAN SAWAH TERCEMAR PESTISIDA SENYAWA POPs 26
DAFTAR PUSTAKA 27

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Kisaran konsentrasi residu organoklorin pada beras di daerah Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur pada tahun 1999 7

Tabel 2. Persyaratan arang aktif menurut SNI 06-3730 - 1995 10

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Residu organoklorin pada tanah di sentra produksi padi Jawa Tengah 5
Gambar 2. Bahan baku arang aktif yang berasal dari limbah pertanian; (a) tongkol jagung, (b) tempurung kelapa 11
Gambar 3. Pupuk urea 15
Gambar 4. Alat tungku pembakaran arang 17
Gambar 5. Alat pembakaran arang aktif suhu 800-900°C .. 17
Gambar 6. Hasil proses pembuatan karbon aktif, (a) hasil karbonisasi, (b) hasil aktivasi 19
Gambar 7. Gambar proses pembuatan arang aktif 22
Gambar 8. Mikroba konsorsia 24
Gambar 9. Alat granulator 25
Gambar 10. Urea berlapis arang aktif yang diperkaya mikroba konsorsia 25

GLOSSARY

Arang aktif adalah alkali yang mempunyai kemampuan menyerap air dan menahan udaradan mempunyai luas permukaan yang besar.

Lahan sawah adalah lahan yang berdasarkan system pengairannya (irigasi teknis, irigasi ½ teknis, irigasi sederhana, tadah hujan) dimanfaatkan untuk budidaya padi sawah

Mikroba adalah jasad renik yang terdapat dalam tanah sawah yang berukuran mikro yang antara lain terdiri atas bakteri, jamur, aktinomicetes baik yang bersifat menguntungkan atau merugikan bagi organisme lainnya

Pestisida adalah senyawa-senyawa (golongan organoklorin, organofosfat, karbamat, piretroid) yang digunakan untuk mengendalikan organisme pengganggu

Remediasi adalah upaya penurunan konsentrasi senyawa-senyawa kontaminan/cemaran yang melibatkan pemanfaatan mikroba, kimiawi, fisika/mekanik, dan tumbuhan tertentu yang bersifat penjerap.

Residu pestisida adalah akumulasi pestisida dalam tanah, air, dan tanaman yang belum sepenuhnya terdegradasi oleh mikroba

Senyawa POPs adalah senyawa organik yang bersifat sebagai pencemar dan persisten

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Akhir-akhir ini ketahanan pangan dihadapan pada permasalahan lingkungan yang mendapat perhatian serius, antara lain pemanasan global dan perubahan iklim, dan pencemaran bahan beracun berbahaya di lahan pertanian seperti bahan agrokimia (pestisida, pupuk) dan logam berat. Inovasi teknologi menjadi prioritas dalam upaya mitigasi penyebab permasalahan lingkungan melalui kajian pendekatan spasial dan ekologis, dan dengan mempertimbangkan peningkatan tuntutan konsumen terhadap keamanan produk pertanian yang sehat dan higienis.

Perkembangan sektor pertanian telah mengakibatkan peningkatan pencemaran lingkungan oleh bahan kimia (Soemirat, 2005), antara lain cemaran organik yang berupa organofosfat dan organoklorin yang bersifat persisten, dapat terbioakumulasi di alam, dan toksik terhadap manusia dan makhluk hidup lainnya. Organoklorin tidak reaktif, stabil, memiliki kelarutan yang sangat tinggi di dalam lemak, dan memiliki kemampuan degradasi yang rendah. Hal yang sama disampaikan Ramadhani dan Oginawati (2009), organoklorin tergolong sebagai senyawa *Persistent Organic Pollutants* (POP) yaitu senyawa kimia yang persisten di lingkungan, dapat mengalami bioakumulasi di rantai makanan, dan memiliki risiko menjadi penyebab banyak dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Sekarang, komunitas internasional telah mengambil tindakan darurat yang bersifat global untuk mengurangi dan mengeliminasi diproduksinya bahan-bahan kimia.

Hasil penelitian 2009 menunjukkan bahwa kandungan residu pestisida yang ditemukan pada contoh tanah baik tanah Andisol Pacet maupun tanah Inceptisol Karawang adalah golongan organoklorin yang bersifat persisten atau yang umum disebut dengan istilah *Persistent Organic Pollutants* (POPs). Pada penelitian tersebut diketahui perlakuan *urea coating arang aktif* (urea dilapis arang aktif) memiliki nilai efisiensi agronomi tertinggi dibanding dengan perlakuan amelioran lainnya. Dari penelitian ini diketahui pula bahwa pada tanah yang ditambahkan arang aktif, populasi mikrobanya meningkat, hal ini ditengarai berperan dalam proses degradasi residu pestisida. Teknologi pengkayaan arang aktif dengan mikroba diduga mampu meningkatkan kemampuan mendegradasi pestisida sekaligus meningkatkan efisiensi N.

Menurut Harsanti *et al.*, (2011), *Pseudomonas mallei* dan *Trichoderma,* sp mempunyai kemampuan menurunkan residu insektisida POPs (dieldrin, endosulfan, DDT, dan heptaklor), sedangkan penelitian sebelumnya telah ditemukan mikroba konsorsia pendegradasi POPs pada konsentrasi POPs 5 ppm - 20 ppm (di dalamnya terdapat *Bacillus*, sp) dengan kemampuan mendegradasi residu pestisida POPs di laboratorium selama 20 hari > 50% (91,06-100%). Hasil penelitian Balingtan 2010 menunjukkan bahwa penggunaan urea berlapis arang aktif yang diperkaya mikroba konsorsia mampu menurunkan residu pestisida POPs pada tanah, air dan tanaman 74 – 86 % ; 15-86%; dan tanaman di bawah Batas Maksimum Residu yang ditentukan (Harsanti *et al.*, 2010).

Senyawa POPs ada 12 antara lain *aldrin, hexachlorobenzene, chlordane, mirex, dieldrin, toxaphene*, DDT, *dioxin, endrin, furans, heptachlor* dan PCBs, namun yang digunakan di bidang pertanian sekitar 9 jenis bahan aktif. Penggunaan urea berlapis arang aktif yang diperkaya dengan mikroba pendegradasi senyawa POPs telah dilakukan pada tahun sebelumnya pada skala rumah kaca dan lapang namun masih terbatas pada aldrin, dieldrin, heptaklor, dan DDT. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian serupa untuk bahan aktif senyawa POPs lainnya (*hexachlorobenzene, chlordane, toxaphene dan endrin*). Teknologi remediasi (arang aktif, bioremediasi, dan kombinasinya) merupakan upaya penurunan konsentrasi cemaran residu insektisida POPs pada lahan pertanian sekaligus meningkatkan efisiensi N, serta meminimalisir dampak negatif terhadap manusia dan lingkungan hidup sekitarnya.

1.2. Tujuan

Menyediakan panduan teknis teknologi remediasi melalui pengkayaan urea berlapis arang aktif dengan mikroba pendegradasi senyawa POPs di lahan sawah.

II. RESIDU PESTISIDA SENYAWA POPs DI LAHAN PERTANIAN

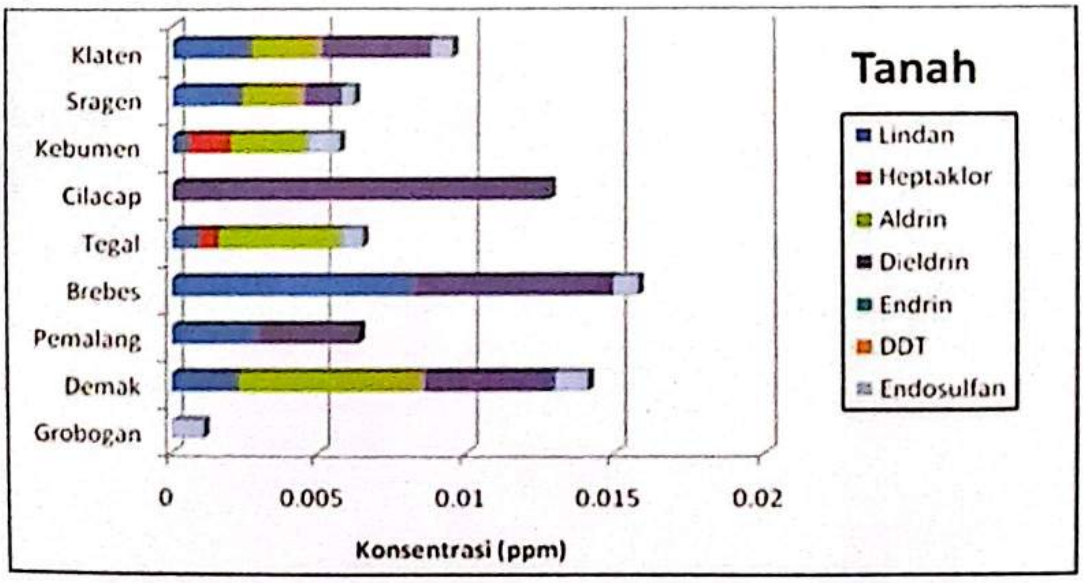
2.1. Senyawa Persisten Organic Pollutans (POPs)

Persisten organic pollutants (POPs) adalah senyawa organik yang tahan terhadap fotolitik, degradasi biologis maupun kimia. POPs biasanya mengandung senyawa halogen dan mempunyai sifat kelarutan yang rendah di dalam air, dan kelarutan yang tinggi di dalam lipid. 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. Pestisida jenis organoklorin adalah identik dengan POPs, karena terdapat gugus halogen pada senyawanya. Jenis organoklorin tersebut adalah *aldrin, hexachlorobenzene, chlordane, mirex, dieldrin, toxaphene*, DDT, *dioxin, endrin, furans, heptachlor* dan PCBs. UNEP (*United Nations Environment Programe)* menaruh prioritas besar pada 12 jenis POPs di atas tersebut untuk diidentifikasi keberadaannya di lingkungan. Hasil penelitian UNESCO (1991) menunjukkan bahwa hampir di semua sampel tanah, air, dan tanaman ditemukan kandungan residu organoklorin seperti aldrin, dieldrin, DDT, heptaklor dan lindan. 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*).

2.2. Pencemaran Residu Senyawa POPs

Keberadaan residu senyawa insektisida POPs pada tanaman padi telah dilaporkan oleh Murtado *et al.* (1996) di sentra produksi padi pada tahun 1995-1996 di Jawa Barat (Karawang, Subang, Indramayu, Cirebon, Kuningan, Ciamis, Tasikmalaya, Garut, Bandung, Cianjur, Sukabumi, Lebak, Pandeglang dan Serang). Hasil monitoring di sentra produksi padi di Pulau Jawa (Jabar, Jateng, dan Jatim) selama tahun 1996-2000 juga terungkap di beberapa lokasi selain mengandung residu senyawa POPs (organoklorin), yaitu lindan, aldrin, dan endosulfan (Ardiwinata *et al.*, 1999; Harsanti *et al.*, 1999).

Residu Organoklorin yang ditemukan di sentra produksi padi Jawa Tengah di dalam contoh tanah disajikan pada Gambar 1. Senyawa yang ditemukan berupa lindan, heptaklor, aldrin dan dieldrin, endrin, DDT dan endosulfan. Di daerah Brebes banyak ditemukan senyawa lindan dan dieldrin.



Gambar 1. Residu organoklorin pada tanah di sentra produksi padi Jawa Tengah

Lahan sawah di Kabupaten Jombang terdeteksi adanya residu pestisida senyawa POPs (DDT, dieldrin, endosulfan, endrin, heptaklor, klordan, toxapen, dan mirex) di atas batas maximum residu (BMR) dengan luasan masing-masing 1,58%, 1,01%, 16,40%, 3,33%, 4,85%, 27,44%, 0,13%, dan 0,08% (Mulyadi *et al.*, 2013).

2.3. Residu Senyawa POPs Pada Beras

Survey residu insektisida pada beras telah dilakukan di daerah Jawa Barat (Karawang, Subang, Indramayu, Cirebon, Kuningan, Ciamis, Tasikmalaya, Garut, Bandung, Cianjur, Sukabumi, Lebak, Pandeglang dan Serang) pada tahun 1995/1996. Hasil survey menunjukkan adanya kandungan residu pada beras dengan konsentrasi di atas BMR. Jenis residu insektisida yang ditemukan adalah klorpirifos, diazinon, lindan, aldrin dan heptaklor (Murtado *et al.*, 1996). Pada tahun 1999, survey residu insektisida dilakukan kembali di daerah Jawa Barat (Subang, Indramayu, Cirebon, Karawang, Cianjur, Sukabumi dan Pandeglang) dengan hasil kandungan residu insektisida masih ditemukan di dalam beras. Jenis residu yang ditemukan adalah lindan, aldrin, dan endosulfan (Tabel 1) dengan konsentrasi masih di bawah BMR (Ardiwinata *et al.*, 1999).

Survey residu insektisida pada beras yang telah dilakukan di daerah Jawa Tengah pada tahun 1999 meliputi daerah Rembang, Grobogan, Sukoharjo, Bantul, Wonosobo dan Cilacap. Hasil survey menunjukkan bahwa pada beras ditemukan residu lindan, aldrin, dan endosulfan (Tabel 1).

Tabel 1. Kisaran konsentrasi residu organoklorin pada beras di daerah Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur pada tahun 1999.

Insektisida	Konsentrasi (ppm)		
	Jawa Barat	Jawa Tengah	Jawa Timur
Lindan	0,0023-0,00024	0,0024-0,0466	-
Aldrin	-	0,0037-0,0199	-
Endosulfan	0,0002-0,0005	0,0157-0,0357	0,0003-0,0006

Sumber: Ardiwinata, et al., 1999; Jatmiko et al., 1999. Harsanti, et al., 1999

Untuk residu aldrin telah melebihi BMR (Ardiwinata *et al.*, 1999). Kemudian survey residu pada beras juga telah dilakukan di daerah Jawa Timur pada tahun 1999 yang meliputi daerah Bojonegoro, Ngawi, Magetan, Madiun, Malang, Lumajang, Jember, dan Banyuwangi. Hasil survey menunjukkan bahwa pada beras ditemukan residu endosulfan dengan konsentrasi masih di bawah BMR (Ardiwinata *et al.*, 1999).

2.4. Residu Insektisida Pada Sayuran

Hasil pantauan Direktorat Bina Perlindungan Tanaman Pangan pada tahun 1983 – 1985 menunjukkan bahwa di dalam tanah yang ditanami tanaman sayuran di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sumatera Selatan dan Sumatera Utara ditemukan kandungan residu organofosfat (klorpirifos, diazinon, diklorvos, fenitrotion, fention, dan metakrifos) dan residu organoklorin (lindan dan endosulfan). Menurut Oka (1995) konsentrasi residu golongan organofosfat berkisar 0,001 - 0,1 ppm, sedangkan golongan organoklorin berkisar 0,013 - 0,08 ppm.

Hasil penelitian identifikasi residu insektisida di lahan sayuran di Pangalengan Jawa Barat banyak ditemukan residu organoklorin (BHC, endosulfan, dieldrin) (Puslitbangtanak, 2000). Konsentrasi residu pestisida yang ditemukan dalam tanaman sayuran pada umumnya telah melebihi nilai *acceptable daily intake* (ADI).

Menurut Poniman *et al.* (2007), golongan pestisida organoklorin (α BHC, lindan, heptaklor, aldrin, dieldrin, endrin, dan 4,4 DDT) banyak ditemukan pada contoh tanah, air dan tanaman di berbagai sentra sayuran Jawa Tengah. Residu insektisida ditemukan pada tanaman dengan konsentrasi dari tidak terdeteksi (td) – diatas BMR. Residu α-BHC dan endosulfan berkisar antara 0-0,0376 ppm dan 0-0,0410 ppm dengan residu tertinggi pada sayuran cabe asal Mijen Demak.

Sayuran bawang merah asal Tanjung Brebes mengandung lindan dan dieldrin tertinggi dibanding asal sayuran lokasi lainnya masing-masing sebesar 0,8262 ppm dan 0,6300 ppm, sedangkan sayuran bawang merah asal Wanasari terdeteksi mengandung heptachlor tertinggi sebesar 0,1524 ppm. Contoh sayuran wortel asal Tawangmangu Karanganyar menunjukkan kandungan residu aldrin dan endrin tertinggi masing-masing sebesar 0,2816 dan 2,7732 ppm, sementara sayuran kubis asal Sawangan Magelang mengandung residu tertinggi 4,4 DDT sebesar 0,4908 ppm. Angka-angka kandungan residu tertinggi tersebut semuanya berada diatas nilai ADI.

III. PEMANFAATAN ARANG AKTIF DI LAHAN PERTANIAN DALAM MENURUNKAN RESIDU PESTISIDA

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). Ketika arang aktif dicampurkan ke dalam asam atau ke dalam tanah dengan akumulasi garam, maka tanah akan ternetralisir dan mendekati netral serta nilai kapasitas tukar kation tanah akan berubah. Akan tetapi jika jumlah arang aktif terlalu banyak (1500 g/m^2), maka tanah akan berubah menjadi alkali yang dapat merusak pertumbuhan tanaman pangan. Namun, di dalam tanah netral sampai alkali seperti tanah abu vulkanik dan batu kapur (*limestone*), arang aktif tidak mempengaruhi nilai pH (Ogawa, 1994).

3.1. Karakteristik Arang Aktif

Arang aktif adalah suatu bahan hasil proses pirolisis arang pada suhu 600-900°C. Limbah pertanian yang dapat dibuat arang aktif antara lain: sekam padi, tongkol jagung, batang jagung, serabut kelapa, tempurung kelapa, tandan kosong dan cangkang kelapa sawit, dan sebagainya. Pada tahap awal limbah pertanian dibuat biochar melalui proses karbonisasi dengan suhu 500°C dan tahap selanjutnya dilakukan aktivasi pada suhu 800-900°C.

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

Berdasarkan Standar industri Indonesia kualitas arang aktif harus dapat memenuhi syarat sebagai berikut :

Tabel 2. Persyaratan arang aktif menurut SNI 06-3730-1995

Uraian	Syarat Kualitas	
	Serbuk	Butiran
- Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C (%)	Maks 15	Maks 25
- Kadar air (%)	Maks 4,5	Maks 15
- Kadar abu (%)	Maks 2,5	Maks 10
- Bagian yang tidak mengarang	0	0
- Daya serap terhadap I_2 (mg/g)	Min 750	Min 750
- Karbon aktif murni (%)	Min 80	Min 65
- Daya serap terhadap benzena (%)	Min 25	-
- Daya serap terhadap biru metilen (%)	Min 60	Min 120
- Berat jenis curah (g/ml)	0,45 - 0,55	0,30 - 0,35
- Lolos mesh (%)	-	Min 90
- Jarak mesh (%)	90	-
- Kekerasan (%)	80	-

Keunggulan arang aktif adalah kapasitas dan daya serapnya yang lebih besar, Karena struktur pori dan keberadaan gugus fungsional kimiawi di permukaan arang aktif seperti C=O, C_2^-, dan C_2H^-. Kualitas arang aktif ditunjukkan dengan nilai daya serap

(bilangan Iod) ketetapan dari SNI 06-3730-1995. Arang aktif berkualitas apabila memiliki nilai daya serap (bilangan Iodnya) mendekati 750 mg/g, arang aktif dari bahan tempurung kelapa dan tongkol jagung sebelum diaktivasi daya serap iodnya masing-masing adalah 276 dan 452 mg/g, dan meningkat menjadi 672 dan 647 mg/g setelah diaktivasi.

3.2. Bahan Baku Arang Aktif

Bahan arang aktif diperoleh dari limbah-limbah pertanian, sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Bahan pembuatan arang aktif antara lain: tongkol jagung (TJ), tempurung kelapa (TK), sekam padi (SP), tandan kosong kelapa sawit (TKKS).

Tempurung kelapa telah banyak digunakan sebagai bahan bakar, baik secara langsung maupun dibuat arang terlebih dahulu. Selain sebagai bahan bakar, arang dapat digunakan sebagai sumber C untuk CS2, CaC2, silikon carbida, NaCN, CO, pogmen cat, obat-obatan, perekat, serbuk hitam, elektroda, reaktor katalis dan sebagai bahan campuran untuk pabrikasi baja (Palcon, *et al.*, 1978).



Gambar 2. Bahan baku arang aktif yang berasal dari limbah pertanian (a) tongkol jagung, (b) tempurung kelapa

Arang aktif tempurung kelapa mempunyai beberapa kelebihan antara lain: kerapatan tinggi, kemurnian tinggi, dan bebas debu serta bersifat mikropori (Roy, 1995). Pada umumnya struktur arang aktif tempurung kelapa adalah seragam dan mempunyai ukuran pori-pori berkisar 5-10 Å.

Dibandingkan dengan arang aktif tongkol jagung, arang aktif tempurung kelapa lebih banyak dan lebih luas digunakan. Arang aktif tersebut dapat menurunkan bilangan peroksida dan kandungan asam lemak, menghilangkan fenol dari air (Manju *et al.*, 1998), penghilang bau dan 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 gas berbahaya dalam masker gas serta dalam pabrikasi obat dan pabrik makanan, untuk pemulihan bensin, benzena, dan produk atsiri lainnya. Kelemahan arang aktif tempurung kelapa dari segi komersial adalah mutunya kurang stabil bergantung pada usia dan ketebalan tempurung kelapa yang digunakan, dan harganya relatif lebih mahal daripada arang dari kulit gandum dan arang kayu (Palcon *et al.*, 1978).

3.3. Peran Arang Aktif dalam Proses Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Residu Senyawa POPs

Arang aktif tempurung kelapa efektif dalam meningkatkan sifat fisik tanah. Arang aktif tersebut akan mempengaruhi pH tanah hingga mendekati netral. Pada tanah berlempung, arang aktif tempurung kelapa dapat membantu menurunkan kekerasan tanah dan kemampuan pengikatan air menjadi lebih tinggi. Hal ini akan dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah

(Ogawa, 1994). Di dalam tanah, karbon aktif memainkan peranan sebagai s*helter* 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 menyatakan bahwa telah terjadi peningkatan frekuensi bakteri fiksasi nitrogen pada lahan yang menggunakan arang aktif yakni, 10-15% di Hokkaido dan Tohoku (Honshu Utara), 36-48% di Kanto hingga Chugoku (Honshu sebelah Timur-Barat) dan Shikoku, 59-66% di Kyusu (Ogawa, 1994).

Menurut Harsanti *et al.*, (2011), *Pseudomonas mallei* dan *Trichoderma,* sp mempunyai kemampuan menurunkan residu insektisida POPs (dieldrin, endosulfan, DDT, dan heptaklor), sedangkan penelitian sebelumnya telah ditemukan mikroba konsorsia pendegradasi POPs pada konsentrasi POPs 5 ppm - 20 ppm (di dalamnya terdapat *Bacillus*, sp) dengan kemampuan mendegradasi residu pestisida POPs di laboratorium selama 20 hari > 50% (91,06-100%). Hasil penelitian Balingtan 2010 menunjukkan bahwa penggunaan urea berlapis arang aktif yang diperkaya mikroba konsorsia mampu menurunkan residu pestisida POPs pada tanah, air dan tanaman 74 – 86 % ; 15-86%; dan tanaman di bawah Batas Maksimum Residu yang ditentukan (Harsanti *et al.*, 2010).

3.4. Mekanisme degradasi arang aktif

Rongga arang aktif sangat disukai oleh mikroba (bakteri tanah pendegradasi dan bakteri pengikat nitrogen) sebagai tempat tinggal (rumah), sehingga populasi mikroba di dalam rongga meningkat karena terdapat nutrient C dan N yang berasal dari residu pestisida. Kapasitas dan daya serap arang aktif yang besar melalui struktur pori dan keberadaan gugus kimia di permukaan arang aktif (C=O, ion C_2^- dan ion C_2H^-) mampu berperan dalam menurunkan pencemaran residu pestisida. Apabila residu pestisida masuk atau terperangkap di dalam rongga arang aktif, maka residu pestisida tersebut akan didegradasi oleh mikroba pendegradasi sehingga residu pestisida akan terurai/terdegradasi. Apabila konsentrasi residu pestisida di tanah dapat ditekan, maka konsentrasi residu pada produk pertanian akan dapat diminimalisir. Penggunaan arang aktif untuk menanggulangi pencemaran residu pestisida sekaligus dapat mengurangi limbah pertanian (Ardiwinata, 2004).

IV. PROSES PEMBUATAN UREA BERLAPIS ARANG AKTIF YANG DIPERKAYA OLEH MIKROBA

4.1. Bahan dan Alat yang Diperlukan

Bahan yang digunakan untuk proses pembuatan urea berlapis arang aktif yang diperkaya oleh mikroba terdiri dari:

1. Pupuk urea

Penggunaan pupuk urea di lahan pertanian umumnya tidak efisien. Pupuk urea umumnya berupa kristal dan cenderung bersifat higroskopis (Gambar 3). Pupuk urea yang diaplikasikan ke lahan pertanian mudah menguap (mudah meleleh) dan mudah tercuci oleh aliran air permukaan



Gambar 3. Pupuk urea

2. Limbah Pertanian

Bahan baku arang aktif adalah limbah-limbah pertanian yang mudah diperoleh di sekitar lingkungan pertanian. Limbah pertanian yang potensial dimanfaatkan sebagai arang aktif, antara lain: tongkol jagung (TJ), tempurung kelapa (TK), sekam padi

(SP), tandan kosong kelapa sawit (TKKS) seperti disajikan dalam Gambar 2.

Pemilihan bahan baku untuk pembuatan arang aktif harus mempertimbangkan beberapa faktor peruntukan antara lain peruntukan industri dan konvensional. Untuk industri, bahan baku yang murah dengan kandungan karbon tinggi, dan kandungan bahan anorganik rendah (kadar abu rendah) merupakan bahan baku yang paling baik untuk menghasilkan arang aktif. Kandungan bahan yang mudah menguap (volatil) juga perlu dipertimbangkan.

3. Mikroba konsorsia pendegradasi Senyawa POPs

Mikroba yang digunakan adalah mikroba yang dapat mendegradasi pestisida senyawa POPs: *hexachlorobenzene, chlordane, toxaphene dan endrin.*

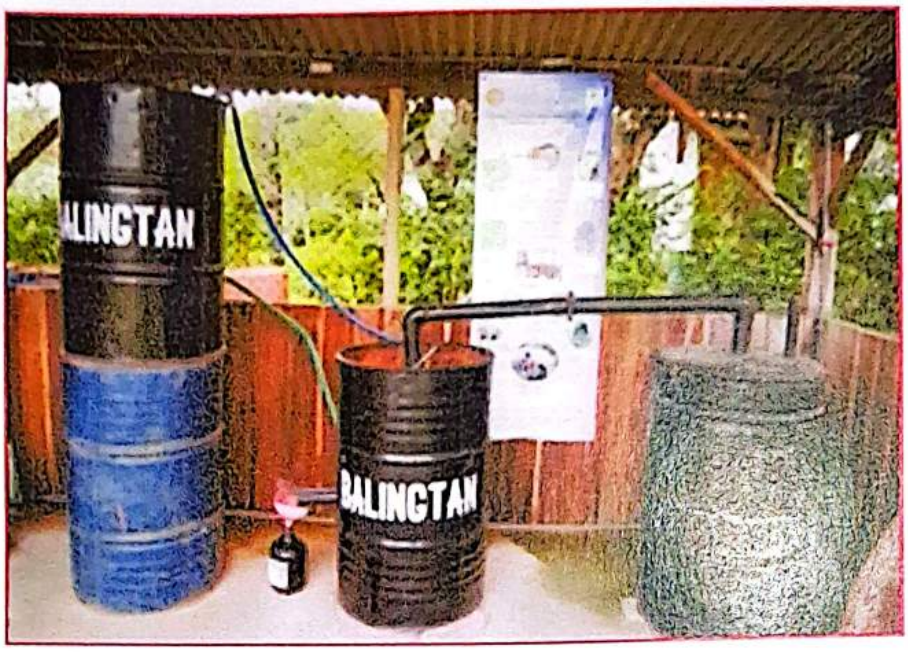
Alat

1. Tungku pembakaran arang (Gambar 4)

   Pembuatan arang di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian menggunakan energi dari *biogas.*

2. Tungku aktivasi arang aktif (Gambar 5) digunakan untuk mengaktivasi arang tempurung kelapa dan arang tongkol jagung.

3. Proses isolasi, karakterisasi, dan seleksi untuk mendapatkan isolat mikroba yang dapat mendegradasi pestisida senyawa POPs *hexachlorobenzene, chlordane, toxaphene dan endrin* dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, LIPI.



Gambar 4. Alat tungku pembakaran arang



Gambar 5. Alat pembakaran arang aktif suhu 800-900°C

4.2. Proses Pembuatan Arang

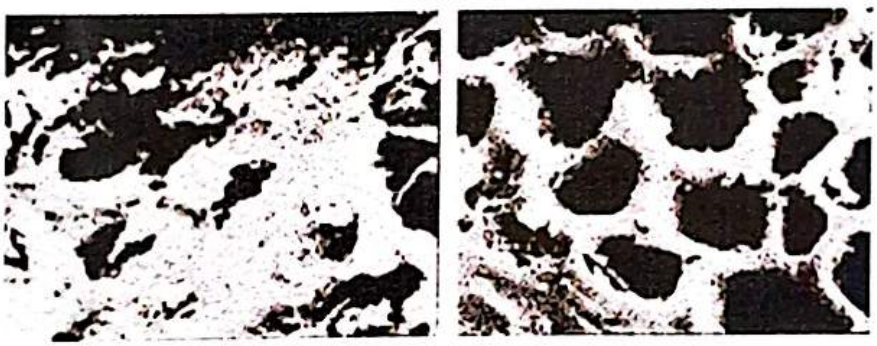
Menurut Manocha (2003) dan Darmstadt *et al.* (2004), selama karbonisasi, kebanyakan unsur-unsur yang bukan karbon seperti hidrogen dan oksigen adalah yang pertama dipindahkan dalam bentuk gas oleh dekomposisi pirolisis dan hanya atom karbon dasar yang dikelompokkan ke dalam formasi kristalografi yang dikenal sebagai kristal grafit dasar. Pengaturan timbal balik

kristal adalah tidak beraturan, sehingga terdapat celah diantaranya. Karbonisasi melibatkan dekomposisi panas dari karbon, melepaskan spesi non karbon, sehingga membentuk karbon berpori dengan massa yang tetap (Gambar 6). Proses biasanya dilakukan pada suhu di bawah 800°C pada arus tetap dan tanpa udara (Cislo *et al.*, 2003).

Parameter penting yang menentukan mutu dan hasil karbonisasi adalah (1) tingkat pemanasan, (2) suhu akhir, dan (3) waktu perendaman. Mikropori terbentuk pada pemanasan sekitar 500°C. Kendala adanya ter dapat dihilangkan dengan pemanasan lebih lanjut pada suhu sekitar 800°C. Perlakuan pemanasan di atas 1000°C dapat mengakibatkan pengerasan karbon dan menurunkan porositas (Butt *et al.*, 1998).

Karbonisasi dilakukan dengan teknik firolisis sederhana dengan memanfaatkan dua buah drum yang telah dirancang sedemikian menjadi alat firolisis. Drum pertama dibagi dua bagian, bagian bawah berfungsi sebagai tungku pembakar dan bagian atas merupakan tempat pembakar dan drum kedua sebagai pendingin. Sebanyak 15 kg tempurung kelapa dimasukkan kedalam tempat pembakaran kemudian tungku pembakar yang berisi serbuk gergaji sebanyak 5 kg dibakar. Proses pembakaran berlangsung selama 5 jam, asap yang keluar dari proses pembakaran disalurkan melalui pipa besi kedalam drum pendinginan, asap panas yang masuk ke dalam ruang pendinginan akan mencair, cairan ini kemudian ditampung dalam botol. Cairan cuka arang ini dapat dimanfaatkan sebagan pengawet ikan, pestisida organik atau pengawet makanan lainya. Setelah 5 jam

arang kemudian diangkat yang terlebih dahulu disiram dengan air untuk memadamkan bara api, setelah dingin arang kemudian dijemur diterik matahai. Arang yang dihasilkan dari proses pembakaran ini sebanyak 4-5 kg.



Gambar 6. Hasil proses pembuatan karbon aktif,
(a) hasil karbonisasi, (b) hasil aktivasi

4.3. Proses Aktivasi Arang Aktif

Aktivasi adalah suatu proses menghilangkan ter yang masih tertinggal pada pori karbon aktif dengan cara pemanasan uap air atau dengan suatu bahan pelarut kimia, sehingga luas permukaan pori menjadi lebih besar (Gambar 6b) (Manocha, 2003 dan Darmstadt *et al.*, 2004)

Arang aktif dihasilkan melalui proses pirolisis dari bahan-bahan yang mengandung karbon, seperti kayu, batu bara, bambu, tempurung kelapa atau polimer sintetik seperti viskos rayon, *polyacrylonitrile* (PAN) atau fenolik yang diikuti dengan tahap pengaktifan dari arang yang diperoleh dari bahan-bahan tersebut. Proses pirolisis tanpa udara melibatkan proses dekomposisi molekul organik, evolusi dari produk yang mengandung ter dan gas serta akhirnya terbentuk padatan karbon berpori.

Arang berpori yang diperoleh sebagian besar berisi makropori dan material non-aktif dengan luas permukaan spesifik. Adsorben dengan porositas tinggi dan luas permukaan besar diperoleh melalui aktivasi kimia atau fisik dari bahan arang. Pada dasarnya proses aktivasi melibatkan pemilihan bahan baku, karbonisasi dan aktivasi (Manocha, 2003).

Suatu proses pada produk karbonisasi dikembangkan struktur pori dan luas permukaannya melalui perlakuan suhu pada 800-1000°C (Manocha, 2003). Proses perubahan menjadi bahan gas dengan uap air dan gas asam arang terjadi dengan reaksi endotermik berikut:

$$C + H_2O \quad CO + H_2 \ (29 \text{ kkal}),$$

$$C + CO_2 \quad 2CO \ (39 \text{ kkal})$$

$$CO + H_2O \quad CO_2 + H_2 \ (10 \text{ kkal})$$

Molekul H_2O lebih kecil daripada molekul CO_2 dan dierap lebih cepat ke dalam pori-pori karbon, sehingga reaksi dengan uap lebih cepat daripada dengan CO_2 (Manocha, 2003). Aktivasi dengan CO_2 mempromosikan oksidasi eksternal dan pengembangan pori-pori besar dibandingkan dengan aktivasi uap air. Jumlah relatif oksidasi internal dan eksternal tergantung pada pengembangan pori-pori dan karbonisasi bahan. Aktivasi arang tanpa pengembangan nyata bentuk pori hanya akan menurunkan ukuran karbon granular (Degel, 1990).

Aktivasi adalah gabungan dengan karbon yang hilang dan penurunan bobot karbon asal. Bobot yang hilang meningkat secara linier dengan suhu dan waktu aktivasi. Aktivasi pada suhu rendah menciptakan mesopori dan makropori. Formasi efisiensi

pori-pori yang tidak mempunyai kemampuan adsorpsi, contohnya makropori, meningkat pada suhu aktivasi tinggi. Peningkatan suhu aktivasi menyebabkan penurunan diameter pori-pori (Manocha, 2003).

Struktur pori-pori dan distribusi ukuran pori-pori sebagian besar ditentukan oleh sifat alami bahan baku dan sejarah karbonisasinya. Atom karbon berbeda satu sama lain di dalam kereaktifannya, tergantung pada pengaturan ruang pori arang. Pengaturan akan mengeleminasi karbon yang tidak sesuai, membuka mikropori. Sejak aktivasi dihubungkan dengan bobot karbon yang hilang, tingkat pembakaran awal (*burn-off*) bahan karbon diambil sebagai ukuran tingkat pengaktifan. Pada suhu tertentu, bobot yang hilang meningkat linier dengan waktu aktivasi. Secara normal, pada fase pertama, karbon yang tidak sesuai terbakar ketika pembakaran mencapai 10%. Hasilnya, pori-pori akan terbuka. Setelah itu, karbon pada cincin aromatis akan mulai terbakar dan menghasilkan sisi aktif dan pori-pori luas (Manocha, 2003).

Pada fase selanjutnya, reaksi aktivasi akan meruntuhkan dinding oleh larutan aktivasi dan akan kehilangan bobot hingga 70%. Hasil aktivasi ini akan memberikan peningkatan pori-pori dan distribusi ukuran pori yang luas. Aktivasi dengan 50-70% tingkat pembakaran menyebabkan peningkatan total volume sorpsi dari 0,6 – 0,83 cm^3/g. Aktivasi dengan CO_2 meningkatkan mikroporositas melebihi kisaran. Mikropori mencatat sekitar 73% dari total volume erap pori-pori, untuk lebih 90% total luas permukaan (Manocha, 2003).

Di dalam kasus aktivasi karbon dengan sistem uap, mikropori memberikan kontribusi hanya 33% terhadap volume pori total dan 63% terhadap luas permukaan karbon yang dihasilkan. Sedangkan dengan cara aktivasi CO_2 mempunyai volume pori total lebih kecil (0,49 cm^3/g) daripada karbon yang dihasilkan dengan cara uap. Namun demikian, efektivitas luas permukaan kedua cara tersebut hampir sama.

Aktivasi dilakukan dalam tungku aktifator, sebanyak 50 kg arang dimasukkan kedalam tungku, kemudian gas LPG sebagai bahan bakar dialirkan kemudian tungku pembakaran dinyalakan. Proses aktivasi ini berlangsung selama 6-7 jam pada suhu 800-900°C. Alur pembuatan arang aktif terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Gambar proses pembuatan arang aktif

4.4. Pelapisan Urea dengan Arang Aktif/Biocar

Untuk mempermudah aplikasi di lapangan, arang aktif maupun biocar digunakan sebagai pelapis pupuk urea. Urea yang dilapisi arang aktif maupun biocar akan meningkat efisiensi pupuk

N karena bersifat lambat urai (*slow release*). Pelapisan urea dengan arang aktif maupun biocar dapat menurunkan kehilangan N melalui proses pencucian (*leaching*). Selaput (*coating*) arang aktif/ biocar pada urea dapat menghambat pembentukan nitrat setelah pemberian pupuk nitrogen. Perlakuan 5% *coating* memberikan pengaruh yang cukup signifikan, sehingga konsentrasi nitrat cukup rendah jika dibandingkan dengan tanpa *coating*.

Teknologi pupuk berlapis arang aktif/ biocar yang digunakan adalah formulasi kombinasi 80:20 untuk urea dan arang aktif/ biocar dengan perekat molase 2%. Tahapan pembuatan urea-arang aktif sebagai berikut:

1. Larutan perekat yang dibuat dari tepung tapioka atau molase sebanyak 2% dicampur dengan air,
2. Urea dan arang aktif/biocar dimasukkan ke dalam *rotary granulator* yang telah siap,
3. Larutan perekat disemprotkan sedikit demi sedikit sampai habis, dan arang aktif akan menempel pada urea secara sempurna,
4. Apabila urea-arang aktif telah terbentuk sempurna, maka mesin penggerak dimatikan,
5. Urea-arang aktif diambil dari *rotary granulator*, dan dihamparkan untuk menurunkan kadar air,
6. Urea-arang aktif dimasukkan ke dalam wadah, dan siap digunakan seperti penggunaan pupuk urea secara umum.

4.5. Pelapisan Arang Aktif dan Penambahan Mikroba Konsorsia

Mikroba tanah yang dipakai dalam pengkayaan urea berlapis arang aktif/biocar ini merupakan mikroba konsorsia (Gambar 8), yang terdiri dari *Bacillus substillis, Heliothrix oregonensis, Catenococcus thiocycli,* dan *Achoromobacter sp.* Pengkayaan mikroba tanah ini delakukan dengan teknik penyemprotan. Larutan mikroba sebanyak 40 ml disemprotkan dalam 1000 gr urea berlapis arang aktif.



Gambar 8. Mikroba konsorsia

Penyemprotan dilakukan pada permukaan arang aktif dengan menggunakan alat sprayer dan dilakukan dalam alat granulator sambil berputar, kelengkapan alat pengkayaan mikroba bisa dilihat pada Gambar 9. Penyemprotan dilakukan secara bertahap secara bertahap agar urea tidak ikut terlarut oleh larutan mikroba. Setelah penyemprotan, urea berlapis arang aktif tersebut dikeringanginkan, dan dihindari terkena sinar matahari langsung karena dapat mematikan mikroorganisme yang kita tambahkan ke dalam urea berlapis arang aktif. Hasil urea berlapiskan arang aktif yang diperkaya mikroba konsorsia terlihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Alat granulator



Gambar 10. Urea berlapis arang aktif
yang diperkaya mikroba konsorsia

V. APLIKASI UREA BERLAPIS ARANG AKTIF/ BIOCAR PADA LAHAN SAWAH TERCEMAR PESTISIDA SENYAWA POPs

Pupuk urea adalah pupuk anorganik tunggal yang mengandung unsur N (nitrogen) tinggi yaitu 46%. Pupuk urea merupakan pupuk yang bersifat higroskopis dan mudah menguap. Untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi penggunaan pupuk N dalam bentuk urea, dapat mengacu pada dosis yang tercantum dalam kalender tanam maupun penggunaan Bagan Warna Daun (BWD).

Urea berlapis arang aktif maupun biocar dapat digunakan untuk mengetahui efektifitas penurunan konsentrasi residu pestisida. Pemupukan urea dilakukan 1 kali dalam pertumbuhan tanaman, hal ini dikarenakan urea bersifat *slow release* karena ureanya dilapisi dengan arang aktif. Dengan penambahan mikroba pendegradasi senyawa POPs diharapkan dapat mempercepat penurunan konsentrasi residu dalam tanah, air, maupun produk. Pemupukan urea dilakukan pada tanaman umur 15 hari setelah tanam (HST) dengan cara disebar langsung diatas tanah yang sudah ditanami, dan air dalam keadaan macak-macak. Aplikasi pemupukan dilaksanakan pada keadaan cuaca cerah.

DAFTAR PUSTAKA

Ardiwinata, A.N., S.Y. Jatmiko, E.S. Harsanti, 1999. Monitoring Residu Insektisida di Jawa Barat. Hal 91-105 *dalam* Soetjipto Partohardjono, J. Soejitno dan Hermanto. Risalah seminar hasil penelitian emisi gas rumah kaca dan peningkatan produktivitas Padi di Lahan sawah, Bogor 24 April 1999. Puslitanak, Badan Litbang. Deptan

Gert, S. 2001. Activated Carbon for Purification Alcohol. Malmoe Sweden.

Harsanti, E.S., S.Y. Jatmiko dan A.N. Ardiwinata, , 1999. Residu Insektisida pada Ekosistem Lahan Sawah Irigasi di Jawa Timur. hal. 199-128 *dalam* Soetjipto Partohardjono, J. Soejitno dan Hermanto. Risalah seminar hasil penelitian emisi gas rumah kaca dan peningkatan produktivitas Padi di Lahan sawah, Bogor 24 April 1999. Puslitanak, Badan Litbang. Deptan

Harsanti, E.S., A.N. Ardiwinata, S. Wahyuni, Indratin, A. Ichwan. E. Sulaeman, dan A. Hidayah. 2010. Pengembangan Teknologi Pelapisan Urea dengan Arang Aktif yang Diperkaya Mikroba Pendegradasi POPs yang Mampu Meningkatkan Efisiensi Pemupukan Lebih 50% dan Menurunkan Residu Insektisida di Bawah Ambang Aman pada Pertanaman Sayuran. Laporan Akhir Penelitian Ristek. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. BBSDLP. Bogor

Jatmiko, S.Y., E.S. Harsanti, E.S., dan A.N. Ardiwinata, , 1999. Pencemaran pestisida pada Agroekosistem Lahan Sawah Irigasi dan Tadah Hujan di Jawa Tengah. hal. 106-118 *dalam* Soetjipto Partohardjono, J. Soejitno dan Hermanto. Risalah seminar hasil penelitian emisi gas rumah kaca dan peningkatan produktivitas Padi di Lahan sawah, Bogor 24 April 1999. Puslitanak, Badan Litbang. deptan

Murtado, A.N.Ardiwinata, I. Nasution, I.M. Samudra, P. Lestina dan Ismiatun. 1996. Status Residu Pestisida di Sentra Produksi Padi. Laporan Penelitian Balittan. Bogor.

Ogawa, M. 1994. Symbiosis of People and Nature in The Tropics: Tropical Agriculture Using Charcoal. Farming Japan. 28(5): 21-30.

Oka. I. N. 1995. Pengelolaan Hama Terpadu dan Implementasinya di Indonesia. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Roy, G.M. *Activated Carbon Aplications in the Food and Pharmacutical Industries*. Technomic, Pennsylvania.

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.

Standardisasi Nasional Indonesia.1995. Arang aktif teknis. SNI 06-3730-1995. Badan Standardisasi Nasional Indonesia, Jakarta.



BALAI PENELITIAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Jl. Raya Jakenan - Jaken Km 05 Pati, Jawa Tengah, Indonesia 59182

Telp. (0295) 3351277 Fax. (0295) 3351399

E-mail : balingtan@litbang.pertanian.go.id dan balingtan@yahoo.com

Website: www.balingtan.litbang.pertanian.go.id