

PENGARUH INSEKTISIDA FENITROTHION
DALAM AIR IRADIASI GAMMA

ERMIN KATRIN W*., WNARTI ANDAYANI*
DAN HENDIG WINARNO*

PENGURAIAN INSEKTISIDA FENITROTION DALAM AIR DENGAN IRADIASI GAMMA

Ermin Katrin W.* , Winarti Andayani* dan Hendig Winarno*

ABSTRAK

PENGURAIAN INSEKTISIDA FENITROTION DALAM AIR DENGAN IRADIASI GAMMA. Iradiasi gamma terhadap fenitrotion dalam larutan air telah dipelajari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh aerasi dan pH pada radiolisis larutan fenitrotion. Iradiasi dilakukan terhadap larutan fenitrotion (55,5 ppm) pada dosis 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 kGy dengan laju dosis 5 kGy/jam. Variasi pH yang digunakan adalah 3; 5,6; 7; 9; dan 12. Larutan yang telah diiradiasi dianalisis dengan spektrofotometer uv-vis untuk mengetahui perubahan serapan larutan fenitrotion yang tersisa, sedangkan pada kondisi optimum hasil penguraian fenitrotion dianalisis dengan kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT). Penguraian fenitrotion dalam larutan yang diiradiasi dengan aerasi lebih baik dibandingkan dengan iradiasi tanpa aerasi. Pada dosis rendah (2-4 kGy) persentase serapan menurun dengan cepat dalam media asam, sedangkan pada media netral dan basa penurunan serapan berlangsung perlahan-lahan. Nilai G (penguraian) fenitrotion berkisar antara 0,18 dan 0,32 per 100 eV. Penguraian fenitrotion optimum adalah pada iradiasi dosis 6 kGy disertai aerasi dan pH larutan 5,6. Pada kondisi tersebut, sebanyak 97% fenitrotion telah terurai dan pH larutan menurun menjadi 3. Hal ini menunjukkan bahwa fenitrotion telah terurai menjadi asam-asam organik. Asam-asam organik yang terdeteksi dengan alat KCKT adalah asam oksalat (23 ppm) dan asam formiat (2,5 ppm).

ABSTRACT

DEGRADATION OF FENITROTHION INSECTICIDE IN AQUEOUS SOLUTION BY GAMMA IRRADIATION. The gamma irradiation of fenitrothion in aqueous solution was studied. The aim of this investigation is to study the effects of aeration and pH on

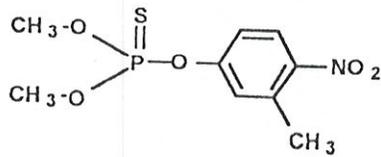
* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta.

irradiation-induced degradation of fenitrothion in aqueous solution. Un-aerated and aerated fenitrothion solutions (55.5 ppm) were irradiated with doses of 0, 2, 4, 6, 8, and 10 kGy at dose rate of 5 kGy/h. The pH used were 3, 5.6, 7, 9, and 12. The change of absorption of irradiated sample was measured using spectrophotometer uv-vis. The concentration of fenitrothion in solution after irradiation and the degraded product was analyzed using high performance liquid chromatography (HPLC). The degradation of irradiated sample with aeration was higher than that without aeration. At low doses (2-4 kGy), the percentage of absorption decreased fastly at acid pH, while at neutral and basic pH, the percentage of absorption decreased slowly. G-values of the degradation were 0.18 - 0.32 per 100 eV. The optimum irradiation dose for fenitrothion degradation was found to be 6 kGy with aeration at pH 5.6. At this condition, about 97% of fenitrothion could be degraded and the pH of solution decreased to 3. This indicated that the fenitrothion was degraded into organic acids. The organic acids observed by HPLC were oxalic acid (23 ppm) and formic acid (2.5 ppm).

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan berbagai industri kimia yang makin pesat, maka penggunaan bermacam-macam senyawa organikpun meningkat. Salah satu produk yang makin meluas penggunaannya ialah pestisida yang banyak digunakan dalam bidang pertanian. Dengan meningkatnya produksi pestisida, maka akan meningkat pula air buangan baik yang berasal dari bahan baku maupun yang berasal dari bahan aktif pada saat membuat formulasi. Jika hal tersebut tidak ditangani secara optimal, keberadaannya di lingkungan akan menimbulkan pencemaran yang cukup berbahaya. Pada umumnya limbah industri diolah dengan cara fisika, kimia, maupun biologi [1]. Namun cara tersebut seringkali tidak memberikan hasil yang memuaskan, terutama untuk senyawa-senyawa yang mengandung cincin aromatis, sehingga perlu dicari alternatif lain yang lebih efektif dan efisien.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, iradiasi gamma mampu menguraikan pencemar organik. GETOFF [2] menggunakan iradiasi gamma untuk menguraikan



Gambar 1. Struktur kimia fenitrothion

Insektisida tersebut cukup banyak digunakan di Indonesia untuk membasmi hama tanaman kedelai, jagung, kopi, kelapa, bawang merah, kacang hijau, lada, teh, dan tembakau [10]. Tujuan penelitian ini ialah untuk mempelajari pengaruh penambahan udara dan pH pada radiolisis larutan fenitrothion. Diharapkan, iradiasi gamma dapat menguraikan senyawa fenitrothion menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti asam oksalat, asam maleat, asam propionat, dan asam formiat, sehingga dapat diterapkan pada limbah yang mengandung insektisida fenitrothion dan sejenisnya.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Bahan uji yang digunakan adalah insektisida Sumithion 50 EC (mengandung bahan aktif fenitrothion 555 g/L) yang diperoleh dari pasaran. Pelarut yang digunakan ialah akuades, diklorometan teknis, dan metanol berkualitas *HPLC grade*. Asam oksalat, asam formiat, asam suksinat, asam maleat, asam asetat, dan asam propionat digunakan sebagai standar eksternal.

Peralatan. Peralatan yang digunakan antara lain fasilitas Irpasena dengan sumber ^{60}Co (44 kCi pada bulan April 1996), pompa udara, *rotary evaporator*, pH-meter, spektrofotometer uv-vis 160 merk Shimadzu, kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT) merk Shimadzu LC-9A yang dilengkapi dengan detektor ultra violet (uv), *chromatopac* CR-4A, kolom Li-Chrosorb RP 18, kolom asam-asam organik Shodex KC-811, dan alat-alat gelas.

Pembuatan Larutan Fenitrothion. Disiapkan larutan fenitrothion dalam 5 buah erlenmeyer, masing-masing sebanyak 500 ml larutan Sumithion 50 EC dengan konsentrasi 55 ppm. Masing-masing larutan diukur dan ditepatkan pH-nya pada pH

ak 3 → perbandingan
 500 ml → 55 ppm
 → 55000

3; 5,6; 7; 9; dan 12 dengan menambahkan larutan H_2SO_4 6 N atau NaOH 30%. Setiap perlakuan pH, larutan dibuat duplo.

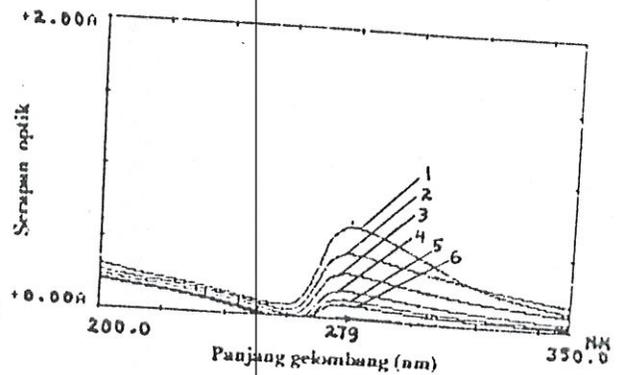
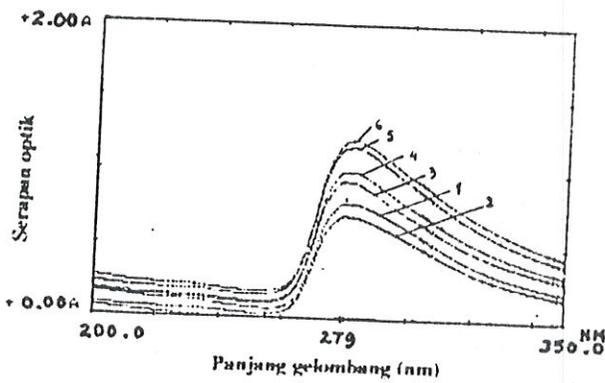
Iradiasi Larutan Fenitrothion. Larutan tersebut di atas diiradiasi dengan sinar gamma ^{60}Co , suhu ruang 35°C , laju dosis 5 kGy/jam dengan variasi dosis 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 kGy tanpa dan dengan aerasi. Laju dosis ditentukan dengan dosimeter Fricke [$G(\text{Fe}^{3+}) = 15,6$].

Analisis Larutan Setelah Iradiasi. Untuk mengetahui penurunan serapan larutan akibat penguraian oleh iradiasi gamma, maka larutan hasil iradiasi diukur serapannya dengan spektrofotometer uv-vis. Analisis penurunan konsentrasi fenitrothion dilakukan dengan KCKT yang dilengkapi detektor uv pada panjang gelombang 280 nm, kolom Li-Chrosorb RP 18 (diameter = 4 mm, panjang = 150 mm), dan pelarut asetonitril/air : 7/3. Pengukuran dengan KCKT dilakukan setelah larutan diekstraksi 3 kali dengan diklorometan, kemudian diganti dengan pelarut metanol. Perubahan pH larutan setelah iradiasi juga ditentukan dengan alat pH-meter. Analisis asam-asam organik dilakukan dengan metode KCKT menggunakan kolom Shodex KC-811, detektor uv pada panjang gelombang 210 nm, dan eluen larutan asam fosfat 0,03%. Asam formiat, asam asetat, asam propionat, asam oksalat, asam suksinat, dan asam maleat digunakan sebagai standar eksternal.

HASIL PERCOBAAN

Pengaruh Iradiasi Gamma Pada Perubahan Spektrum Larutan Fenitrothion.
Pada Gambar 2 dan 3 disajikan spektrum serapan larutan fenitrothion (55,5 ppm) tanpa dan dengan aerasi yang diiradiasi dengan dosis berbeda (2,4,6,8, dan 10 kGy). Larutan fenitrothion yang tidak diiradiasi mempunyai satu pita serapan yang sangat kuat pada daerah uv dengan panjang gelombang 279 nm yang ditunjukkan oleh kurva 1 pada Gambar 2 dan 3. Pita serapan ini menunjukkan adanya cincin aromatis pada senyawa fenitrothion dan menurun secara bertahap dengan bertambahnya dosis iradiasi. Pada iradiasi larutan fenitrothion tanpa aerasi, intensitas serapan makin
mulai dosis 4 kGy

meningkat dengan bertambahnya dosis (Gambar 2), sebaliknya pada larutan yang diiradiasi dengan aerasi intensitas serapan makin menurun. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan udara sangat penting pada pengrusakan cincin aromatis molekul fenitroton.



Keterangan gambar:
 1 = 0 kGy; 2 = 2 kGy; 3 = 4 kGy; 4 = 6 kGy; 5 = 8 kGy; 6 = 10 kGy

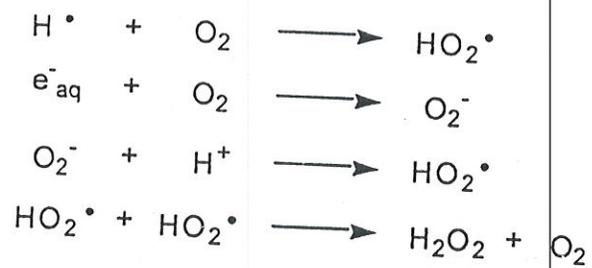
Gambar 2. Spektrum serapan larutan fenitroton tanpa aerasi, tidak diiradiasi, dan diiradiasi dengan dosis yang berbeda; pH = 5,6; [Fenitroton] = 55,5 ppm

Gambar 3. Spektrum serapan larutan fenitroton yang diaerasi, tidak diiradiasi, dan diiradiasi dengan dosis yang berbeda; pH = 5,6; [Fenitroton] = 55,5 ppm

Hal ini disebabkan produk primer hasil iradiasi terhadap larutan tanpa aerasi hanya mampu menyerang cincin aromatis struktur molekul fenitroton tanpa dapat teroksidasi cukup kuat, akibat kurangnya oksigen terlarut. Keadaan ini menyebabkan fenitroton tidak dapat terurai, seperti terlihat pada spektrum intensitas serapannya yang makin meningkat dengan bertambahnya dosis iradiasi. Meningkatnya serapan larutan hasil iradiasi tersebut diduga karena adanya reaksi antara senyawa-senyawa aditif yang terdapat dalam larutan formulasi fenitroton. Sebelum iradiasi, senyawa-senyawa aditif ini tidak memberikan serapan pada panjang gelombang uv, tetapi setelah bereaksi dengan produk primer hasil radiolisis air kemungkinan akan menghasilkan senyawa baru yang mempunyai serapan di daerah uv. Jika ada oksigen terlarut dalam larutan yang diiradiasi, reaksi oksidasi meningkat dengan meningkatnya dosis iradiasi (Gambar 3). Hasil analisis secara kuantitatif

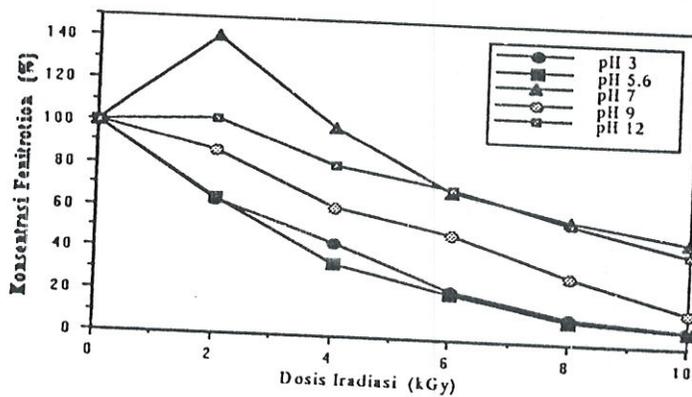
ket. tambahan

berdasarkan intensitas larutan pada panjang gelombang 279 nm menunjukkan bahwa iradiasi dengan dosis 10 kGy dengan aerasi pada pH 5,6 telah dapat merusak struktur molekul fenitroton, sehingga intensitas serapannya hanya tersisa 10% atau intensitas serapan telah berkurang sebesar 90%. Kenyataan ini dapat diterangkan dengan adanya pembentukan radikal HO_2^\bullet dan $\text{O}_2^{\bullet-}$ dalam larutan yang mengandung oksigen terlarut menurut reaksi berikut ini [11];



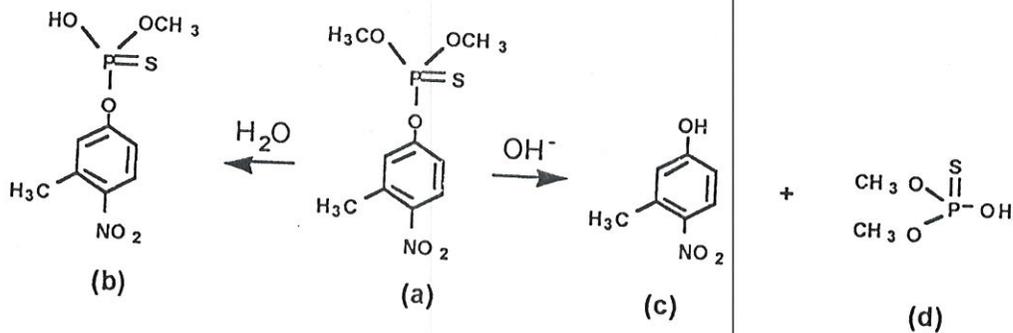
Hasil reaksi di atas meningkatkan jumlah oksidator, sehingga reaksi oksidasi terhadap fenitroton menjadi meningkat dengan bertambahnya dosis. Hal ini ditunjukkan oleh menurunnya intensitas larutan, karena fenitroton yang terurai makin banyak.

Pengaruh pH pada Radiolisis Larutan Fenitroton. Iradiasi larutan fenitroton (55,5 ppm) sampai dosis 10 kGy dengan aerasi dipelajari pada pH berbeda yaitu dari pH 3 sampai dengan 12. Hasil yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh iradiasi gamma terhadap absorbansi larutan fenitroton dalam air yang diaerasi pada pH berbeda [Fenitroton] awal = 55,5 ppm

Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada pH 3 dan 5,6 persentase serapan larutan lebih rendah dibandingkan serapan pada pH 7-12. Ini menunjukkan bahwa molekul fenitrotion terurai lebih efektif pada pH asam. Penguraian berkurang pada pH lebih tinggi yaitu netral dan basa. Perbedaan sifat asam-basa pada larutan mempengaruhi struktur molekul fenitrotion [12] dan spesies radikal primer [11]. Menurut LACORTE dkk. [12], hidrolisis fenitrotion (a) dalam air pada pH 5 menghasilkan dimetil fenitrotion (b), 3-metil-4-nitrofenol (c), dan asam dimetil fosforotioat (d) (Gambar 5).



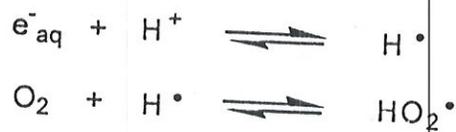
Gambar 5. Hidrolisis fenitrotion dalam air pada pH 5

Berdasarkan Gambar 4, pH larutan berpengaruh pada penguraian fenitrotion akibat iradiasi gamma dengan adanya udara. Besarnya pengaruh pH tersebut dapat dilihat pada nilai G (G value) larutan yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai G dekomposisi fenitrotion dalam pelarut air dengan iradiasi gamma.

pH	Nilai G
3	0,27
5,6	0,32
7	0,19
9	0,19
12	0,18

Nilai G penguraian fenitroton yang diiradiasi menunjukkan banyaknya molekul fenitroton yang terurai atau mengalami perubahan kimia akibat iradiasi gamma dengan energi setiap 100 eV. Pada Tabel 1 terlihat bahwa nilai G terbesar adalah iradiasi pada pH asam yaitu sebesar 0,32 pada pH 5,6 dan 0,27 pada pH 3. Menurut EL-ASSY [13] hal ini disebabkan pada media asam yang diaerasi terjadi transformasi seperti berikut ;



Hal ini juga didukung oleh pernyataan yang dikemukakan oleh THOMAS dalam BURTON dkk. [14], bahwa konsentrasi radikal OH dan HO₂ meningkat karena terjadinya reaksi antara H[•] dan OH[•] dengan H₂O₂ seperti berikut :

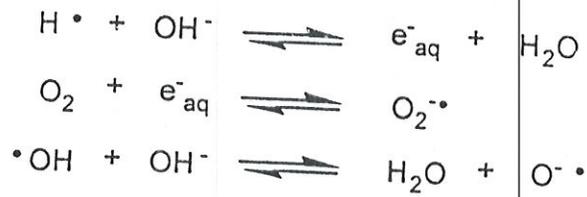


Akibat reaksi di atas jumlah spesies oksidator yang terbentuk pada pH 5,6 meningkat, sehingga makin besar kemungkinan penyerangan terhadap cincin aromatis fenitroton oleh oksidator, fenitroton semakin banyak terurai. Jika pH diturunkan lagi menjadi 3, nilai G (penguraian) sedikit menurun menjadi 0,27. Hal ini disebabkan reaksi e⁻_{aq} dengan O₂ kalah berkompetisi dengan H⁺, sehingga dengan berkurangnya reaksi e⁻_{aq} dengan O₂ akan menurunkan jumlah spesi oksidator O₂^{-•} yang terbentuk.

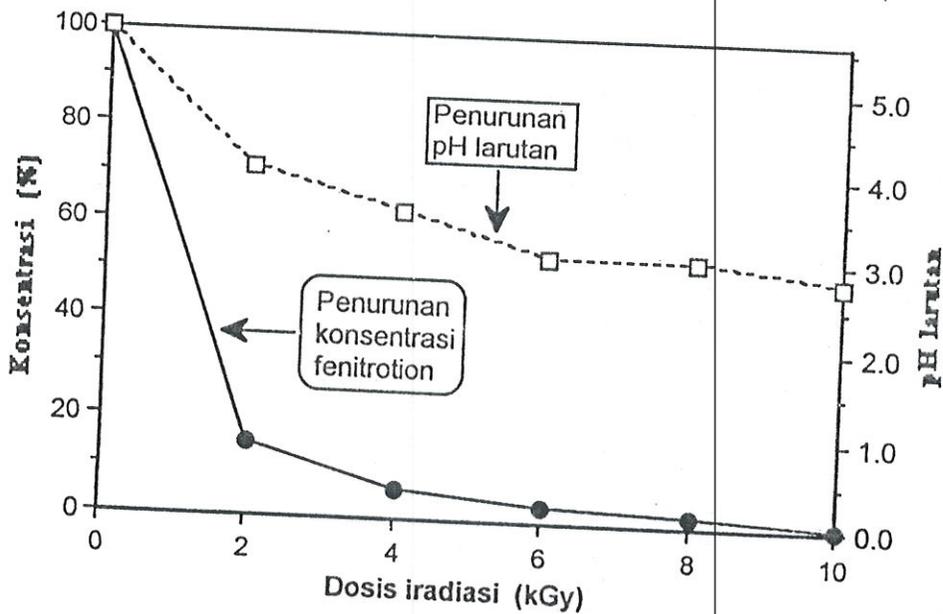
Pada pH netral jumlah produk primer tidak cukup untuk menguraikan fenitroton seperti halnya pada pH asam, sehingga persentase penguraian menurun. Pada pH basa (9 dan 12) penguraian fenitroton berlangsung makin lambat. Menurut EL-ASSY [13] pada media basa yang diaerasi, terjadi transformasi berikut;



Pada pH basa $O_2^{\cdot-}$ kurang reaktif menyerang fenitrotion dibandingkan dengan HO_2^{\cdot} dan $\cdot OH$, dengan kata lain e^-_{aq} mengalami deaktivasi. Hal ini didukung pula oleh pernyataan SPINKS [11] dan BURTON dkk. [14] bahwa pada pH basa, radikal OH dan molekul H_2O_2 terdisosiasi menjadi $O^{\cdot-}$ dan H^+ seperti reaksi berikut:



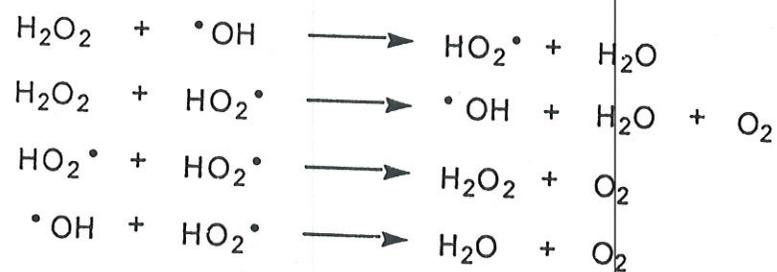
Hal ini mengakibatkan penguraian fenitrotion pada media asam lebih tinggi daripada media pH netral dan basa, karena konsentrasi spesies oksidator makin berkurang pada pH netral, dan pada pH basa akan lebih jauh berkurang dengan adanya disosiasi $\cdot OH$ dan H_2O_2 .



Gambar 6. Pengaruh iradiasi gamma terhadap pH dan konsentrasi larutan fenitrotion dalam air yang diaerasi [Fenitrotion] awal = 55,5 ppm

Perubahan pH, Konsentrasi Fenitrotion, dan Hasil Penguraiannya. Larutan fenitrotion hasil iradiasi pada kondisi optimum diukur perubahan pH-nya pada setiap dosis iradiasi dan dianalisis lebih lanjut menggunakan KCKT. Hasil analisis disajikan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa konsentrasi fenitrotion makin menurun dengan meningkatnya dosis iradiasi. Dosis iradiasi 6, 8

dan 10 kGy telah dapat menguraikan fenitrotion masing-masing sebesar 97%, 98%, dan 99%. Oleh karena itu iradiasi dengan aerasi pada dosis 6 kGy merupakan dosis efektif untuk menguraikan fenitrotion dalam air. pH larutan juga mengalami penurunan sampai pH 2,8 pada dosis 10 kGy. Penurunan pH ini disebabkan terurainya molekul fenitrotion menjadi molekul yang mempunyai berat molekul lebih rendah, seperti asam-asam organik [12]. Hasil analisis fenitrotion dengan KCKT seperti yang terlihat pada Gambar 6 memberikan gambaran yang lebih jelas dibandingkan hasil pengukuran pengurangan intensitas serapan seperti pada Gambar 4. Mulai dosis 2 kGy, konsentrasi fenitrotion menurun dengan tajam sebesar 86% dan mencapai optimum pada dosis 6 kGy sebesar 97%. Dosis selanjutnya, yaitu 8 dan 10 kGy menurunkan konsentrasi fenitrotion dengan perlahan yaitu 98 dan 99%. Adanya oksigen dan spesies oksidator yang terbentuk dari reaksi $\cdot\text{OH}$ dengan H_2O_2 yang terakumulasi selama iradiasi menyebabkan terjadinya reaksi berikut [13]:



Selanjutnya spesies yang bersifat sebagai oksidator hasil reaksi di atas dengan adanya oksigen akan mempercepat terjadinya reaksi oksidasi sehingga fenitrotion dapat terurai menjadi asam-asam organik. Pernyataan ini juga diperkuat dengan hasil analisis asam-asam organik larutan yang diiradiasi menggunakan KCKT yang disajikan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa fenitrotion terurai menjadi asam oksalat, asam maleat, dan asam formiat akibat iradiasi gamma. Salah satu kromatogram larutan yang diiradiasi dengan aerasi pada dosis 6 kGy dan pH larutan 5,6, serta kromatogram larutan asam organik standar disajikan pada Gambar 7. Pada dosis 6 kGy telah terbentuk asam oksalat sebanyak 23 ppm dan asam formiat 2,5

ppm. Konsentrasi asam formiat sangat kecil, karena asam tersebut tidak stabil dan mudah teroksidasi membentuk CO₂ dan H₂O.

Tabel 2. Hasil analisis asam-asam organik larutan fenitrotin yang diiradiasi pada berbagai dosis.

Dosis (kGy)	Konsentrasi asam-asam organik (ppm)		
	Asam oksalat	Asam maleat	Asam formiat
0	tak terdeteksi	tak terdeteksi	tak terdeteksi
2	11	0,18	4,5
4	18	0,14	4,5
6	23	tak terdeteksi	2,5
8	25	0,18	4,5
10	27	tak terdeteksi	1,7

Gambar 7. Kromatogram KCKT senyawa fenitrotion setelah iradiasi pada dosis 6 kGy, pH larutan = 5,6; [Fenitrotion] awal = 55,5 ppm
(a). Standar asam-asam organik
(b). Larutan fenitrotion setelah iradiasi; (i) 15 µl, (ii) 2 µl

Mekanisme Penguraian Fenitrothion. Setelah fenitrothion mengalami hidrolisis menjadi 3-metil-4-nitrofenol (Gambar 5), selanjutnya dengan adanya radikal OH dan oksigen, senyawa tersebut akan terurai lebih lanjut menjadi asam-asam organik. Perkiraan mekanisme penguraian fenitrothion menjadi asam oksalat dan formiat disajikan pada Gambar 8.

Mula-mula radikal OH akan menyerang cincin aromatis dari senyawa 3-metil-4-nitrofenol menghasilkan radikal hidroksi-3-metil-4-nitrofenol (I) yang kemudian bereaksi dengan oksigen terlarut dan dilanjutkan dengan pemutusan ikatan C-C sehingga terbentuk asam 2-hidroksi-4-metil-5-nitro mukonat (II). Senyawa II ini kemudian bereaksi dengan elektron terhidrat dan dengan adanya ion hidrogen membentuk asam 2-hidroksi-4-metil mukonat (III) dengan melepaskan gas NO_2 . Radikal OH kembali menyerang senyawa III dan dengan adanya oksigen terlarut terjadi oksidasi lebih lanjut serta pemutusan ikatan C-C menghasilkan radikal asam 2-hidroksi asetat (IV) dan asam 2-metil maleat (V). Pada proses oksidasi selanjutnya senyawa IV akan teroksidasi menjadi asam oksalat (VI) yang kemudian teroksidasi lebih lanjut menjadi asam formiat (VII) dan gas CO_2 . Senyawa V akan bereaksi dengan radikal OH kemudian terjadi reaksi oksidasi serta pemutusan ikatan C-C menghasilkan asam 2-hidroksi asetat (IV) dan asam piruvat (VIII). Seperti proses di atas, senyawa IV akan teroksidasi menjadi asam oksalat (VI) dan selanjutnya menjadi asam formiat (VII) dan gas CO_2 . Demikian juga asam piruvat (VIII) juga mengalami oksidasi menjadi asetaldehid (IX) dengan membebaskan gas CO_2 .

KESIMPULAN

Penguraian insektisida fenitrothion dalam air dengan iradiasi gamma secara efektif dapat dilakukan dengan penambahan aerasi pada pH larutan 5,6 dan dosis 6 kGy. Pada kondisi tersebut fenitrothion telah terurai sebanyak 97%. Hasil penguraian larutan fenitrothion 55,5 ppm yang terdeteksi adalah asam oksalat sebesar 23 ppm

dan asam formiat sebesar 2,5 ppm. Nilai G (penguraian) fenitroton berkisar antara 0,18 - 0,32 per 100 eV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdr. Armanu, Sdr. Syurhubel, dan Sdr. Christina Tri Suharni yang telah membantu penelitian ini, sehingga dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. ECKENFELDER, W.W., PATOCZKA, J., and WATKIN, A.T., Wastewater treatment, *Chemical Engineering*, September 2 (1985) 60.
2. GETOFF, N., Radiation-induced degradation of water pollutants - state of the art, *Radiat. Phys. Chem.*, 47 (1996) 581.
3. QUINT, R. M., PARK, H. R., KRAJNIK, P., SOLAR, S., GETOFF, N., SEHESTED, K., Gamma radiolysis and pulse radiolysis of aqueous 4-chloroanisole, *Radiat. Phys. Chem.*, 47 (1996) 835.
4. LEPINE, F.L., BROCHU, F., MILLOT, S., MAMER, O.A., and PEPIN, Y., Gamma irradiation-induced degradation of DDT and its metabolites in organic solvents, *J. Agric. Food Chem.*, 42 (1994) 2012.
5. ANDAYANI, W., SUMATRA, M., dan WINARNO, H., "Pengaruh sinar UV dan ZnO pada penguraian diazinon", (Ris. Simposium IV APISORA 13-15 Des.1989) BATAN, Jakarta (1990) 209.
6. ANDAYANI, W., ERIZAL, WINARNO, H., dan SUMATRA, M., "Penguraian insektisida MIPC dengan iradiasi menggunakan sinar UV", (Ris. Pertemuan Ilmiah APISORA dalam bidang Industri dan Hidrologi, Jakarta 3-4 Desember 1991), BATAN, Jakarta (1992) 195.
7. WINARNO, H., ANDAYANI, W., dan SUMATRA, M., "Penguraian insektisida BPMC dalam air dengan sinar UV", (Ris. pertemuan Ilmiah APISORA, PAIR-BATAN, Jakarta 13-15 Desember 1994), BATAN, Jakarta, Buku II (1995) 227.
8. PIKAEV, A.K., and SHUBIN, V.N., Radiation treatment of liquid wastes, *Radiat. Phys. Chem.*, 24 (1984) 77.
9. ANONIM, Farm Chemicals Handbook, (Meister R.T. ed.), Meister Pub. Co. (1985) C104.
10. ANONIM, Pestisida untuk Pertanian dan Kehutanan, (Ditjen. Pertanian Dit. Tanaman Pangan eds.), Jakarta (1995) 131.

11. SPINKS, J.W.T., and WOODS, R.J., An Introduction to Radiation Chemistry, New York, John Wiley & Sons (1976) 256.
12. LACORTE, S. and BARCELO, D., Rapid Degradation of fenitrothion in estuarine waters, *J. Agric. Chem.*, **28** (1994) 1159.
13. EL-ASSY, N.B., EL-WAKELL, E.I., and FATTAH, A.A.A., The degradation of triazo dye chlorantine fast green BLL in aqueous solutions by gamma radiation - III, *Appl. Radiat. Isot.*, **42** (1991) 89.
14. BURTON, M. and MAGEE, J., Advances in Radiation Chemistry, Vol. 1, John Wiley & Sons Inc. (1969) 109.