

Penentuan pestisid organoklorin (OCP) dalam ikan air tawar dari saluran pengairan padi menggunakan kaedah Gas Kromatografi-Tandem Spektrometer Jisim Terkunci Masa (RTL-GC-MS/MS)

(Determination of organochlorine pesticides (OCP) in freshwater fish from paddy irrigation canals using the Retention Time-Locked Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometer (RTL-GC-MS/MS) method)

Jamaliah Jaafar, Ngan Chai Keong, Mohammad Shahid Shahrin, Norashikin Basirun, Azrizal A. Rashidi, Nur Syafiqah Adnan, Nur Syarafana M. Tajuddin, Siti Nur Sumayyah Zakman dan Aida Zabri

Kata kunci: *Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometer (GCMS-MS)*, ikan air tawar, organoklorin, pemantauan tindak balas berganda (MRM), pestisid, sawah padi

Pengenalan

Pestisid daripada kumpulan organoklorin (OCP) adalah salah satu jenis racun makhluk perosak yang terdiri daripada sebatian organik pencemar yang menunjukkan sifat pengekalan yang tinggi, atau juga disebut sebagai *persistent organic pollutant* (POP). Secara amnya, sebatian POP ini mempunyai sifat berikut: 1) Terurai dan berada sangat lama di dalam tanah, udara, air dan juga berupaya wujud di dalam tubuh makhluk hidup dalam tempoh waktu yang lama, 2) Berupaya masuk ke dalam rantai makanan dan terkumpul pada jaringan lemak, sehingga sukar untuk larut di dalam air, 3) Penyebaran secara meluas melalui udara dan air. Disebabkan sifat yang ditunjukkan ini, OCP telah dikategorikan sebagai toksik, kekal lama dalam persekitaran, dan bioakumulatif, menyebabkan penggunaannya dalam sektor pertanian telah diharamkan kerana kebimbangan terhadap risiko bahaya kepada manusia dan alam sekitar. Walaupun penggunaan OCP secara amnya telah diharamkan di Malaysia, namun dikhuatiri pestisid tersebut masih digunakan secara haram oleh petani berikutan keberkesannya mengawal serangan penyakit tertentu, terutama di kawasan penanaman padi.

Oleh yang demikian, pemantauan terhadap residu OCP dalam ekosistem pertanian dan persekitaran perlu diberi perhatian kerana faktor mobiliti dan pengekalan bahan tersebut akan memberi impak yang besar kerana penggunaannya melibatkan kawasan penanaman padi di Malaysia yang merangkumi keluasan kira-kira 526,000 hektar, di mana kawasan tersebut merupakan ekosistem utama bagi hidupan ikan darat (ikan di dalam sawah bendang) dan ikan air tawar (ikan di dalam sungai) di sekitar kawasan penanaman padi tersebut. Kitaran residu OCP di kawasan sawah padi ini mempunyai kebarangkalian yang sangat tinggi untuk berakhir dalam sistem badan ikan-ikan di sekitar kawasan tersebut. Kesan dan risikonya terhadap kesihatan bertambah berbahaya sekiranya ikan-ikan tersebut dijadikan sumber makanan oleh penduduk setempat kerana terdapat kajian

menunjukkan ia mempunyai kemungkinan bertindak sebagai mutagen atau karsinogen. Justeru, kajian ini dilaksanakan bagi memantau dan menilai kewujudan residu OCP dalam ikan yang merupakan salah satu sumber protein utama penduduk setempat di kawasan penanaman padi di Malaysia.

Secara umum, pemantauan ini melibatkan pengesanan dan penilaian kepekatan *maximum residual limit* (MRL) ke atas 12 jenis OCP iaitu Lindane, Heptachlor, Aldrin, Alpha endosulfan, Endosulfan, Beta endosulfan, Endosulfan sulfate, DDE-p,p', Dieldrin, Endrin, DDT-p,p' dan Mirex dalam sampel-sampel ikan yang diambil. Kaedah penentuan menggunakan alat Gas Kromatografi- Tandem Spektrometer Jisim Terkunci Masa (RTL-GC-MS/MS) dengan pengenalanpastian (analisis kualitatif) dilaksanakan melalui perbandingan masa pengekalan (RT) puncak sampel tidak diketahui (*unknown*) dengan rujukan piawai (*standard*) yang ditetapkan.

Kaedah penentuan pestisid organoklorin (OCP)

Pensampelan ikan

Sampel diambil dari tiga lokasi saluran air buang yang digunakan sebagai saluran keluar daripada sistem pengairan padi di sekitar kawasan sawah padi di Sekinchan. Spesies ikan seperti ikan puyu (*Anabas testudineus*), ikan tilapia (*Oreochromis mossambicus*), ikan lampam jawa (*Borbanymus gonionotus*), ikan keli (*Clarius macrocephalus*), ikan baung (*Hemibagrus nemurus*) dan ikan belida (*Notopterus notopterus*) ditangkap terus dari lokasi pengambilan sampel. Pensampelan dilakukan semasa musim penanaman pertama iaitu Februari hingga Mei 2024. Semua sampel telah dibawa ke Makmal Pestisid, Pusat Penyelidikan Sains Tanah, Air dan Baja, Ibu Pejabat MARDI menggunakan bekas yang mengandungi ais (*cooler box*) untuk langkah penjagaan sampel. Di makmal, hanya bahagian ikan yang boleh dimakan sahaja diproses dan digunakan untuk analisis, manakala bahagian lain dibuang. Bagi mencegah penguraian residu pestisid, sampel yang telah diproses disimpan dalam peti sejuk beku pada suhu -18°C sehingga kerja analisis dijalankan.

Penyediaan larutan piawai

Larutan piawai yang mengandungi 12 OCP iaitu Lindane, Heptachlor, Aldrin, Alpha-endosulfan, Endosulfan, Beta-endosulfan, Endosulfan sulfat, DDE-p,p', Dieldrin, Endrin, DDT-p,p' dan Mirex disediakan dalam pelarut asetonitril. Satu siri piawaian kalibrasi sebanyak tujuh titik dengan julat kepekatan 2 – 200 ng/mL telah dibangunkan bagi tujuan pengesanan dan kuantifikasi sebatian.

Pengekstrakan residu OCP

Residu OCP daripada bahagian ikan yang boleh dimakan diekstrak menggunakan kaedah QuEChERS (*Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe*) seperti kaedah yang digunakan oleh Anastassiades et al. (2023). Sampel yang telah dihomogen (15 g) ditimbang ke dalam tiub berkapasiti 50 mL. Bahan reagen magnesium sulfat (MgSO_4) 6 g dan sodium asetat (CH_3COONa) 1.5 g ditambah ke dalam tiub

bersama 15 mL pelarut asetonitril (CH_3CN), digoncang dan diempar (4,000 rpm) selama 4 minit. Hasil ekstrak (8 mL) dipindah ke dalam tiub 15 mL dan ditambah bahan penjerap PSA (400 mg), C18 (400 mg) dan MgSO_4 (1,200 mg) dan diempar sekali lagi dengan kadar 13,000 rpm selama 2 minit. Langkah seterusnya adalah dengan memindahkan 2 mL daripada ekstrak ini ke dalam tiub sampel dan sedia untuk disuntik ke peralatan GC-MSMS untuk bacaan.

Instrumentasi

Analisis penentuan pestisid dijalankan menggunakan peralatan GC model Agilent 7890B (Walnut, Greek, CA, USA) yang dipasang dengan pengesan spektrometri jisim tandem (Agilent 7010B GC/TQ). Pemisahan kromatografi bagi residu OCP dilakukan menggunakan turus kapilari silika dengan kumpulan berfungsi HP5-MS u.i (15 m $\times$ 0.53 mm i.d, 0.5 μm ketebalan filem). Helium (He) digunakan sebagai gas pembawa, manakala nitrogen (N_2) digunakan sebagai gas pelengkap. Keadaan pemisahan ditetapkan seperti berikut: Suhu awal turus 60 $^\circ\text{C}$ selama 1 minit, meningkat kepada 170 $^\circ\text{C}$ pada kadar 40 $^\circ\text{C}/\text{min}$ dan seterusnya kepada 310 $^\circ\text{C}$ pada kadar 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ (3 minit). Kaedah pemantauan dilakukan menggunakan pemantauan tindak balas berganda (MRM) dengan masa penahanan terkunci [*retention time lock* (RTL)]. Parameter ini diambil daripada perisian MassHunter, dengan Klorpirifos Metil ($\text{C}_9\text{H}_{11}\text{Cl}_3\text{NO}_3\text{PS}$) digunakan sebagai sebatian rujukan.

Pengenalpastian OCP yang dikaji, disahkan apabila masa penahanan [*retention time* (RT)] sampel yang menunjukkan kesepadanan yang konsisten dengan rujukan piawai yang digunakan. Tempoh RT ialah masa yang diambil oleh suatu analit untuk bergerak sepanjang turus kromatografi bermula daripada titik suntikan sehingga direkodkan oleh pengesan. Walaupun menggunakan alat gas kromatografi (GC) dan turus kromatografi yang sama, pelbagai faktor boleh mempengaruhi tempoh pergerakan analit melalui turus, menyebabkan bacaan RT tidak tetap. Faktor-faktor ini termasuk kadar aliran gas, turun naik suhu dalam ketuhar dan turus kromatografi, kemerosotan turus dan panjang turus yang menyukarkan perbandingan RT. Bahkan menggunakan GC yang sama pada hari yang berbeza juga boleh mengakibatkan variasi kecil dalam RT untuk sebatian yang sama. Kaedah RTL menyediakan pendekatan yang boleh dipercayai dan fleksibel untuk meminimumkan masa dan usaha yang diperlukan untuk mengemas kini RT selepas penyelenggaraan rutin kromatografi. Ia juga membolehkan sistem GC yang berbeza dalam makmal yang sama atau di seluruh rangkaian makmal untuk mengekalkan RT yang konsisten apabila menggunakan kaedah GC yang sama. Konsistensi ini memudahkan perbandingan data serta menyederhanakan prosedur kawalan kualiti.

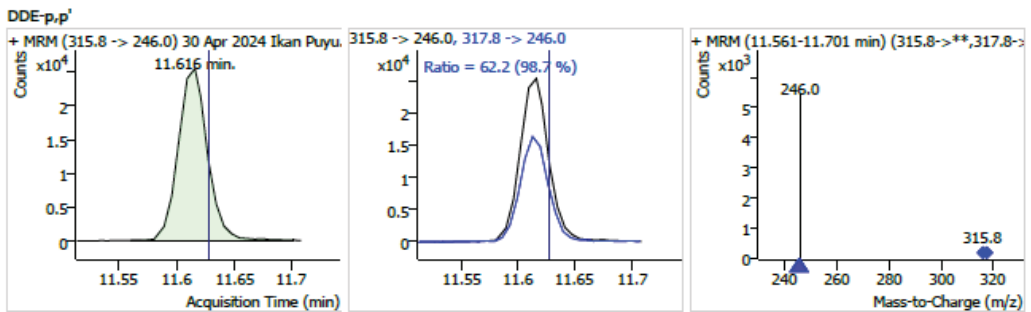
Dapatan kajian pengesanan dan penilaian MRL OCP dalam ikan
Pengesanan residu OCP dalam sampel ikan

Pengenalpastian kualitatif 12 bahan aktif pestisid jenis OCP telah berjaya dilakukan menggunakan peralatan GCMS/MS dengan mod MRM dan penetapan RTL. Parameter RTL-GC-MS/MS yang optimum bagi pengesanan OCP ditunjukkan seperti dalam *Jadual 1*.

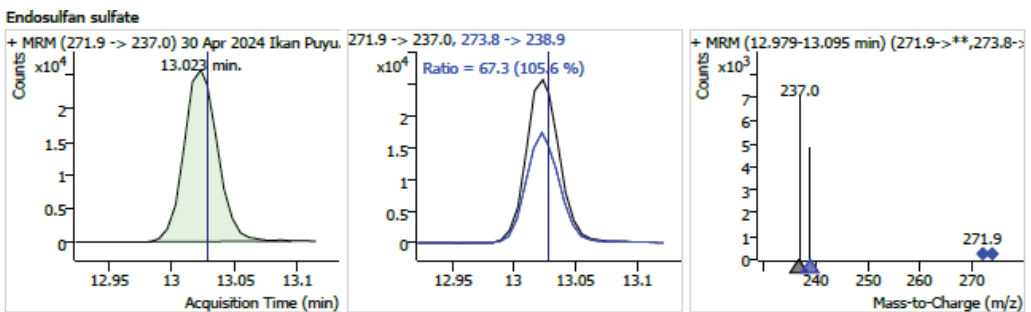
Jadual 1. Parameter RTL—GCMS/MS yang optimum bagi pengesanan OCP

Pestisid organoklorin (OCP) kuantifikasi pengesanan	Ion prekursor	Ion produk	Masa penahanan, RT (min)	Tenaga pelanggaran, CE (eV)	Masa bertahan (Dwell) (ms)
Lindane (1)	216.90	181.00	8.15	5.00	139.10
Lindane (2)	181.00	145.00	8.15	15.00	139.10
Heptachlor (1)	273.70	238.90	9.34	15.00	132.50
Heptachlor (2)	273.70	236.90	9.34	15.00	132.50
Aldrin (1)	262.90	192.90	9.94	15.00	79.10
Aldrin (2)	254.90	220.00	9.94	35.00	79.10
Endosulfan (1)	206.90	171.90	11.24	20.00	149.10
Endosulfan (2)	158.90	89.00	11.24	35.00	149.10
Alpha endosulfan (1)	194.90	160.00	11.26	5.00	149.20
Alpha endosulfan (2)	194.90	159.00	11.26	5.00	149.20
DDE-p,p' (1)	317.80	246.00	11.61	15.00	61.40
DDE-p,p' (2)	315.80	246.00	11.61	15.00	61.40
Dieldrin (1)	271.00	241.00	11.72	5.00	127.70
Dieldrin (2)	262.90	193.00	11.72	35.00	127.70
Endrin (1)	262.80	193.00	12.12	35.00	149.10
Endrin (2)	244.80	173.00	12.12	30.00	149.10
Beta endosulfan (1)	206.90	172.00	12.27	15.00	149.10
Beta endosulfan (2)	194.90	158.90	12.27	10.00	265.80
Endosulfan sulfate (1)	273.80	238.90	13.02	15.00	99.00
Endosulfan sulfate (2)	271.90	237.00	13.02	20.00	99.00
DDT-p,p' (1)	237.00	165.20	13.02	20.00	99.10
DDT-p,p' (2)	235.00	165.20	13.02	20.00	99.10
Mirex (1)	271.80	236.80	14.87	20.00	79.10
Mirex (2)	236.90	149.90	14.87	30.00	79.10

Kuantifikasi pestisid dicapai dalam julat linear lengkung kalibrasi 2 – 200 ng/mL dengan nilai kesepadanan (R^2) melebihi 0.99. Analisis telah mengesahkan kehadiran sebatian OCP dalam sampel ikan dengan nilai residu OCP dalam sampel ikan ditunjukkan oleh kromatografi seperti dalam *Rajah 1* dan *Rajah 2* dan nilai kuantitatif residu OCP yang dikesan pada setiap sampel dinyatakan seperti dalam *Jadual 2*. Daripada 12 bahan aktif pestisid jenis OCP yang disaring, sebatian yang dikesan adalah endosulfan sulfat dan DDE-p,p', masing-masing dengan kepekatan antara 0.012 – 0.047 ng/g dan 0.0155 – 0.629 ng/g. Sebatian DDE-p,p' dikenal pasti dalam semua spesies ikan dari semua lokasi pensampelan dengan kepekatan tertinggi 0.629 ng/g direkodkan pada spesies *Hemibagrus nemurus* di Plot 1 pensampelan di Sekinchan. Sementara itu, endosulfan sulfat menunjukkan kepekatan relatif tertinggi iaitu 0.047 ng/g dalam spesies *Anabas testudineus*.



Rajah 1. Pengesanan pestisid DDE-p,p' dalam sampel ikan Anabas testudineus (masa penahanan 11.166 min; m/z 315.8 → 246.0 untuk kuantifikasi dan 317.8 → 246.0 untuk pengesanan)



Rajah 2. Pengesanan pestisid Endosulfan sulfate di dalam sampel ikan Anabas testudineus (masa penahanan 13.023 min; m/z 271.9 → 237.0 untuk kuantifikasi dan 273.8 → 238.9 untuk pengesanan)

Jadual 2. Kepekatan OCP yang ditemui pada sampel ikan di kawasan kajian

Pestisid	Plot 1 (2024.04.03)				Plot 2 (2024.05.14)				Plot 3 (2024.05.04)			
	HN	OM	AT	NN	HN	AT	BG	AT	BG	AT	CM	
	Kepekatan (ng/g)											
Lindane	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Heptachlor	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Aldrin	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
α endosulfan	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
B endosulfan	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Endosulfan sulphate	0.014	0.012	0.047	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.012	< 0.01	0.037	0.036	
Endosulfan	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
DDE-p,p'	0.629	0.180	0.440	0.066	0.015	0.017	0.070	0.090	0.259			
Dieldrin	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Endrin	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
DDT-p,p'	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Mirex	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Nota singkatan nama saintifik ikan:

HM = *Hemibagrus nemurus*, ON = *Oreochromis mossambicus*, AT = *Anabas testudineus*, NN = *Notopterus notopterus*,

BG = *Borborymus gonionotus* dan CM = *Clarias macrocephalus*

Keputusan kajian ini membuktikan bahawa residu OCP masih wujud dalam persekitaran akuatik dengan variasi kepekatan dipengaruhi oleh spesies ikan serta lokasi pensampelan. Kejayaan pengesanan ini disokong oleh keberkesanan kaedah analisis yang digunakan, iaitu mampu mengesan pelbagai jenis racun perosak termasuk sebatian polar dan bergantung kepada pH. Kaedah yang digunakan adalah ringkas, kos efektif, meminimumkan kemungkinan ralat analisis dan hanya memerlukan penggunaan pelarut dalam jumlah kecil (15 mL asetonitril). Selain itu, ia memerlukan penggunaan radas kaca yang minimum, menjadikannya lebih praktikal.

Had residu maksimum (MRL)

Hasil kajian menunjukkan antara spesies yang telah diuji, pencemaran OCP yang paling tinggi dikesan pada spesies *Anabas testudineus* (AT) di mana kepekatan nilai purata yang diperolehi ialah 0.182 ng/g untuk pestisid jenis DDE- p,p', manakala nilai 0.032 ng/g pula diperolehi untuk endosulfan sulfat. Mengikut undang-undang Malaysia, pencemaran pestisid dalam sesuatu makanan dikawal oleh nilai had residu maksimum (MRL) bawah Peraturan dan Akta Makanan 1983. Walau bagaimanapun, merujuk kepada akta tersebut, tiada nilai yang diwartakan mengenai had pendedahan yang dibenarkan dan had MRL untuk akuakultur di Malaysia. Sebagai rujukan, tahap DDE-p,p' dan endosulfan sulfat yang dikesan dalam ikan air tawar dibandingkan dengan nilai MRL yang ditetapkan oleh *The Japan Food Chemical Research, Food and Chemical Research Foundation* (FFCR), di mana nilai yang dibenarkan ialah 3.0 µg/g untuk DDE-p,p' dan tiada nilai rujukan MRL untuk endosulfan sulfat untuk Malaysia dan negara luar. Berdasarkan analisis yang dijalankan, nilai pestisid yang dikesan pada sampel ikan adalah lebih rendah secara relatif dengan nilai yang dirujuk untuk perbandingan. Walau bagaimanapun, penemuan pestisid terlarang dalam sampel ikan menunjukkan keperluan pemantauan dan kajian lanjutan yang perlu melibatkan kawasan pensampelan yang lebih luas dan dilakukan pada pelbagai jenis ikan. Kajian tambahan juga perlu merangkumi analisis kolerasi dengan faktor lain seperti pencemaran pestisid dalam air, sedimen, tumbuhan akuatik, mobiliti dan tempoh pengekalan pestisid dalam persekitaran bagi mengukuhkan dapatan ini.

Kesimpulan

Berdasarkan kajian penentuan pestisid organoklorin (OCP) ini, dapatan telah mengesahkan kehadiran endosulfan sulfat dan DDE-p,p' dalam sampel ikan yang diambil dari lokasi pensampelan di kawasan sawah padi sekitar Sekinchan. Dapatan ini menunjukkan bahawa spesies akuatik di habitat ini terdedah secara langsung kepada residu OCP. Kehadiran sebatian ini, walaupun pada kepekatan rendah, mencerminkan potensi pengumpulan bio dan biomagnifikasi melalui rantai makanan yang seterusnya meningkatkan risiko terhadap kesihatan manusia sekiranya ikan-ikan di kawasan tersebut dijadikan sumber makanan. Penemuan ini juga mengesahkan bahawa, walaupun OCP telah diharamkan penggunaannya di Malaysia, residu berkenaan

masih wujud dalam persekitaran akuatik. Keadaan ini berkemungkinan berpunca daripada penggunaan intensif pada masa lalu serta kemungkinan amalan pertanian tidak sah yang berterusan. Oleh itu, kajian lanjut dengan liputan lokasi lebih meluas dan melibatkan komponen persekitaran lain seperti air, sedimen dan tumbuhan akuatik adalah diperlukan bagi memahami dinamik pencemaran ini secara menyeluruh.

Bibliografi

- Anastassiades, M., Lehotay, S. J., Stainbahr, D., & Schenck, F. J. (2023). Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce. *J. AOAC*.
- Calo, S., Romo, S., Soria, J., & Pico, Y. (2021). Pesticide contamination in water and sediment of the aquatic system of the Natural Park of the Albufera (Spain) during the rice cultivation period. *Science of the Total Environment*, 774, 145009.
- Chen, D. F., Meier, P. G., & Hilbert, M. S. (1984). Organochlorine pesticide residues in paddy fish in Malaysia and associated health risk to farmers. *Bulletin of World Health Organization*, 62 (2), 251–253.
- Food and Chemical Research Foundation [FFCR]. Residue limits of agricultural chemicals. Diperoleh dari <https://www.ffcr.or.jp/en/zanryu/index.html>.
- Jayaraj, R., Meggha, P., & Sreedey, P. (2017). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms, and their fate in the environment. *Interdiscip Toxicol*, 9(3–4), 90–100.
- Ngu, J. W., Hua, A. K., Zulayati, Z., & Muhammad Noor Hazwan, J. (2024). Review on organochlorine pollution in Malaysia, *Sustainable Environmental*, 1(1), 32–44.
- Rohani, M. F. (2023). Pesticides toxicity in fish: Histopathological and hemato-biochemical aspects – A review. *Emerging Contaminants*, (9), 100234.
- Relicardo, M. C., Mae, R. C., & Margarita, T. A. (2015). Important findings and recommendations on chemical use in aquaculture in Southeast Asia. *Southeast Asian Fisheries Development Center*. Aquaculture Department. Philippines.
- Sarena, C. O., Ashraf, S., & Siti Aisyah. T. (2019) The status of the paddy and rice industry in Malaysia. *Khazanah Research Institute*.

Ringkasan

Sampel isi ikan daripada enam spesies yang diambil telah dianalisis untuk menguji kehadiran pestisid organoklorin (OCP) menggunakan Gas Kromatografi-Tandem Spektrometri Jisim dengan Masa Penahanan Terkunci (RTL-GC-MS/MS) dalam mod pemantauan reaksi berganda (MRM). Spesies ikan yang terlibat untuk kajian ini ialah *Anabas testudineus*, *Oreochromis mossambicus*, *Borborymus gonionotus*, *Clarias macrocephalus*, *Hemibagrus nemurus* dan *Notopterus notopterus* yang diperolehi daripada tiga lokasi berbeza parit salir buang sistem pengairan padi di jelapang padi Sekinchan. Sebanyak 12 OCP telah disaring daripada sampel ikan tersebut. Keputusan kajian menunjukkan kepekatan endosulfan sulfat dan DDE yang berbeza

telah dikesan di pelbagai spesies dan lokasi. Kaedah RTL ini meningkatkan kecekapan keseluruhan analisis dengan menyediakan pendekatan yang mudah dan boleh disesuaikan mengikut keperluan analisis. Kaedah ini juga menjimatkan masa dan mengurangkan kerumitan yang kebiasaannya dialami semasa proses penilaian data.

Summary

The muscle tissues of six fish species were subjected to analysis for the presence of organochlorine pesticides (OCPs) utilising Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry with Retention Time Locked (RTL-GC-MS/MS) in Multiple Reaction Monitoring (MRM) mode. The fish species investigated included *Anabas testudineus*, *Oreochromis mossambicus*, *Borborymus gonionotus*, *Clarias macrocephalus*, *Hemibagrus nemurus* and *Notopterus notopterus* all of which were collected from three distinct locations along the drainage canals of a paddy irrigation system. A total of 12 organochlorine pesticides were screened in the samples. Varying concentrations of endosulfan sulfate and DDEs were detected across different species and locations. The RTL method provides a convenient and adaptable tool that can significantly reduce the time and complexity typically associated with data comparison, thereby enhancing the efficiency of analysis.

Pengarang

Jamaliah Jaafar (ChM.)

Pusat Penyelidikan Sains Tanah, Air dan Baja

Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor

E-mel: jmai@mardi.gov.my

Ngan Chai Keong (ChM. Dr.), Mohammad Shahid Shahrin (ChM.),

Norashikin Basirun, Azrizal A. Rashidi, Nur Syafiqah Adnan, Nur Syarafana

M. Tajuddin, Siti Nur Sumayyah Zakman dan Aida Zabri

Pusat Penyelidikan Sains Tanah, Air dan Baja

Ibu Pejabat MARDI, Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor