ULTRASOUND FREKUENSI RENDAH UNTUK MENURUNKAN RESIDU PESTISIDA MALATHION PADA AIR (KAJIAN AMPLITUDO)

Low Frequency Ultrasound to Reduce Malathion Pesticides Residues in Water (Effect of Amplitudo)

Vivien Fathuroya*, Sella Umy Hanik, Harijono, Novita Wijayanti

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

*Penulis Korespondensi: email: vivien@ub.ac.id

ABSTRAK

Pencemaran pada sumber air minum akibat residu pestisida komersial yang mengandung *malathion* dapat menyebabkan bahaya kesehatan. Kandungan *malathion* pada air dapat dikurangi menggunakan *ultrasound* frekuensi rendah. Akuabides yang telah ditambahkan pestisida *malathion* komersil sebanyak 500 ppm diberi perlakuan ultrasonik frekuensi 20 kHz selama 15 menit dengan variasi amplitudo 20, 60, 100%. Sampel yang telah diberi perlakuan *ultrasound*, diidentifikasi zat kimia yang dihasilkan dengan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS). Pengambilan sampel air baku di daerah Punten, Batu, Malang dilakukan dari 3 titik sumber air. Sampel air baku tersebut kemudian dilakukan pengujian kadar residu pestisida dengan GC-MS. Simulasi pembuatan sampel air dengan penambahan pestisida 500 ppm kemudian diberi perlakuan *ultrasound*, identifikasi penurunan kadar residu pestisida *malathion* dan produk sampingan yang dihasilkan setelah perlakuan *ultrasound* dan analisa hasil yang didapatkan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan frekuensi 20 kHz dan amplitudo 20% selama 15 menit terjadi degradasi *malathion*, dibuktikan dengan terbentuknya *malaoxon*. *Malaoxon* lebih toksik dibandingkan *malathion*, sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk menentukan *treatment* terbaik agar menghasilkan senyawa degradasi yang tidak toksik

Kata kunci : Air, GC-MS, Malathion, *Ultrasound*

ABSTRACT

The aim of this research is reducing malathion contain in commercial pesticide in water using low frequency ultrasound. Aquabides have been added to commercial malathion pesticide up to 500 ppm and treated using ultrasound frequency of 20 kHz for 15 minutes with the amplitude variations 20%, 60%, 100%. Samples were treated by ultrasound, identified by products produced by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Raw water sampling are taken in Punten, Batu, Malang. Raw water samples were then tested the levels of pesticide residues by GC-MS. The next Progress to be done is simulated water sample preparation with the addition of 500 ppm pesticides were then given an ultrasound treatment, identification of decreased levels of malathion pesticide residues and by products generated after ultrasound treatment and analysis of the results obtained. The simulation showed that provide frequency of 20 kHz and amplitude of 20% for 15 minutes, malathion degradation, evidenced by the formation of malaoxon. Malaoxon more toxic than malathion. Further study needed to determine the best treatment to produce compounds harmless

Keywords: Malathion, GC-MS, Ultrasound, Water

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu komponen penting dalam kehidupan setelah udara. Tersedianya air yang berkualitas akan menciptakan lingkungan yang baik. Air berperan penting bagi manusia, baik untuk kegiatan pertanian, industri, keperluan rumah tangga serta air minum. Berdasarkan data yang dimiliki oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air pada tahun 2015 kebutuhan air baku nasional mencapai 175 juta m³/tahun. Secara keseluruhan, total kebutuhan air baku mencapai 6.4 juta m³/tahun untuk memenuhi kebutuhan domestik, 143 juta m³/tahun untuk kebutuhan pertanian, dan 28 juta m³/tahun untuk kebutuhan industri. Pada tahun 2016, diperkirakan angka tersebut akan meningkat menjadi 56 juta m³/tahun, sedangkan pada tahun 2030 diperkirakan meningkat tajam menjadi 276 juta m³/tahun (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2015). Secara umum, lebih dari 50 persen kebutuhan air dipenuhi dari air tanah, air permukaan yang diolah dan mata air (Winter *et al.*, 1998; *United Nations Environment Programme*, 2003; UNICEF, 2012). Air yang digunakan harus memenuhi syarat baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya. Secara kualitas, air harus tersedia pada kondisi yang memenuhi syarat kesehatan dan kualitas air dapat ditinjau dari segi fisika, kimia, dan biologi.

Selama ini, kualitas air ditentukan dari parameter wajibnya seperti adanya logam berat, mikroorganisme, tingkat kekeruhan, pH, warna, dan suhu. Namun, parameter tambahan seperti kadar pestisida juga tidak kalah pentingnya. Penggunaan pestisida ini meningkat sejalan dengan meningkatnya kebutuhan manusia akan pangan sehingga pertanian tradisional berkembang menjadi pertanian agribisnis yang menerapkan berbagai teknologi termasuk pengendalian hama (Budiyo, 2012). Menurut *World Health Organization* (1998), batas toleransi konsentrasi *malathion* dalam air yaitu 0.1 µg/liter. Amerika telah melaporkan bahwa *malathion* pada air permukaan pada level 0.18 µg/liter dan pada air minum sebesar 0.1 µg/liter (*World Health Organization*, 2004; Newhart, 2006; Bradman *et al.*, 2008). Jatmiko *et al.* (1999) melakukan pengujian pada air sawah di Jawa Tengah, terdeteksi residu klorpirifos mencapai 0.0004-0.002 ppm dan diazinon 0.0005-0.0017 ppm, serta di Jawa Timur klorpirifos sebesar 0.0002 ppm (Harsanti *et al.*, 1999). Pengujian

air di Jawa Barat juga terdeteksi adanya residu klorpirifos sebesar 0.0008-0.0043 ppm dan diazinon sebesar 0.0032-0.0035 ppm (Ardiwinata *et al.*, 1999).

Berdasarkan hasil survei di lapang, jenis pestisida yang banyak digunakan oleh para petani buah dan sayur di Batu, Malang yaitu Fyfanon, Dursban, Sergap, Prevathon, Samite, Antonik, dan lainnya. Salah satu pestisida jenis organofosfat yaitu Fyfanon yang memiliki bahan aktif turunan heterosiklik dari organofosfat yaitu *malathion*. *Malathion* merupakan pestisida yang digunakan dalam pertanian untuk mengontrol serangga pada tanah dan dedaunan, hama pada kubis, bawang merah, dan tanaman ladang lainnya.

Efek samping dari pestisida baik pada manusia maupun mamalia lainnya, diantaranya efek kematian, efek sistemik (saluran pernapasan, darah, otot rangka, hati, ginjal, kelenjar hormon, sistem penglihatan, dan berat badan), efek imunologi, efek neurologi, efek reproduksi, efek dalam masa perkembangan, genotoksik, dan karsinogenitas (*World Health Organization*, 1998). Hal tersebut diakibatkan oleh efek *malathion* yang dapat mengganggu sistem syaraf melalui penghambatan AchE, yaitu enzim yang dibutuhkan oleh fungsi sistem syaraf (Budiyo, 2012). Selain mengganggu kesehatan, cemaran pestisida juga dapat menimbulkan permasalahan lingkungan. Permasalahan lingkungan utama akibat penggunaan pestisida organofosfat adalah pencemaran dipermukaan aliran air, bahkan jika meresap ke tanah akan meninggalkan residu di air tanah, sedangkan sumber air minum masyarakat Indonesia khususnya di Malang berasal dari air tanah atau sumber mata air. Malang merupakan daerah pertanian buah dan sayur dengan luas lahan sekitar 1250 hektar pada tahun 2014, sehingga tidak menutup kemungkinan adanya residu di air akibat penggunaan pestisida yang berlebihan pada lahan pertanian tersebut. Salah satu upaya untuk menurunkan residu pestisida adalah dengan aplikasi *ultrasound* (Mutiarani *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2011; Lozowicka *et al.*, 2016).

Gelombang *ultrasound* dipilih sebab memiliki kemampuan dalam memecah ikatan kimia pada suatu larutan. Kemampuan tersebut timbul karena adanya getaran dan panas yang timbul saat adanya gesekan antara gelombang dengan molekul larutan, yang biasa disebut kavitasi. Fenomena kavi-

tasi sebagai metode untuk degradasi pestisida bukanlah hal baru di negara berkembang (Doosti *et al.*, 2012). Menurut Dehghani dan Fadei (2013), degradasi pestisida dalam air (*malathion* dan *diazinon*) tertinggi pada waktu paparan 105 menit dengan frekuensi 130 kHz dan 500 W ($57.03 \pm 18.25\%$). Sama halnya dengan penelitian Zhang *et al.* (2010), degradasi *malathion* pada jus apel dengan perlakuan *ultrasound* frekuensi 25 kHz dan *output* energi 500 W selama 120 menit sebesar 41.7%, sehingga berdasarkan fenomena tersebut, dipilih gelombang *ultrasound* frekuensi rendah dengan variabel amplitudo untuk mengetahui efek amplitudo pada perlakuan *ultrasound* frekuensi rendah dalam air yang mengandung residu pestisida.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi pestisida komersil dengan bahan aktif *malathion* 440 g/l, N-heksan p.a, diklorometana p.a, asetonitril, natrium sulfat, akuabides, dan air baku (air sampel dari Batu, Malang).

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi satu set kromatografi gas (GC-MS merk Varian Agilent) yang dilengkapi kolom VF-5MS, *Ultrasonic Branson digital sonifier*, FTIR, *rotary evaporator*, timbangan analitik (AR2140 Ohaus), pH meter, termometer, alat-alat gelas seperti gelas ukur, erlenmeyer, labu ukur, corong pisah, labu bundar, botol sampel, pipet, serta *cool box*.

Metode

Preparasi Sampel

Preparasi sampel air dilakukan dengan penambahan 500 ppm (0.1136 ml) pestisida Fyfanon 440 WP yang mengandung bahan aktif *malathion* 440 g/l ke dalam akuabides 100 ml. Tiap sampel diberikan perlakuan *ultrasound*.

Aplikasi Ultrasound

Generator *ultrasound* dioperasikan pada frekuensi 20 kHz dengan variabel amplitudo dari 20%, 60%, dan 100%. Radiasi *ultrasound* dilakukan selama 15 menit. 100 ml larutan yang mengandung pestisida

ditempatkan pada bejana kaca dan diberi perlakuan radiasi *ultrasound*. Selama eksperimen, temperatur larutan harus diatur antara 4-50 °C dengan menghubungkannya pada sirkulator termostatik HX-1050. Setiap sampel yang dianalisis dilakukan triplet (Modifikasi Zhang *et al.*, 2011).

Ekstraksi Pestisida Pada Air

Metode LLE (*Liquid-Liquid Extraction*) yang digunakan modifikasi dari Zhang *et al.* (2010), Zhang *et al.* (2011), Sulaeman dan Ardiwinata (2008), serta Ardiwinata dan Nursyamsi (2012). Sampel air sebanyak 100 ml dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambah pelarut asetonitril 50 ml. Campuran dikocok kuat selama 15 menit. Tambahkan campuran n-heksan dan diklorometan 90:10 sebanyak 30 ml, kemudian dikocok kuat selama 3 menit, dan didiamkan sehingga terbentuk dua lapisan, yaitu n-heksan di bagian atas dan contoh air di bagian bawah. Contoh air selanjutnya ditampung dalam erlenmeyer, dan n-heksan ditampung dalam labu bundar. Proses ekstraksi diulangi dengan cara menambahkan n-heksan sebanyak 30 ml ke dalam sampel air. Selanjutnya, dikocok kuat lagi selama 3 menit, kemudian didiamkan. Setelah didiamkan, lapisan bagian bawah dibuang, sedangkan lapisan atas ditampung dalam labu bundar. Kombinasi fase n-heksan dilewatkan pada 5 g natrium sulfat dan dibuat konsentrat dengan *rotary evaporator* suhu 40 °C kecepatan 25 rpm hingga kira-kira mencapai 2 ml.

Analisis GC-MS

1 µl sampel diinjeksikan dalam GC-MS Varian Agilent dengan model *splitless*. Kolom yang digunakan yaitu VF-5MS. Helium digunakan sebagai gas pembawa dengan kecepatan alir 1.75 ml/menit. Suhu injektor 250 °C. Pada deteksi *malathion*, temperatur GC diatur dengan suhu awal 82 °C (tahan 5 menit), kecepatan 8 °C/menit; 280 °C (14.25 menit).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Air Baku

Pengambilan air baku di desa Punt-en, Batu, Malang dilakukan di tiga sumber air yaitu sumber air Banyuning, sumber air Ngesong, dan sumber air Plakaran yang merupakan sumber air yang digunakan oleh

masyarakat setempat untuk kebutuhan sehari-hari termasuk air minum. Pada ketiga sumber tersebut diambil 8 sampel air sebanyak 250 ml kemudian dikompositkan dan disimpan dalam *cool box*. pH air sebelum ekstraksi yaitu 6.6 dengan suhu 17 °C. Metode ekstraksi yang digunakan hasil modifikasi dari Zhang *et al.* (2011). Hasil ekstraksi kemudian dianalisis dengan GC-MS dan didapatkan hasil bahwa tidak terdeteksi adanya residu pestisida dalam air baku tersebut. Diduga, hal ini disebabkan oleh metode pengambilan dan ekstraksi yang kurang maksimal. Pengoperasian GC-MS yang kurang teliti juga menyebabkan tidak terdeteksinya residu pestisida, dibuktikan dengan adanya *noise* akibat adanya *impurities* pada sampel atau kondisi GC-MS yang belum siap injeksi.

Bahan aktif pada pestisida pada dasarnya merupakan senyawa yang mudah

terurai di lingkungan. Degradasi yang terjadi melalui proses kimia meliputi empat reaksi yaitu oksidasi, reduksi, hidrolisis, dan fotolisis. Oksidasi pestisida terjadi saat oksigen terlarut di lingkungan bereaksi dengan pestisida. Proses oksidasi juga dapat dipicu karena adanya oksigen singlet, ozon, hidrogen, peroksida, atau radikal hidroksi lainnya. Radikal hidroksi (OH) merupakan agen primer yang menyebabkan oksidasi kimia pestisida dalam air atau atmosfer. Radikal dapat terbentuk dari pestisida itu sendiri maupun molekul lain yang ada di lingkungan. Proses oksidasi di lingkungan dilakukan oleh *mixed function oxidases* (MFO). MFO merupakan sistem kompleks enzimatik dimana mengandung enzim yang disebut sitokrom P-450 yang responsif terhadap oksidasi senyawa lipofilik (Zacharia, 2011).

Gambar 1. Hasil GC residu *malathion* setelah perlakuan *ultrasound* amplitudo 20%

Gambar 2. Reaksi oksidasi *ultrasound* *malathion*

Tabel 1. Hasil pengukuran residu *malathion* setelah perlakuan *ultrasound* amplitudo 20%

Sampel	Rt (menit)	Luas area	Rerata
A ₁₁	22.04	908.64	377.45
A ₁₂	22.05	99.27	
A ₁₃	22.04	124.44	

Tabel 2. Hasil Pengukuran residu *malaoxon* setelah perlakuan *ultrasound* amplitudo 20%

Sampel	Rt (menit)	Luas area	Rerata
A ₁₁	9.76	42.09	53.11
A ₁₂	9.76	41.02	
A ₁₃	9.76	76.23	

Reduksi pestisida merupakan reaksi kimia dimana substrat (pestisida) mengalami reduksi selama proses oksidasi. Agen reduksi dalam lingkungan biasanya adalah +H, sedangkan untuk proses hidrolisis, tergantung pada pH dimana pestisida bereaksi dengan air (ion hidrogen dan ion hidroksi). Hidrolisis merupakan reaksi yang banyak terjadi pada pestisida di lingkungan. Sebagian besar dari organofosfat dan karbamat menunjukkan reaksi yang responsif terhadap hidrolisis pada kondisi alkali (Zacharia, 2011).

Fotodegradasi atau fotolisis merupakan reaksi pemecahan atau transformasi pestisida oleh sinar matahari yang menyebabkan putusannya ikatan kimia. Molekul organik menyerap foton dan menjadi lebih reaktif untuk melepas elektron sehingga terjadi perubahan bentuk molekul. Fotolisis merupakan reaksi yang penting untuk mendegradasi molekul organik di permukaan atmosfer, lingkungan perairan, daun-daunan, dan permukaan tanah. Keempat reaksi tersebut dapat menyebabkan degradasi pada pestisida di air sehingga saat pengujian dengan GC-MS tidak terdeteksi residu pestisidanya (Zacharia, 2011).

Analisis Sampel Pestisida *Malathion*

Pembuatan larutan pestisida dilakukan sesuai prosedur pada diagram alir, dimana masing-masing merek pestisida dilarutkan pada 100 ml akuabides dengan

konsentrasi 500 ppm. Metode ekstraksi yang dilakukan adalah hasil dari modifikasi Zhang *et al.* (2010) dan Zhang *et al.* (2011), kemudian dianalisis dengan GC-MS.

Hasil dari analisa GC-MS sampel *malathion* dengan perlakuan *ultrasound* frekuensi 20 kHz dan amplitudo 20% selama 15 menit menunjukkan terjadinya degradasi pada senyawa *malathion*. Hal tersebut ditunjukkan dengan terbentuknya *malaoxon* yang merupakan produk degradasi dari *malathion* akibat desulfurasi oksidatif (Zhang *et al.*, 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Zhang *et al.* (2010) dengan aplikasi *ultrasound* pada jus apel yang mengandung residu *malathion* dan klorpirifos juga menunjukkan terbentuknya *malaoxon* sebagai hasil degradasi *malathion*. Reaksi oksidasi *ultrasound* dari *malathion* dapat dilihat pada Gambar 2. Reaksi desulfurisasi oksidatif ini merupakan lepasnya ikatan C-S pada molekul akibat oksidasi-dekomposisi yang disebabkan oleh radikal hidroksil. *Malathion* memiliki tekanan uap yang rendah (5.3×10^{-3} Pa) sehingga memungkinkan berada diantara area gas-liquid dari kavitasi gelembung, dimana reaksi radikal hidroksil yang paling utama selama radiasi *ultrasound*. Menurut Dehghani dan Fadei (2013), proses dekomposisi *malathion* dapat digambarkan menggunakan efektivitas radiasi *ultrasound* dengan pembentukan radikal hidroksil. Radikal hidroksil terbentuk saat fase uap panas, yang memungkinkan bereaksi langsung saat itu, berdifusi dan bereaksi dalam fase cair. Radikal hidroksil dan *malathion* bereaksi dengan menambahkan hidrogen terpisah pada ikatan ganda.

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa *peak malathion* terdeteksi saat waktu retensi rata-rata 22.041 menit dan *malaoxon* pada waktu retensi rata-rata 9.763 menit, seperti yang terlihat pada Tabel 2. Luas area yang paling besar yaitu *malathion*, rata-rata sebesar 377.449 dan *malaoxon* hanya 53.114. Luas area ini menunjukkan konsentrasi dari senyawa tersebut, dapat dilihat bahwa konsentrasi tertinggi yaitu *malathion*. Hal ini diakibatkan karena amplitudo yang diaplikasikan hanya 20%. Sama halnya dengan energi yang diberikan, laju degradasi *malathion* 2.8 kali lebih baik pada perlakuan ultrasonik 500 W dibandingkan 100 W (Zhang *et al.*, 2010). Semakin tinggi amplitudo yang diberikan, semakin baik laju degradasinya. Ketika energi yang diberikan pada sampel semakin tinggi,

Gambar 3. Spektrum GC-MS *malathion* berdasarkan NIST library

Gambar 4. Spektrum GC-MS butenedioic acid, dietil ester berdasarkan NIST library

Gambar 5. NIST library dari *malaoxon*

pembentukan dan pemecahan gelembung kavitasi akan semakin cepat. Semakin tingginya radikal hidroksil yang terbentuk akan bereaksi dengan lebih banyak senyawa pestisida dalam sampel.

Dekomposisi molekul diawali dengan pemecahan ikatan P-S-C dari *leaving group*. Pemecahan ikatan P-S mengawali terbentuknya fotoproduk, yaitu dietil (metil sulfonil) dan 2-hidroksil-3-tionil-2-butenadietil ester. Pada jalur kedua meliputi terputusnya ikatan S-C, yang mengawali terbentuknya substituen berbeda yaitu butena dietil ester (Kralj *et al.*, 2007).

Spektrum GC-MS pada Gambar 4 menunjukkan senyawa dietil ester, dimana spektrum yang terdeteksi mirip dengan spektrum GC-MS *malaoxon*, sehingga dimungkinkan spektrum GC-MS tersebut merupakan spektrum *malaoxon*. Hal tersebut diperkuat dengan salah satu sinonim dari *malaoxon* yang ada di NIST library adalah dietil ester. Pada spektrum massa *malaoxon*, fragmen ion pada m/z 127 membentuk ion etil oksonium melalui hilangnya C_2H_4 dan H_2O berturut-turut, siklisasi, dan pembentukan kembali. Fragmen ion m/z 99 terbentuk dari hilangnya C_2H_4 dari fragmen ion m/z 127 (Zhang *et al.*, 2010).

Malaoxon merupakan analog oksigen dari *malathion* yang dapat terbentuk selama oksidasi *malathion*. *Malaoxon* adalah metabolit aktif penghambat kolinesterase. Hal ini mengindikasikan bahwa *malaoxon* merupakan senyawa toksik hasil degradasi *malathion*. Di Amerika telah dilakukan observasi pada burung yang dipaparkan *malaoxon*, dimana terjadi pertumbuhan bulu yang abnormal dan perubahan bentuk paruh. Efek akut pada spesies burung saat dipaparkan *malathion* sebanyak 0.001-0.72 mg/kg dan 0.01-18.1 mg/kg (kronis) (Blus dan Henny, 1997; Newhart, 2006;).

SIMPULAN

Aplikasi *ultrasound* dalam degradasi kadar *malathion* dalam air memiliki pengaruh yang nyata. Perlakuan *ultrasound* dengan frekuensi 20 kHz dan amplitudo 20% selama 15 menit menunjukkan terjadinya degradasi *malathion*, dibuktikan dengan terbentuknya *malaoxon* yang terdeteksi saat analisis GC-MS dengan waktu retensi 9.763 menit. Terben-

tuknya *malaoxon* ini akibat adanya kavitasi gelembung sehingga terbentuk radikal hidroksil yang dapat mendegradasi pestisida dalam air melalui reaksi desulfurisasi oksidatif. *Malaoxon* lebih toksik dibandingkan *malathion* sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk menentukan *treatment* terbaik agar menghasilkan senyawa degradasi yang tidak toksik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiwinata, A, N, Jatmiko, S, Y, Harsanti, E, S. 1999. Monitoring residu insektisida di jawa barat. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca pada Lahan Sawah*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor
- Ardiwinata, A, N, Nursyamsi, D. 2012. Residu pestisida di sentra produksi padi di jawa tengah. *Jurnal Pangan*. 21(1):39-58
- Bradman, A, Salvatore, A, L, Boeniger, M, Castorina, R, Snyder, J, Barr, D, B, Jewell, N, P, Baird, G, K, Striley, C, Eskenazi, B. 2008. Community-based intervention to reduce pesticide exposure to farmworkers and potential take-home exposure to their families. *J. Expos. Sci. Environ. Epidemiol*. 19:79-89
- Budiyo. 2012. Kajian Sistematis Dampak Pestisida Diazinon Terhadap Manusia, Mamalia Lainnya dan Lingkungan. Skripsi. UI. Jakarta
- Blus, L, J, Henny, C, J. 1997. Field studies on pesticides and birds: unexpected and unique relations. *Ecol. Appl*. 7:1125-1132
- Dehghani, M, H, Fadei, A. 2013. Sonodegradation organophosphorus pesticides in water. *Environment Protection Engineering*. 39(4):5-14
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2015. Rencana strategis ditjen sda 2015-2019. Dilihat 30 Maret 2016. <http://sda.pu.go.id/uploads/file/RENCANA_STRATEGIS_DITJEN_SDA_PUPR_2015-2019/>
- Harsanti, E, S, Jatmiko, S, Y, Ardiwinata, A, N. 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, pp. 119-128

- Jatmiko, S, Y, Harsanti, E, S, Ardiwinata, A, N. 1999. Pencemaran pestisida pada agroekosistem lahan irigasi dan tadah hujan di Jawa Tengah. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca pada Lahan Sawah*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor, pp. 1-14
- Kralj, M, B, Franko, M, Trebse, P. 2007. Photodegradation of organophosphorus insecticides—investigations of products and their toxicity using gas chromatography–mass spectrometry and AChE-thermal lens spectrometric bioassay. *Chemosphere*. 67(1):99-107
- Lozowicka, B, Jankowska, M, Hrynko, I, Kaczynski, P. 2016. Removal of 16 pesticide residues from strawberries by washing with tap and ozone water, ultrasonic cleaning and boiling. *Environ. Monit. Assess.* 188(51):2-19
- Mutiarani, Irsyad, M, Trisnobudi, A. 2009. Iradiasi Ultrasonik Dalam Menurunkan Kekeruhan Air. Skripsi. ITB. Bandung
- Newhart, K. 2006. Environmental fate of malathion. Dilihat 20 Februari 2016. <http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/efate_malathion.pdf>
- Sulaeman, E, Ardiwinata, A, N. 2008. Residu organoklorin pada tanah dan air sawah di provinsi Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumber Daya Lahan Pertanian (Buku III)*, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor, pp. 209-216
- UNICEF. 2012. Progress on drinking water and sanitation. Dilihat 20 Februari 2016. <<https://www.unicef.org/media/files/JMPreport2012.pdf>>
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2003. Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and options for management. Dilihat 20 Februari 2016. <http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Groundwater_INC_cover.pdf>
- Winter, T, C, Harvey, J, W, Franke, O, L, Alley, W, M. 1998. Ground Water and Surface Water A Single Resource. Dilihat 20 Februari 2016. <<https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/pdf/circ1139.pdf>>
- World Health Organization. 1998. Environmental Health Criteria 198 for Diazinon. Dilihat 20 Februari 2016. <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc198.htm>>
- World Health Organization. 2004. Malathion in drinking water. Dilihat 20 Februari 2016. <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/malathion.pdf>
- Zacharia, J, T. 2011. Identity, Physical and Chemical Properties of Pesticides. Dilihat 20 Februari 2016. <<http://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-trends-in-pesticides-analysis/identity-physical-and-chemical-properties-of-pesticides>>
- Zhang, Y, Xiao, Z, Chen, F, Ge, Y, Wu, J, Hu, X. 2010. Degradation behavior and products of malathion and chlorpyrifos spiked in apple juice by ultrasonic treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*. 17(1):72-77
- Zhang, Y, Hou, Y, Chen, F, Xiao, Z, Zhang, J, Hu, X. 2011. The degradation of chlorpyrifos and diazinon in aqueous solution by ultrasonic irradiation: Effect of parameters and degradation pathway. *Chemosphere*. 82(8):1109-1115