

Pemanfaatan Arang Aktif dalam Pengendalian Residu Pestisida di Tanah: Prospek dan Masalahnya

Utilization of Activated Carbon in Control of Pesticides Residues in Soil: The Prospects and Their Problems

Asep Nugraha Ardiwinata*

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jalan Raya Jakenan-Jaken Km 05 Jakenan, Pati 59182

*E-mail: asena020361@gmail.com

Diterima 11 Maret 2020, Direview 24 Maret 2020, Disetujui dimuat 14 Juni 2020, Direview oleh Anny Mulyani dan Helena Lina Susilawati

Abstrak. Penggunaan pestisida di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1965, jenis pestisida yang banyak digunakan adalah jenis organoklorin, antara lain *Dichloro Diphenyl Trichloroethane* (DDT) dan lindan. Saat ini pestisida yang umum digunakan adalah jenis organofosfat, karbamat dan piretroid. Dari jenis-jenis pestisida tersebut, yang paling toksik dan persisten adalah jenis organoklorin. Dampak dari penggunaan pestisida adalah dapat tertinggalnya pestisida tersebut di dalam tanah bahkan di dalam produk pertanian dalam jangka waktu tertentu (residu pestisida), sehingga berpotensi membahayakan lingkungan dan manusia karena bersifat toksik. Dampak negatif residu pestisida di dalam tanah adalah terbunuhnya biota-biota penting di dalam tanah seperti cacing tanah. Bila residu pestisida di tanah tersebut terbawa air dan masuk ke sungai, maka biota air atau ikan-ikan yang ada terancam mati. Bilamana residu pestisida di tanah tersebut diserap ke dalam produk pertanian, maka manusia sebagai konsumen produk tersebut ditengarai akan terstimulus kanker hingga EDs (terganggunya hormon endokrin). Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk mengatasi masalah residu di tanah dengan memanfaatkan limbah pertanian seperti tempurung kelapa, bonggol jagung dan sekam padi sebagai bahan dasar pembuatan arang aktif. Arang aktif ini diketahui memiliki kemampuan daya serap yang tinggi terhadap pencemar residu pestisida dan disenangi oleh mikroba pendegradasi sebagai tempat tinggal dan berkembang biak.

Kata kunci: Dampak negatif / degradasi / endokrin / limbah pertanian / lingkungan

Abstract. Pesticides have been applied in Indonesia since 1965. The dominant pesticide types in Indonesia were organochlorines, such as *Dichloro Diphenyl Trichloroethane* (DDT) and lindan. Recently, the most commonly used pesticide types are organophosphate, carbamate and pyrethroid. Organochlorin, is the most toxic and persistent type of pesticides. The negative impact of pesticides application is the residue could be left either in the soil or in the agricultural products for a certain period of time (pesticide residues), thus potentially endanger the environment and humans because of their toxic characteristic. The negative impact of pesticide residues in the soil is killing important biota such as earthworms. When the residue is washed away by water into the river, it would endanger the water biota. Moreover, when the residue is absorbed by agricultural products, the humans who consume it could be stimulated by cancer until EDs (endocrine disruption). Some researchers have conducted researches to eliminate the problem of residues in the soil by utilizing agricultural waste such as coconut shells, corncobs and rice husks as the raw material for making activated carbon. Activated carbon has high capability to absorb pollutant/pesticide residues and become favourite medium to live and breed for degrading microbes.

Key words: Negative impacts / degradation / endocrine / agricultural waste / environment

PENDAHULUAN

Pestisida merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem pertanian di Indonesia. Penggunaan pestisida di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1965. Pada saat itu, jenis pestisida yang banyak digunakan adalah jenis organoklorin, antara lain *Dichloro Diphenyl Trichloroethane* (DDT) dan lindan, sedangkan sekarang ini pestisida yang umum

digunakan adalah jenis organofosfat, karbamat dan piretroid. Menurut Ardiwinata *et al.* (1997), Soejitno dan Ardiwinata (1999) dan Ichwan *et al.* (2007) melaporkan bahwa dampak negatif dari penggunaan pestisida yang terus menerus dan berlebihan akan berpotensi tertinggalnya pestisida di lingkungan dan produk pertanian atau yang lebih dikenal dengan residu pestisida. Residu pestisida ditemukan di areal tanaman pangan dan hortikultura (Soejitno 2006). Dari jenis-

jenis pestisida tersebut, yang paling toksik dan persisten adalah jenis organoklorin. Meskipun pestisida organoklorin sudah dilarang penggunaannya namun pada kenyataannya masih ditemukan residu organoklorin di lahan pertanian padi di Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Jawa Timur (Ardiwinata dan Djazuli 1992; Ardiwinata *et al.* 1999; Jatmiko *et al.* 1999; Harsanti *et al.* 1999; Ardiwinata *et al.* 2007, Ardiwinata dan Nursyamsi 2012). Ardiwinata *et al.* (2007) melaporkan adanya deteksi beberapa insektisida organoklorin lindan, aldrin, heptaklor, dan endosulfan dalam darah petani di tiga lokasi sentra sayuran (Brebes, Pati, dan Magelang) yang telah melebihi nilai *acceptable daily intake* (ADI). Indratin *et al.* (2008) melaporkan residu organoklorin terdeteksi pada darah petani di tiga lokasi sentra sayuran di Jawa Tengah (Brebes, Pati, dan Magelang)

Teknologi penanganan dampak negatif residu pestisida beraneka ragam, mulai dari insinerasi, pemadatan sampai ke penyimpanan (*containment*) dan bioremediasi (Wisjnupto 1996). Teknologi penanggulangan residu pestisida di lingkungan lahan pertanian yang memanfaatkan limbah pertanian/perkebunan sebagai bahan dasar sampai saat ini masih sangat sedikit. Limbah pertanian/perkebunan (tempurung kelapa, sekam padi, bonggol jagung, tandan kosong kelapa sawit dll) merupakan suatu biomassa yang dapat dirubah menjadi materi yang bernilai ekonomis lebih tinggi dan lebih bermanfaat daripada dibakar. Salah satu pemanfaatan biomassa tersebut adalah sebagai bahan dasar produksi arang aktif.

Pemanfaatan biomassa limbah pertanian/perkebunan untuk produksi arang aktif memiliki dampak positif sebagai pengurangan limbah pertanian/perkebunan untuk mendukung pembangunan pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Bahan baku arang aktif yang banyak dijumpai dan mudah didapat di pasar tradisional adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa biasanya dibuang begitu saja dan sebagian lagi digunakan untuk arang pembakar. Bahan baku lainnya yang potensial adalah sekam padi. Kandungan selulosa dan hemiselulosa yang mencapai 40% membuat sekam padi berpotensi menjadi bahan baku arang aktif. Di Indonesia, sekam padi umumnya digunakan untuk alas kandang peternakan ayam.

Sekam padi merupakan hasil sampingan terbesar dari proses penggilingan padi, yaitu bagian terluar dari

butir padi yang kaya zat karbon. Dalam proses penggilingan, dihasilkan sekam padi sebanyak 18-35 % (Houston 1972). Menurut Tangendjaja (1991) persentase sekam padi dari gabah bervariasi antara 16,3-26,0 %, tergantung varietas. Di Indonesia, terdapat usaha penggilingan padi sekitar 60.000 unit, sekitar 700 unit di antaranya memiliki kapasitas sedang dan besar (Setyono *et al.* 2000). Dengan produksi beras sebesar 29 juta ton/tahun diperkirakan akan dihasilkan lebih dari 11,5 juta ton sekam tahun⁻¹. Hampir semua sekam yang terdapat di negara-negara ASEAN, dibakar atau dibuang. Sementara Tangendjaja (1991), mengemukakan bahwa perkiraan limbah jagung dibandingkan dengan limbah pertanian lainnya secara produktivitas per hektar menduduki tempat terendah.

Penggunaan arang aktif akan memberi harapan baik untuk mengatasi pencemaran di tanah oleh pencemar organik maupun anorganik. Arang aktif dapat menyerap pestisida di dalam air minum sebanyak 99,9% dari konsentrasi mula-mula sebesar 2.250 mg L⁻¹ (Cunningham *et al.* 1995). Arang aktif banyak dimanfaatkan oleh pabrik-pabrik untuk berbagai tujuan, diantaranya sebagai pembersih air, pemurnian gas, atau pengolahan limbah cair. Dalam perindustrian, arang aktif sangat berguna karena dapat mengadsorpsi bau, warna, gas serta logam. Maraknya perkembangan proses industri akan meningkatkan resiko pencemaran lingkungan sehingga meningkatkan pula kebutuhan akan arang aktif (Sidiq 2014).

Pada tahun 2000 Indonesia mengeksport arang aktif sebesar 10.205 ton, selanjutnya Asian and Pacific Coconut Community dalam Alloreung *et al.* (2008) melaporkan volume ekspor arang aktif dari Indonesia tahun 2005 sebesar 25.671 ton. Negara-negara tujuan ekspor arang aktif adalah Jepang, Korea Selatan, Taiwan, Malaysia, Norwegia, Inggris, Perancis, Jerman, RRC, Srilangka dan Uni Emirat Arab.

Di beberapa negara, arang aktif dilaporkan telah digunakan sebagai penyerap residu pestisida pada proses penjernihan air untuk mendapatkan air minum yang bebas pestisida (Gerard dan Barthelemy 2003 dalam Gani 2007). Arang aktif dapat mendeaktivasi kontaminan pestisida yang terdapat di dalam tanah dengan dosis antara 100-400 kg ha⁻¹ (McCarty 2015). Arang aktif dalam tanah dapat meningkatkan total organik karbon dan mengurangi biomassa mikroba, respirasi, dan agregasi serta pengaruh pembekuan cahaya pada tanah, karena arang aktif dapat menyerap dan menyimpan panas (Weil *et al.* 2003).

Tulisan ini ditujukan untuk membahas pemanfaatan limbah pertanian dalam mengatasi masalah pencemaran residu pestisida di lingkungan pertanian. Disamping itu juga dibahas kebijakan-kebijakan pemerintah perihal penanganan masalah residu pestisida yang telah berjalan selama ini. Informasi tersebut dibandingkan dengan temuan-temuan terakhir yang ada di lapangan sehingga dapat dilihat dinamikanya, diidentifikasi pokok permasalahan yang menghambat penanganan masalah residu pestisida, sehingga dapat diberikan solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut.

BAHAYA RESIDU PESTISIDA

Tabel 1. Pestisida yang dapat mengganggu sistem hormon dan reproduksi

Table 1. Pesticides that can disrupt hormonal and reproductive systems

Pestisida	Merusak metabolisme steroid	Merusak fungsi tiroid	Berpengaruh terhadap spermatogenesis	Berpengaruh terhadap reproduksi
Atrazin	V			
Karbofuran	V			
Konazol	V			
Lindan	V			
Amitrol		V		
Beberapa ditiokarbamat (maneb, zineb, mancozeb)		V	V	V
Iosinil		V		
Metribuzin		V		
Piretroid		V	V	
Trifluralin		V		
Fungisida			V	
Glifosat			V	
Beberapa-organofosfat			V	V
2,4-D				V

Sumber: Lutter (2000)

Penggunaan pestisida yang kurang bijaksana dapat menimbulkan dampak negatif terhadap manusia, biota air, hewan ternak, burung serta kerusakan tatanan lingkungan (Brown 1978; Koesoemadinata 1980; Mustaqim dan Ma'aruf 1990; Endrawanto dan Winarno 1996). Untuk mengetahui sejauh mana dampak negatif residu pestisida di lingkungan pertanian, maka perlu dilakukan analisis residu pestisida dengan metode analisis tertentu (Ardiwinata 2008). Dampak negatif dari penggunaan pestisida antara lain adanya residu pestisida yang tertinggal di dalam beras dan sayuran dengan konsentrasi beberapa

jenis residu pestisida telah di atas batas maksimum residu (BMR) (Soejitno 2006).

Menurut Lutter (2000) beberapa jenis residu pestisida mempunyai dampak negatif terhadap kesehatan manusia yakni dapat merusak metabolisme steroid, merusak fungsi tiroid, berpengaruh terhadap spermatogenesis; toksik terhadap sistem reproduksi (Tabel 1). Selanjutnya Oh (2001) melaporkan bahwa beberapa jenis pestisida berpotensi menimbulkan *endocrine disruptings* (EDs) antara lain: karbofuran, 2,4-D, sipermetrin, benomil, karbaril, endosulfan, fenvalerat, malation, mankozeb dan metomil.

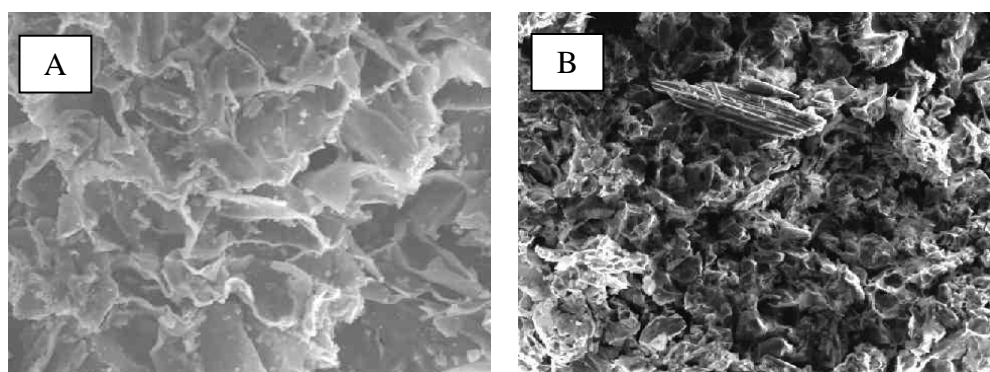
KARAKTERISTIK DAN PEMANFAATAN ARANG AKTIF

Karakteristik Arang Aktif

Pesatnya Arang aktif adalah material berpori yang mempunyai kemampuan untuk menyerap pengotor yang terdapat dalam air yaitu sebagai filter air (Nustini dan Allwar 2019). Arang aktif mengandung 85-95% karbon. Prosedur analisis karakteristik arang aktif mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Melalui alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) dapat diketahui ukuran pori arang aktif tempurung kelapa (AATK) yang memiliki ukuran di bawah 50 μm pada perbesaran 500 kali, sedangkan arang aktif sekam padi (AASP) memiliki ukuran pori sebesar 82 μm pada perbesaran 200 kali (Gambar 1).

Menurut Ardiwinata (2005), arang aktif tempurung kelapa (AATK) secara umum memiliki nilai parameter karakteristik (pH, bahan organik, nilai tukar kation, kerapatan, porositas, kandungan air, luas permukaan, angka iod, karbon terikat dan ukuran partikel) lebih tinggi dibandingkan arang aktif sekam padi (AASP) (Tabel 2). Sedangkan untuk parameter karakteristik seperti bahan organik N, nilai tukar kation Ca, KTK, kadar abu dan zat mudah terbang pada arang aktif tempurung kelapa lebih rendah daripada arang aktif sekam padi (Tabel 2).

Arang aktif yang berasal dari tempurung kelapa dan sekam padi memiliki pH diatas 9 (alkalis). Hal ini sesuai dengan pendapat Ahmedna *et al.* (2000) yang mengatakan bahwa arang aktif memiliki pH alkalis (di atas pH 9). Lebih lanjut ia mengatakan bahwa nilai pH tersebut berkaitan erat dengan kadar abu arang aktif



Gambar 1. Penampang pori arang aktif tempurung kelapa (A) dan arang aktif sekam padi (B) (Sumber : Ardiwinata 2005)

Figure 1. Pore cross section of coconut shell activated carbon (A) and rice husk activated carbon (B) (Source: Ardiwinata 2005)

Tabel 2. Karakteristik Arang Aktif Tempurung Kelapa (AATK) dan Sekam Padi (AASP)

Table 2. Characteristics of coconut shell activated carbon (AATK) and paddy husk (AASP)

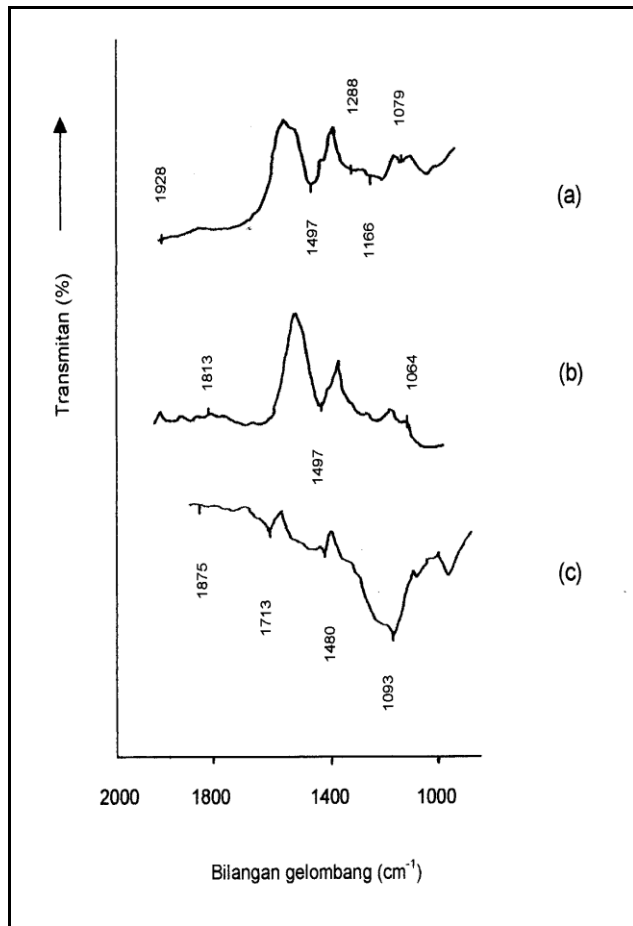
Parameter	Arang Aktif	
	Tempurung Kelapa	Sekam Padi
pH		
H ₂ O	10,1	9,6
KCl	8,0	7,8
Bahan organik		
C (%)	6,5	2,3
N (%)*	0,1	0,3
C/N	47	7
Nilai Tukar Kation		
Ca (me 100g ⁻¹)*	0,7	1,7
Mg (me 100g ⁻¹)	0,6	0,5
K (me 100g ⁻¹)	3,5	0,8
Na (me 100g ⁻¹)	1,2	0,3
KTK (me 100g ⁻¹)*	1,3	3,1
Kerapatan (g ml⁻¹)	0,3	0,2
Porositas (%)	82,4	70,5
Kandungan air (%)	5,0	1,5
Kadar abu (%)*	1,5	52,2
Luas permukaan (m² g⁻¹)	350,5	248,5
Angka Iod (mg g⁻¹)	1.191,8	460,4
Karbon terikat (%)	89,1	41,6
Zat mudah terbang (%)*	9,4	12,5
Ukuran partikel (μ)	500-1.000	50-100

Sumber: Ardiwinata (2005)

tersebut. Arang aktif dengan pH alkalis biasanya memiliki kadar abu tinggi. Gugus fungsional karboksilat, hidroksil, fenol dan lakton pada permukaan arang aktif merupakan gugus yang mendasari sifat asam arang aktif. Sedangkan gugus fungsional eter dan karbonil mendasari sifat basa arang aktif (Laszlo *et al.* 2001). Bansal *et al.* (2005) dan Hassler (1974) melaporkan bahwa arang aktif yang diproduksi pada suhu 600-800 °C mempunyai berbagai oksida permukaan, yang mencakup asam karboksilat, akan tetapi mayoritas utama adalah asam karboksilat dan

lakton. Ardiwinata (2005) melaporkan bahwa keberadaan pita serapan pada pita 1800-1700 cm⁻¹ terdapat *stretching* C=O yang menunjukkan adanya karbonil, asam karboksilat, dan lakton. Sedangkan pada pita 1497 cm⁻¹ dan 1480 cm⁻¹ terdapat C-H (*bending*) dan O-H (*bending*) yang menandakan adanya asam karboksilat dan fenol. Kemudian pada pita 1.300-1.000 cm⁻¹ terdapat *stretching* C-O-C yang menunjukkan adanya eter (Gambar 2). Menurut Ahmedna *et al.* (2000) bahwa gugus fungsional permukaan arang aktif yang paling umum adalah karboksil, karbonil, hidroksil

fenolat, jenis eter, dan lakton. Kehadiran oksigen di permukaan yang kompleks mencirikan suatu sifat polar dari permukaan arang aktif, yang nantinya akan mempengaruhi preferensi atau kapasitas sorpsi dari suatu senyawa organik polar (Ahmedna *et al.* 2000).



Gambar 2. Spektra FT-IR arang aktif dari Jepang (b) arang aktif tempurung kelapa (AATK) dan (c) arang aktif sekam padi (AASP) (Sumber: Ardiwinata 2005)

Figure 2. Spectra FT-IR activated carbon from Japan (b) coconut shell activated carbon (AATK) and (c) rice husk activated carbon (AASP) (Source: Ardiwinata 2005)

Arang aktif mempunyai keunggulan dari biochar yaitu kapasitas dan daya serapnya yang besar, karena struktur pori dan keberadaan gugus fungsional kimiawi di permukaan arang seperti C=O. Selain itu, kualitas arang aktif ditunjukkan dengan nilai daya serap iodin dengan ketentuan dari SNI 06-3730-1995 (Ardiwinata 2005). Penentuan daya serap iodin bertujuan untuk menentukan kapasitas adsorpsi arang aktif (Jankowska *et al.* 1991). Menurut Pari *et al.* (2009) penentuan daya

serap terhadap iodin bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif untuk menyerap larutan berwarna dengan ukuran molekul kurang dari 10 Å atau 1 nm. Arang aktif dinilai berkualitas bilamana nilai daya serap Iodnya $\geq 750 \text{ mg g}^{-1}$. Sementara biochar umumnya mempunyai daya serap lebih rendah daripada arang aktif, misalnya arang dari tempurung kelapa dan tongkol jagung sebelum diaktivasi mempunyai daya serap iodin masing-masing adalah 276 dan 452 mg g^{-1} , namun setelah diaktivasi meningkat menjadi 672 dan 647 mg g^{-1} yang mendekati nilai persyaratan kualitas arang aktif (Ardiwinata 2005; Harsanti *et al.* 2013). Untuk arang aktif yang baik adalah yang memiliki daya serap terhadap I_2 minimal sebesar 750 mg g^{-1} dan daya serap terhadap metilen biru minimal sebesar 120 mg g^{-1} (Sudrajat 2011).

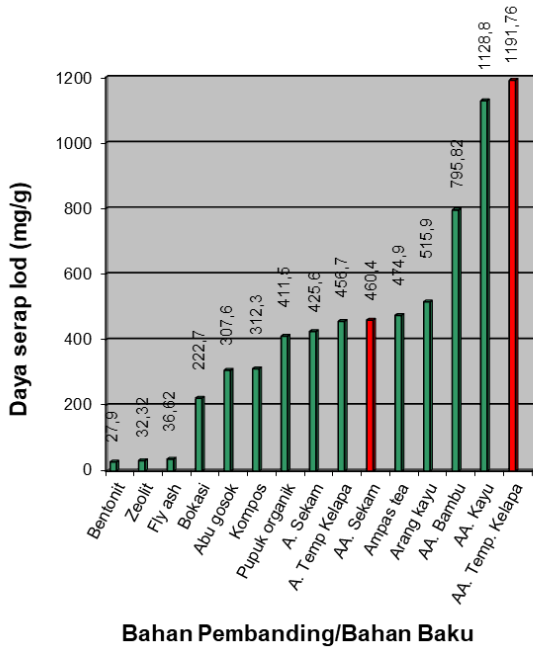
Kemampuan biochar dalam adsorpsi kontaminan ditentukan oleh luas permukaan, dimana luas permukaan tinggi akan meningkatkan kapasitas penyerapan (Ishak dan Abdullah 2014). Kemampuan jerapan juga ditentukan oleh banyaknya pori makro pada biochar. Semakin tinggi suhu pirolisis, semakin banyak pori makronya. Biomassa limbah pertanian yang dipanaskan pada suhu sangat tinggi hingga 900°C disebut sebagai arang aktif atau *activated carbon* (Ogawa 1994). Dengan demikian mekanisme penyerapan kontaminan berbeda antara biochar dan arang aktif. Pada biochar mekanisme utama adalah ikatan ion oleh gugus fungsional dan jerapan oleh pori. Sementara itu penyerapan kontaminan pada arang aktif melalui mekanisme jerapan saja karena pada arang aktif gugus fungsionalnya sudah hilang. Perbedaan antara permukaan pori arang dan arang aktif disajikan pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil penelitian Ardiwinata (2005) terhadap 15 jenis bahan perbandingan atau bahan baku arang aktif (bentonit, *zeolite*, *fly ash*, bokasi, abu gosok, kompos, pupuk organik, arang sekam, arang tempurung kelapa, arang aktif sekam padi (AASP), ampas teh, arang kayu, arang aktif bambu, arang aktif kayu dan arang aktif tempurung kelapa-AATK) menunjukkan bahwa arang aktif yang berasal dari tempurung kelapa (AATK) memiliki kualitas arang aktif tertinggi menurut SNI 06-3730-1995 yaitu memiliki daya serap terhadap iod (I_2) sebesar 1191,76 mg g^{-1} (Gambar 3).

Potensi Limbah Pertanian

Potensi limbah pertanian dan perkebunan di Indonesia seperti sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) cukup tinggi, masing-masing sekitar 17,5; 8,0; 12,0 dan 20,0 juta ton per tahun (Ardiwinata 2005).

Dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit terdapat produk samping (limbah) salah satunya berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, contohnya sebagai pupuk tanaman dan pakan ternak saja. Sedangkan TKKS merupakan limbah padat yang paling banyak dihasilkan yaitu >20% dari total tandan buah segar (TBS) kelapa sawit yang diolah (Destyorini dan Indayaningsih 2018). TKKS merupakan bahan organik kompleks yang kaya unsur karbon. Kandungan karbon inilah yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, salah satunya sebagai arang/arang aktif (Destyorini dan Indayaningsih 2018). Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit ini dapat mengangkat nilai kearifan lokal dan sumber daya alam yang belum terolah secara optimal, yang tidak hanya mempertimbangkan nilai fungsional, namun juga nilai estetika (Destyorini dan Indayaningsih 2018).



Gambar 3. Daya serap iod 15 jenis bahan pemanding/bahan baku arang aktif (Sumber: Ardiwinata 2005)

Figure 3. Absorption of iod 15 types of activated carbon /raw material (Source: Ardiwinata 2005)

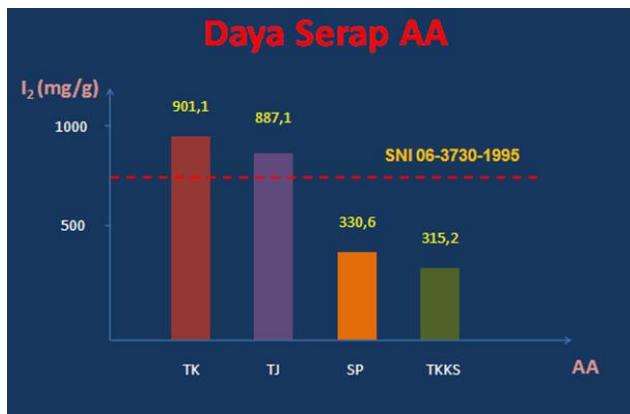


Gambar 4. Limbah pertanian/perkebunan: sekam padi, tempurung kelapa, TKKS dan tongkol jagung sebagai bahan baku arang aktif (Sumber: Ardiwinata 2005)

Figure 4. Agricultural /plantation waste: rice husk, coconut shell, TKKS and corn cob as raw material of activated carbon (Source: Ardiwinata 2005)

Tempurung kelapa merupakan limbah padat dari hasil olahan kelapa yang telah di ambil daging kelapa untuk mendapatkan santan (*coconut milk*). Tempurung kelapa pada umumnya digunakan untuk bahan bakar, keperluan rumah tangga atau souvenir. Melimpahnya tempurung kelapa dapat diangkat sebagai potensi desa dalam meningkatkan perekonomian masyarakat. Arang tempurung kelapa dapat dijadikan sebagai bahan arang batok kelapa dan karbon aktif. Karbon aktif adalah material perpori yang mempunyai kemampuan untuk menyerap pengotor yang terdapat dalam air yaitu sebagai filter air (Nustini dan Allwar 2019).

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis, terdiri dari belahan lemma dan palea yang saling bertautan, umumnya ditemukan di areal penggilingan padi. Dari proses penggilingan padi, biasanya diperoleh sekam 20-30 %, dedak 8-12 %, dan beras giling 50-63,5 % dari bobot awal gabah. Sekam memiliki kerapatan jenis (bulk density) 125 kg m⁻³, dengan nilai kalori 1 kg sekam padi sebesar 3300 k.kalori dan ditinjau dari komposisi kimiawi, sekam mengandung karbon (zat arang) 1,33%, hydrogen 1,54%, oksigen 33,65%, dan Silika (SiO₂) 16,98%, artinya sekam dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia dan sebagai sumber energi panas untuk keperluan manusia (Sipahutar 2012).



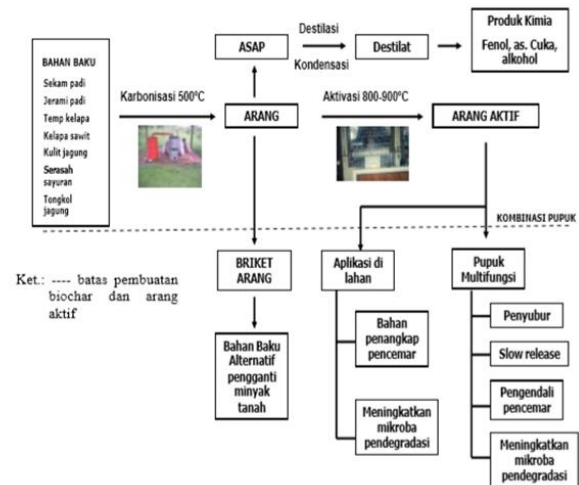
Gambar 5. Arang aktif tempurung kelapa dan tongkol jagung memiliki daya serap melebihi batas mutu SNI 06-3730-1995 (Sumber: Ardiwinata 2005)

Figure 5. Activated carbon coconut shell and corn cob have absorbing capability beyond the quality limit of SNI 06-3730-1995 (Source: Ardiwinata 2005)

Pembuatan Arang Aktif

Bahan baku pembuatan arang aktif antara lain berasal dari biomassa limbah pertanian atau perkebunan seperti tempurung kelapa, sekam padi,

tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan tongkol jagung. Pembuatan karbon aktif dibagi menjadi dua macam yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Menurut Hartanto dan Ratnawati (2010) dan Hartoyo *et al.* (1990) bahwa pembuatan arang aktif dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu proses aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Biomassa tersebut dijadikan arang terlebih dahulu melalui pemanasan pada suhu tinggi (>500 °C). Arang tempurung kelapa dapat dijadikan sebagai bahan arang batok kelapa dan karbon aktif (Nustini dan Allwar 2019). Setelah itu, arang dirubah menjadi arang aktif melalui proses aktivasi (Gambar 6). Proses aktivasi merupakan proses untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang sehingga dapat meningkatkan porositas karbon (Cooney 1980). Aktivasi arang aktif dapat dilakukan melalui proses aktivasi secara fisik dan proses kimia. Proses aktivasi secara fisik dapat dilakukan dengan pemberian uap air atau gas CO₂, sedangkan secara kimia dilakukan dengan penambahan zat kimia tertentu (Jamilatun *et al.* 2014).



Gambar 6. Diagram pembuatan arang (*biochar*) (Sumber: Ardiwinata 2005)

Figure 6. Charcoal production diagram (*Biochar*) (Source: Ardiwinata 2005)

Kualitas arang aktif tergantung kandungan lignin dan selulosa. Kandungan lignin yang tinggi akan menghasilkan arang aktif yang semakin baik (Nurdiansah dan Susanti 2013). Struktur bahan yang tersusun atas selulosa dan lignin akan secara alami memberi struktur berpori yang menjadikan bahan tersebut dapat digunakan sebagai media adsorpsi (Aisyahlika *et al.* 2018).

Pemanfaatan Arang Aktif

Arang aktif (AA) dikenal masyarakat digunakan dalam industri farmasi, pertambangan, penyaring dan penjernihan air serta untuk menyerap polusi dan bau tidak sedap dalam ruangan. Arang aktif yang umum digunakan untuk tujuan di atas adalah arang aktif yang berasal dari tempurung kelapa dan batu bara, sedangkan arang aktif yang berasal dari limbah pertanian/perkebunan dari sekam padi, bonggol jagung dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) belum dimanfaatkan secara optimal.

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan) di Pati-Jawa Tengah melalui penelitiannya Ardiwinata *et al.* (2003), Harsanti *et al.* (2011), Indratin dan Wahyuni (2012), Harsanti *et al.* (2012), Ardiwinata dan Harsanti (2014), Wahyuni *et al.* (2014) telah melaporkan pemanfaatan arang aktif sebagai bahan pengefisiensi pupuk, pembenah tanah dan pengendali (remediasi) residu pestisida (Gambar 7), pelapis pupuk urea (Ardiwinata *et al.* 2015a) (Gambar 8), dan sebagai filter residu pestisida di saluran *inlet* dan *outlet* (FIO) di petakan sawah (Ardiwinata *et al.* 2015b) (Gambar 9).



Gambar 7. Arang aktif (tempurung kelapa, sekam padi, tongkol jagung dan TKKS) sebagai bahan pembenah tanah dan pengendali residu pestisida (Sumber: Ardiwinata 2005)

Figure 7. Activated carbon (coconut shell, rice husk, corn cob and TKKS) as soil and pesticide residue control (Source: Ardiwinata 2005)



Gambar 8. Arang aktif (tempurung kelapa, sekam padi, tongkol jagung dan TKKS) sebagai bahan pelapis pupuk urea (insert) (Sumber: Ardiwinata *et al.* 2015a)

Figure 8. Activated carbon (coconut shell, rice husk, corn cob and TKKS) as coating material of urea (insert) (Source: Ardiwinata *et al.* 2015a)



Gambar 9. Arang aktif (tempurung kelapa, sekam padi, tongkol jagung dan TKKS) sebagai filter residu pestisida di inlet dan outlet (FIO) petakan sawah (Sumber: Ardiwinata *et al.* 2015b)

Figure 9. Activated carbon (coconut shell, rice husk, corn cob and TKKS) as pesticide residue filter in inlet and outlet (FIO) in paddy field (source: Ardiwinata *et al.* 2015b)

Ardiwinata (2005) melaporkan bahwa dengan pemberian arang aktif di tanah ternyata dapat berpengaruh terhadap populasi bakteri. Populasi bakteri meningkat baik di tanah Inceptisols dan tanah Ultisols masing-masing sebesar $54,0 \times 10^6 \text{ g}^{-1}$ yang sebelumnya $45,0 \times 10^6 \text{ g}^{-1}$ dan $14,5 \times 10^6 \text{ g}^{-1}$ yang sebelumnya $12,4 \times 10^6 \text{ g}^{-1}$ (Tabel 3). Hasil identifikasi bakteri ternyata bakteri yang meningkat jumlahnya tersebut adalah bakteri yang berperan dalam degradasi residu pestisida yaitu *Pseudomonas sp.* Pemberian arang aktif tidak meningkatkan jumlah *Actinomyces* dan fungi, kecuali di tanah Ultisols.

Tabel 3. Jumlah mikroba ($\times 10^4 \text{ cfu g}^{-1}$) akibat arang aktif di dalam tanah

Table 3. Number of microbes ($\times 10^4 \text{ cfu g}^{-1}$) due to activated carbon in soil

Mikroba	Tanah	Populasi mikroba ($\times 10^4 \text{ cfu g}^{-1}$)	
		Tanpa arang aktif	Dengan arang aktif
Bakteri	Inceptisols	45,0	54,0
	Ultisols	12,4	14,5
Actinomyces	Inceptisols	9,5	7,1
	Ultisols	4,4	5,1
Fungi	Inceptisols	0,55	0,50
	Ultisols	0,30	0,22

Sumber: Ardiwinata (2005)

MEKANISME SILIKA SEBAGAI BAHAN PENETRAL UNSUR TOKSIK

Tantangan

Bahan baku arang aktif sangat tergantung ketersediaan tempurung kelapa dari tanaman kelapa. Pertanaman kelapa di Indonesia merupakan yang

terluas di dunia dengan pangsa 31,2% dari total luas areal kelapa dunia. Peringkat kedua diduduki Filipina (25,8%), disusul India (16%), Sri Lanka (3,7%) dan Thailand (3,1%). Namun demikian, dari segi produksi ternyata Indonesia hanya menduduki posisi kedua setelah Filipina. Produksi dan devisa yang dihasilkan Indonesia juga di bawah India dan Sri Lanka. Perolehan devisa dari produk kelapa mencapai US\$ 229 juta atau 11% dari ekspor produk kelapa dunia pada tahun 2003 (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2007).

Untuk daerah-daerah tertentu terutama di luar Pulau Jawa kondisi infrastruktur pendukung industri kelapa (untuk produk arang aktif) kurang memadai. Dampak dari hal ini biaya industri menjadi tinggi dan harga jual menjadi kurang bersaing. Sebagai contoh, di daerah sentra produksi kelapa di Indragiri Hilir hanya memiliki satu alternatif transportasi, yaitu transportasi air, sehingga akses petani kelapa terhadap informasi teknologi dan pasar tidak berjalan karena kurang terjangkau oleh lembaga-lembaga yang tersedia. Kondisi demikian mengakibatkan transportasi yang mahal dan rantai tataniaga yang panjang, pada gilirannya harga tingkat petani juga tertekan (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2007).

Prospek

Industri pengolahan kelapa pada saat ini masih didominasi oleh produk setengah jadi berupa kopra dan *coconut crude oil* (CCO). Produk olahan lainnya yang sudah mulai berkembang adalah *coconut cream* (CC), *natadecoco* (ND), *desiccated coconut* (DC), *activated carbon* (AC), *coconut fiber* (CF) dan *brown sugar* (BS). Laju perkembangan produksi AC sebesar 9%.

Tabel 4. Perkiraan kebutuhan investasi pengolahan arang aktif

Table 4. Expected activated carbon processing investment needs

Provinsi	Pola	Jenis Produk	Skala	Jumlah	Biaya Investasi	Total Biaya
			(ha)	(unit)	(Rp. juta/unit)	(Rp. Juta)
Riau	Parsial	Arang aktif (AA)	8.000	4	1.200	4.800
Jambi	Parsial	Arang aktif (AA)	8.000	2	12.000	24.000
NTB	Parsial	Arang aktif (AA)	8.000	2	12.000	24.000
NTT	Parsial	Arang aktif (AA)	8.000	2	12.000	24.000
Total			32.000			76.800

Sumber: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2007)

Tabel 5. Persentase produk dari limbah tempurung

Table 5. Percentage of product from waste shell

No	Bahan baku tempurung kelapa	Hasil arang	Hasil karbon aktif
1	100 Kg	50 %	12 %
2	Harga Rp 700/Kg	4.500/Kg	19.000/Kg

Sumber: Nustini dan Allwar (2019)

Tabel 6. Perkiraan keuntungan dari penjualan arang tempurung dan karbon aktif

Table 6. Expected profit from the sale of shell charcoal and activated carbon

No	Material	Jumlah	Harga/kg	Jumlah
1	Pembelian tempurung kelapa	100 kg	Rp. 700	Rp. 70.000
2	Pengemasan plastik	1 kg	Rp. 3.500	Rp. 3.500
3	Hasil tempurung kelapaa	50 kg	Rp. 4.500	Rp. 225.000
4	Hasil karbon aktif	5,4 kg	Rp. 19.000	Rp. 102.000

Produksi arang aktif dan arang tempurung selama ini lebih ditujukan untuk memenuhi kebutuhan pasar luar negeri sehingga penggunaan di dalam negeri hampir tidak ada (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2007).

Tempurung kelapa yang dulu hanya digunakan sebagai bahan bakar, sekarang sudah merupakan bahan baku industri cukup penting. Produk yang dihasilkan dari pengolahan tempurung adalah arang, arang aktif, tepung tempurung, dan barang kerajinan. Arang aktif dari tempurung kelapa memiliki daya saing yang kuat karena mutunya tinggi dan tergolong sumber daya yang terbarukan. Selain digunakan dalam industri farmasi, pertambangan, dan penjernihan, arang aktif sekarang sudah dibuat untuk penyaring atau penjernih ruangan, menyerap polusi dan bau tidak sedap dalam ruangan, serta bahan batu batere. Berdasarkan data ekspor tahun 2003, Indonesia ternyata lebih banyak mengeksport dalam bentuk arang tempurung (56%), sedangkan

negara lain dalam bentuk arang aktif. Perkiraan investasi untuk pengolahan arang aktif untuk skala 8.000 ha membutuhkan biaya sebesar Rp 24 juta (Tabel 4) (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2007). Menurut Nustini dan Allwar (2019) dari tempurung kelapa sebanyak 100 kg akan dihasilkan arang (50%) dan arang aktif (12%) (Tabel 5). Arang aktif yang dihasilkan sebanyak 5,4 kg atau sekitar Rp 100 ribu (Tabel 6).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Limbah pertanian (batok tempurung kelapa, tongkol jagung, sekam padi dan tandan kosong kelapa sawit) banyak tersedia dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Pemanfaatan limbah pertanian sebagai

bahan baku pembuatan arang aktif untuk pengendalian residu pestisida di lahan pertanian dapat mengangkat nilai kearifan lokal dan sumber daya alam yang belum terolah secara optimal. Hal tersebut tidak hanya mempertimbangkan nilai fungsional, namun juga nilai estetika.

Arang aktif yang berasal dari limbah pertanian, memiliki prospek untuk mengendalikan residu pestisida di tanah/lahan pertanian karena memiliki karakteristik dapat menyerap residu tersebut di dalam tanah. Residu tersebut selanjutnya akan mudah didegradasi menjadi metabolit oleh mikroba pendegradasi yang tinggal di dalam pori-pori arang aktif. Bakteri lebih menyukai pori-pori arang aktif yang digunakan sebagai tempat tinggal karena terdapat sumber nutrisi yang berasal dari residu pestisida.

Bentuk pemanfaatan arang aktif dalam pengendalian residu pestisida di lahan pertanian dapat melalui aplikasi langsung di tanah (ditaburkan), melalui alat FIO (*filter inlet outlet*) dan melalui pelapisan pupuk urea. Permasalahannya adalah kegunaan arang aktif untuk pengendalian residu pestisida ini belum banyak dikenal dan belum dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat petani. Untuk itu perlu sosialisasi dan dukungan regulasi dari pemerintah terkait pemanfaatan arang aktif ini. Selain itu, produsen atau industri arang aktif masih sedikit atau bisa dihitung jari.

Saran

Perlu dikaji lebih lanjut mengenai kendala industri arang aktif dari limbah pertanian/perkebunan lainnya yang potensial untuk bahan baku batu baterei di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmedna M, Marshall WE, Rao RM. 2000. Granular Activated Carbon from Agricultural By-Products: Preparation, Properties and Application in Cane Sugar. Bulletin Louisiana State University Agricultural Center No. 869. 57pp.

Aisyahlika SZ, Firdaus ML, Elvia R. 2018. Kapasitas adsorpsi arang aktif cangkang Bintaro (*Cerbera odollam*) terhadap zat warna sintesis reactive red-120 dan reactive blue198, *Alotrop*. 2(2): 148-155.

Allorerung D, Mahmud Z, Prastowo B. 2008. Peluang kelapa untuk pengembangan produk kesehatan. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 1(4): 298-315. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Bogor.

Ardiwinata AN, Djazuli M. 1992. Dampak penggunaan insektisida organoklorin dimasa silam di Daerah Jawa Barat. *Prosiding Simposium Penerapan Pengendalian Hama Terpadu*. Perhimpunan Entomologi Indonesia, Cabang Bandung. Hlm. 313-317.

Ardiwinata AN, Umar N, Handayani N. 1997. Residu insektisida organoklorin, organofosfat, dan karbamat dalam beras dan kedelai di beberapa pasar di DKI Jakarta. *Prosiding Seminar Nasional PEI Cabang Bogor*. Hlm. 346-347.

Ardiwinata AN, Jatmiko SY, Harsanti ES. 1999. Monitoring residu insektisida di Jawa Barat. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah, Bogor*. Hlm. 91-105.

Ardiwinata AN, Jatmiko SY, Harsanti ES, Soejitno J. 2003. Residu pestisida: Ekolabel dan upaya ameliorasi. *Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor. Hlm. 97-107.

Ardiwinata AN. 2005. Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Sekam Padi di Tanah Terhadap Residu Karbofuran (2,3-dihidro-dimetil-7-benzofuranil-N-metil karbamat) di Dalam Tanah, Air, dan Tanaman Padi. *Disertasi Doktor Universitas Indonesia*. Jakarta.

Ardiwinata AN, Jatmiko SY, Harsanti ES. 2007. Pencemaran bahan agrokimia di lahan pertanian dan teknologi penanggulangannya. *Dalam Buku Pengelolaan Lingkungan Pertanian Menuju Mekanisme Pembangunan Bersih*. Balai Penelitian lingkungan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.

Ardiwinata AN. 2008. *Petunjuk Teknis Analisis Residu Pestisida*. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 34 Hlm.

Ardiwinata AN, Nursyamsi D. 2012. Residu pestisida di sentra produksi padi di Jawa Tengah. *Jurnal Pangan*. 21 (1).

- Ardiwinata AN, Harsanti ES. 2014. Remediation of insecticide residue in soil using activated carbon. *Lingkungan Tropis*. 8(2): 69-79.
- Ardiwinata AN, Sulaeman E, Priyatna N, Harsanti ES, Wahyuni S. 2015a. Urea Berlapis Arang Aktif. Uraian Paten. Nomor Paten IDP000038786.
- Ardiwinata AN, Sulaeman E, Priyatna N, Harsanti ES, Wahyuni S. 2015b. Alat Filter Residu Pestisida pada Petakan Sawah dengan Media Filter yang Dapat Diisi Ulang. Uraian Paten. Nomor Paten IDS000001383.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2007. Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Kelapa. Edisi Kedua. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. 34 Hlm.
- Bansal C, Roop, Goyal M. 2005. Activated Carbon Adsorption, Lewis Publisher, United States of America.
- Brown AWA. 1978. Ecology of Pesticides. A Wiley Interscience Publication. John Wiley and Sons. p 118-121.
- Cooney DO. 1980. Activated Charcoal, Antidotal, and Other Medical Uses, Marcel Dekker, New York.
- Cunningham SD, Berti WR, Huang JW. 1995. Phytoremediation of contaminated soils. *TIBTECH*. 13: 393-397.
- Destyorini F, Indayaningsih N. 2018. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku kertas karbon. *Journal of Technical Engineering: Piston*. 1(2): 7-12.
- Endrawanto, Winarno H. 1996. Proses pengolahan limbah secara fisika dan kimia. Prosiding Pelatihan dan Lokakarya "Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan". LIPI-BPPT-HSF. Hlm. 97-108.
- Gani A. 2007. Konversi Sampah Organik Pasar Menjadi Kompos (Kompos arang-Arang Aktif-Asap Cair) dan Aplikasinya Pada Tanaman Daun Dewa. Disertasi, Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Harsanti ES, Jatmiko SY, Ardiwinata AN. 1999. Residu insektisida pada ekosistem lahan irigasi di Jawa Timur. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah, Bogor. Hlm. 119-128.
- Harsanti ES, Ardiwinata AN, Wahyuni S, Indratin, Ichwan A, Sulaeman E, Hidayah A. 2011. 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.
- Harsanti ES, Jatmiko SY, Artanti R, Kurnia A, Wahyuni S, Mulyadi, Hidayah A, Ardiwinata AN, Hindersah R. 2012. Teknologi Bioremediasi Untuk Mendegradasi Residu Insektisida POPs Melalui Pemanfaatan Bakteri Dan Jamur. Laporan Akhir Penelitian APBN. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, BBSDLP, Bogor.
- Harsanti ES, Ardiwinata AN, Mulyadi, Wihardjaka A. 2013. Peranan arang aktif dalam mitigasi residu pestisida pada tanaman komoditas strategis. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 7(2): 57-66.
- Hartanto S, Ratnawati. 2010. Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan metode aktivasi kimia. *Indonesian Journal of Materials Science*. 12(1): 12-16.
- Hartoyo, Hudaya N, Fadli. 1990. Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan kayu bakau dengan cara aktivasi uap. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 8(1): 8-16.
- Hassler JW. 1974. Purification With Activated Carbon: Industrial Commercial, Environmental. Chemical Publishing Co. Inc. New York.
- Houston DF. 1972. Rice hull. *In: Houston D.F. (ed). Rice Chemistry and Technology*. Amer. Ass. Cereal Chem. Inc. St. Paul Minnesota. p. 301-352.
- Ichwan A, Ardiwinata AN, Poniman, Wahyuni S, Indratin, Kurnia A. 2007. Dampak Negatif Residu Bahan Agrokimia di Sentra Produksi Sayuran di Jawa. Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. BBSDLP. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian. Jakarta.

- Indratin, Poniman, Ardiwinata AN. 2008. Kontaminasi Residu Organoklorin pada Darah Petani Sayuran di Pati, Magelang dan Brebes. *Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian Bogor*, 18-20 November 2008, Buku III Informasi Sumber Air, Iklim dan Lingkungan. Hlm. 113-121.
- Indratin, Wahyuni S. 2012. Teknologi pelapisan pupuk urea dengan arang aktif yang diperkaya dengan mikroba untuk menurunkan residu DDT dan heptaklor. *Lingkungan Tropis*. 6(2): 139-148.
- Ishak CF, Abdullah R. 2014. In-situ immobilization of selected heavy metals in soils using agricultural wastes and industrial by-products. *Proceeding of MARCO-FFTC Joint International Seminar on Management and Remediation Technologies of Rural Soils Contaminated by Heavy Metals and Radioactive Materials*. Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture Taichung. Taiwan.
- Jamilatun, Siti, Intan DI, Elza NP. 2014. Karakteristik Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Pengaktivasi H₂SO₄ Variasi Suhu dan Waktu. *Simposium Nasional Teknologi Terapan*. 2: 31-38.
- Jankowska H, Swiatkowski A, Choma J. 1991. *Active Carbon*, Horwood, London.
- Jatmiko SY, Harsanti ES, Ardiwinata AN. 1999. Pencemaran pestisida pada agroekosistem lahan sawah irigasi dan tadah hujan di Jawa Tengah. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah, Bogor*. Hlm. 106-118.
- Koesoemadinata S. 1980. Pesticide as a major constrain in integrated agriculture-aquaculture farming system. *In: Pulin RSV, & Shahadeh ZH. (Eds). Integrated Agriculture-Aquaculture Farming System*. ICLARM Conference Proceeding. 4: 45-52.
- Laszlo K, Jospovits K, Tombacz E. 2001. Analysis of Active Sites on Synthetic Carbon Surfaces by Various Methods. *Analytical Sciences*. Supplement 17: i1741-i1744.
- Lutter S. 2000. Endocrine Disrupting Pesticides. *WWF North-East Atlantic Programme*. Germany. 2p. http://charlie-gibbs.org/charlie/NEA_Website/Publication/briefings/Cetaceans.pdf (Diakses tanggal 23 Mei 2020).
- McCarty B. 2015. Activated Charcoal for Pesticide Deactivation. http://media.clemson.edu/public/turfgrass/2015%20Pest%20Management/2015_act_charcoal.pdf. Diakses tanggal 23 Mei 2020.
- Mustaqim, Ma'aruf. 1990. Peranan analisis dampak lingkungan. Hlm. 695-710. *Dalam Buku Penggunaan Pestisida Dalam Perlindungan Tanaman Menuju Terwujudnya Pertanian Tangguh dan Kelestarian Lingkungan*. PT. Agricon Bogor.
- Nurdiansah H, Susanti D. 2013. Pengaruh variasi temperatur karbonisasi dan temperatur aktivasi fisika dari elektroda karbon aktif tempurung kelapa dan tempurung Kluwak terhadap Nilai Kapasitansi Electric Double Layer Capacitor (EDLC). *Jurnal Teknik POMITS*. 2(1): F13-F18.
- Nustini Y, Allwar A. 2019. Pemanfaatan limbah tempurung kelapa menjadi arang tempurung kelapa dan granular karbon aktif guna meningkatkan kesejahteraan Desa Watuduwur, Bruno, Kabupaten Purworejo. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 04 (03): 217-226.
- Ogawa M. 1994. Symbiosis of people and nature in the tropics: tropical agriculture using charcoal. *Farming Japan*. 28(5): 21-30.
- Oh BY. 2001. Pesticide Residues for Food Safety and Environment Protection. *FFTC Extension Bulletin*. 495: 1-13.
- Pari G, Tri WD, Mashato Y. 2009. Mutu arang aktif dari serbuk gergaji kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 27(4): 1-20.
- Setyono A, Suismono, Wibowo P. 2000. Pemanfaatan produk samping dan limbah padi. Hlm. 249-263. *Dalam Suwarno (Eds.) Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan*. Simposium Penelitian Tanaman Pangan IV. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan Bogor.
- Sidiq M. 2014. Prarancangan Pabrik Karbon Aktif dari Baggase Fly Ash (BFA) dengan Aktifasi Kimia menggunakan KOH Kapasitas 2.500 Ton/Tahun, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sipahutar D. 2012. Teknologi Briket Sekam Padi. *Balai Pengkajian Teknologi Riau*. <http://riau.litbang.deptan.go.id/ind/images/stories/PDF/teknologibriket.pdf>. (Diakses tanggal 22 April 2014).

- Soejitno J, Ardiwinata AN. 1999. Residu pestisida pada agroekosistem tanaman pangan. Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah. Bogor. Hlm. 72-90.
- Soejitno J. 2006. Pesticides residues on food crops and vegetables in Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*. 21(4): 124-132.
- Sudrajat R. 2011. Arang Aktif, Teknologi Pengolahan dan Masa Depan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Jakarta ISBN 978-979-3132-38-9. 56 Hlm.
- Tangendjaja B. 1991. Pemanfaatan Limbah Padi untuk Pakan. Hlm 963-997. *Dalam* Edi Soenarjo, Damardjati DS, Syam M. (Eds.) Padi. Buku 3. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan Bogor.
- Wahyuni S, Indratin, Harsanti ES. 2014. Efektifitas urea berlapis arang aktif yang diperkaya mikroba untuk menurunkan residu aldrin dan dieldrin di lahan sayuran. *Lingkungan Tropis*. 8(2): 125-134
- Weil RR, Islam KR, Stine MA, Gruver JB, Susan-Liebeg SE. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*. 18(1): 3-17.
- Wisjnuprpto. 1996. Bioremediasi, Manfaat dan Pengembangannya. Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan, Cibinong, 24-28 Juni 1996. Hlm. 180-191.