

Defamation Revisited and the Concept and Punishment of Al-Qadzf
Amiruldin Md Sham & Mohd Sabri Yusof

Introduction to New Iterative Method
Mat Salim Selamat

A Review of Trade Dispute Settlement in the Malaysian Manufacturing Sector
Mohd Zahid Laton

Interactive Whiteboard as a Teaching Aid
Nor Zalina Ismail, Mohd Rizal Razak, Azlini Razali & Mahfudzah Othman

Perkembangan Kaedah Analisis Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH) dalam Air, Sedimen & Tanah
Siti Norhafizah Khazaai

A Comparative Study between Two Landslide Events at the Sultan Ahmad Shah Mosque, Jengka, Pahang
Rohaya Alias & Mohd Fairuz Bachok

Klasifikasi Hujan Pencetus Tanah Runtuh
Mohd Fairuz Bachok & Rohaya Alias

The Importance of Communication in Our Life
Norlaili Harun

Penghasilan Estolide Berasaskan Asid Risinoleik Ricinus Communis
Nazrizawati Ahmad Tajuddin

Adapting Cooperative Learning (Jigsaw) in Teaching
Mohd Norafizal A.Aziz, Hasnizawati Hashim & Rozieana A.Halid

Perkembangan Kaedah Analisis Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH) dalam Air, Sedimen & Tanah

Siti Norhafiza Mohd Khazaai

ABSTRAK

Perkembangan satu kaedah analisis hidrokarbon aromatik polisiklik dalam matriks air, sedimen dan tanah di kawasan perindustrian telah berjaya dijalankan. Dalam kajian ini, dua kaedah pengekstrakan bagi matriks yang berbeza telah dipilih iaitu pengestrakan fasa pepejal untuk matriks air sementara pengekstrakan soxhlet untuk matriks sedimen dan tanah. Menerusi kajian sampel pakuan, didapati nilai peratus dapatan semula bagi matriks air adalah dalam julat 85.8 – 95.3% sementara bagi matriks sedimen dan tanah adalah dalam julat 86.2 - 103.1%. Peratusan ini menunjukkan kaedah ini adalah baik. Kajian ini telah dijalankan dengan menggunakan kromatografi gas dengan pengesan pengionan nyala (GC-FID) dengan nilai lengkungan kalibrasi adalah $r^2 = 0.9540$ hingga 0.9981 bagi matriks air dan $r^2 = 0.9883$ hingga 0.9972 bagi matriks tanah dan sedimen. Kajian telah dijalankan di kawasan perindustrian Senawang Negeri Sembilan yang mana tiga matriks sampel iaitu air, sedimen dan tanah dianalisis. Hasil analisis kajian tersebut memberikan bacaan purata seperti berikut; julat purata kepekatan sebatian PAH bagi matriks air ialah di antara $0.016 \mu\text{g/L}$ - $0.031 \mu\text{g/L}$, matriks sedimen ialah di antara 26.64 ng/g - 47.76 ng/g sementara matriks tanah pula ialah di antara 27.48 ng/g - 36.20 ng/g . Walau bagaimanapun, tahap pencemar komposisi PAH secara individu dalam matrik air dan juga matrik sedimen serta tanah masih di tahap yang tidak membahayakan.

Katakunci: *hidrokarbon aromatik polisiklik, matriks air, pengekstrakan, sedimen, tanah*

Pengenalan

Hidrokarbon aromatik polisiklik merupakan satu kumpulan bahan kimia pencemar organik yang mengandungi molekul karbon dan hidrogen. Ia mempunyai dua atau lebih lakuran gelang aromatik (benzena) yang mana mempunyai 16 ahli sebatian. PAH juga terdiri daripada lebih daripada 100 jenis bahan kimia yang terdapat meluas di alam sekitar. Ia terhasil apabila batu arang, minyak dan gas, sampah atau bahan seperti tembakau dan daging hangus yang mengalami pembakaran. Ini juga turut terjadi secara semula jadi seperti pembakaran hutan, gunung berapi dan juga asap daripada kenderaan (Meller et al., 2000).

Apabila ia telah terbebas dengan pelbagai kaedah, ia boleh mencemarkan alam sekitar terutamanya pada udara, air dan juga tanah. Kesenambungan dari itu, kita dapat nyatakan bahawa dari alam sekitar yang telah tercemar inilah manusia serta hidupan lain boleh terdedah secara langsung kepada PAH yang boleh memudaratkan kesihatan kerana difahamkan bahawa PAH bersifat toksik, mutagenik serta karsinogenik. Menurut Chen et al. (2006) juga menyatakan bahawa PAH yang mempunyai empat hingga tujuh gelang mempunyai sifat mutagenik dan karsinogenik

yang lebih tinggi sementara bagi PAH yang mempunyai dua hingga tiga gelang adalah kurang bersifat mutagenik tetapi tetap mengandungi tahap toksik yang tinggi. Oleh sebab itu, PAH ialah antara bahan yang telah disenaraikan sebagai pencemar utama oleh agensi perlindungan alam sekitar Amerika Syarikat (USEPA). Maka, kajian terhadap status PAH perlu dikaji dengan lebih lanjut. Kandungan PAH yang tinggi sangat memberi kesan terhadap hidupan. Beberapa kajian yang telah dijalankan mendapati bahawa terdapat gangguan dalam proses penetasan telur, tumbesaran, perkembangan dan kelakuan invertebrata akuatik (Fisher dan Foss, 1993). PAH turut memberi kesan yang sangat berbahaya terhadap kulit, bendalir badan serta ketahanan untuk melawan penyakit dalam tempoh masa yang pendek ataupun lama bagi haiwan. Ia juga boleh mengakibatkan toksik pada ikan, burung dan seterusnya manusia (Albers, 2003; Payne et al., 2003), dengan mengganggu fungsi membran sel dan sistem kesatuan enzim (Neff, 1985), metabolisme PAH akan terikat pada protein dan DNA yang mana boleh menyebabkan pemerosotan biokimia dan kerosakan sel dalam haiwan tersebut (Eisler, 2000, Liang et al., 2007).

Objektif

Objektif kajian ialah untuk memperkembangkan kaedah analisis bagi hidrokarbon aromatik polisiklik dalam matrik yang berbeza berasaskan pengekstrakan fasa pepejal bagi matriks air dan pengekstrakan soxhlet bagi matriks sedimen dan tanah.

Ulasan Kepustakaan

Sumber Hirokarbon Aromatik Polisiklik

Sumber-sumber PAH ini boleh dikategorikan pada tiga kumpulan iaitu pirogenik, petrogenik dan biogenik yang mungkin wujud dari sumber antropogenik. Sumber antropogenik melibatkan ekzos kenderaan dan penguraian tayar, kumbahan industri, tar, arang batu, pembebasan pemanasan domestik daripada arang batu, minyak, gas dan kayu, pembakaran sampah serta pembakaran biojisim. PAH dari sumber pirogenik yang diperolehi semasa pembakaran bahan organik dan bahan fosil menghasilkan perhimpunan PAH yang mana kesannya banyak terdapat di persekitaran marin dan aliran sungai, secara kering ataupun basah daripada atmosfera. Industri dan sisa domestik merupakan sumber pencemaran yang penting (Dichut dan Gustafson, 1995). PAH petrogenik pula yang terkandung di dalam petroleum dan produknya, sementara PAH biogenik pula terhasil daripada tumbuhan semulajadi ataupun sumber marin. Campuran PAH pirogenik disifatkan didominasi oleh bahan yang presisten dengan empat atau lebih gelang aromatik di mana PAH petrogenik pula mempunyai dua hingga tiga gelang aromatik adalah komponen yang paling banyak kelimpahannya (Chen et al., 2005; Ngabe et al., 2000; Takada et al., 1991; Zakaria et al., 2002).

Penggunaan minyak 'crankcase' merupakan sumber yang lain bagi PAH dalam kawasan kotaraya (Takada et al., 1991) yang mempunyai profil petrogenik dan juga tanda-tanda sumber pirogenik kerana apabila pencemaran minyak dikatakan berhubung dengan gas ekzos dalam selinder enjin (Wang et al., 2000). Tar mengandungi jumlah signifikan PAH dan juga campuran sifat petrogenik dan

pirogenik. (Brandt dan De Groot, 2001). Benzo[ghi]perilena dan indeno [1,2,3-cd]pirena digunakan oleh beberapa penyelidik sebagai sumber untuk mengenalpasti aerosol daripada kenderaan (Greenberg et al., 1981, Harkov et al., 1984).

Berdasarkan pada kajian Baumard et al. (1998), takat pencemaran PAH boleh dikategorikan sebagai rendah, sederhana, tinggi dan sangat tinggi apabila nilai jumlah kepekatan masing-masing adalah 0-100, 100-1000, 1000-5000 dan >5000 ng/g. Nilai PAH yang kurang daripada 100 ng/g adalah berada pada tahap pencemaran yang rendah sementara pada nilai tinggi yang melebihi 1000 ng/g, ia dikategorikan pencemaran kronik dan kebiasaannya melibatkan kawasan perindustri dan pelabuhan. Semasa hujan, bahan pencemar ini akan dibersihkan dari bumbung, jalan raya serta permukaan yang lain ke dalam sistem air dan akan dikeluarkan pada permukaan air sungai dan juga persekitaran muara. PAH adalah partikel yang terdapat dalam aliran tersebut yang dianggap berpunca pada sifat kelazimannya, keracunan organisma akuatik dan presisten dalam alam sekitar. (Borchardt et al., 1997; Hoffman et al., 1984; Walker et al., 1999).

Diketahui juga kehadiran bahan kimia dalam pelbagai matriks alam sekitar dipengaruhi oleh beberapa faktor, antaranya ialah komposisi matriks dan sifat fizikokimia sebatian organik tersebut. Keterlarutan dalam air, tekanan wap adalah antara sifat fizikokimia yang mempengaruhi. Disebabkan sifat PAH yang mempunyai kelarutan dalam air yang rendah dan hidrofobik dalam persekitaran marin, ia secara aktif akan berpadu dengan partikel organik dan inorganik seterusnya termendap dalam sedimen. Oleh sebab itu, sedimen menjadi tadahan bagi pencemaran serapan partikel dan akan tersedia sebagai takungan pencemar toksik seterusnya boleh mengancam kesihatan dan kehidupan biota marin. (Law et al., 1997; Latimer et al., 2003). Walaupun kelarutan bahan ini di dalam air adalah sangat rendah, penentuannya di persekitaran sangat penting kerana sifat PAH yang mutagenik dan karsinogenik. Maklumat berkaitan pencemaran air oleh PAH di Asia pernah dilaporkan di Korea, Malaysia dan China. Daripada pantauan secara global, majoriti lebih memfokuskan pada air laut (persisiran pantai) dan air muara (Cao et al., 2005).

Ini adalah jelas diperhatikan bahawa PAH yang mempunyai dua dan tiga gelang (naftalena, asenaftilena, asenaftena, fluorena dan antrasena) adalah molekul yang paling tinggi kelimpahannya di permukaan air, dianggar puratanya ialah 76%. Walaupun PAH tidak menunjukkan tahap ketoksikan yang tinggi bagi organisma akuatik, jisim molekul PAH yang rendah cenderung untuk lebih bertoksik daripada jisim molekul PAH yang tinggi. Kepekatan PAH dalam air yang melebihi 10,000 ng/L dikuatiri air tersebut mengalami tahap pencemaran PAH yang teruk (Cao et al., 2005). Menurut Doong et al. (2003) fenantrena dan antrasena adalah bahan yang paling kerap dikesan di dalam sampel air.

Sementara bagi taburan PAH secara individu dalam sedimen secara meluasnya bergantung pada struktur dan berat molekul. Bagi jisim molekul yang tinggi seperti empat hingga enam gelang aromatik lebih dominan disebabkan pada kebolehan untuk wujud secara berterusan dengan lebih lama. Kepekatan dan taburan PAH dalam sedimen juga berubah-ubah berpunca kepada bahan kimia yang biodegradasi, proses ini dipercayai berkait pada faktor abiotik serta biotik dan bergantung pada sifat kawasan. Analisis PAH dalam sedimen boleh dijadikan indeks yang berguna untuk mengetahui tahap dan sumber PAH pada persekitaran akuatik (Budzinski et al., 1997; Gui-Peng., 2000). Dalam kajian Notar et al (2001), sampel sedimen boleh dikelaskan pada tahap pencemaran rendah (jumlah PAH < 250 µg/kg),

tahap pencemaran sederhana (jumlah PAH < 500 µg/kg) dan tahap yang paling tinggi (jumlah PAH > 500 µg/kg). Kereaktifan foto bagi PAH yang terjerap pada permukaan zarah sedimen lebih tinggi jika dibandingkan dengan kereaktifan dalam larutan (Bjørseth, 1983). PAH terjerap dengan sangat kuat kepada bahan organik pada sedimen dan tanah, oleh sebab itu ia dapat disimpulkan bahawa sedimen dan tanah adalah takungan utama bagi PAH dalam persekitaran alam sekitar (Mackay et al., 1992).

Kaedah Pengekstrakan Hidrokarbon Aromatik Polisiklik

Pengekstrakan Fasa Pepejal Bagi Matrik Air

Banyak bahan pencemar daripada industri dan agrikultur seperti racun organoklorin (OCP), bifenil poliklorinatan (PCBs), hidrokarbon poliklorinatan (PCHs) dan hidrokarbon aromatik polisiklik (PAHs) yang boleh menyebabkan kanser, kemusnahan hati dan abnormal kronik. Pemindahan bahan kimia dari tanah kepada air dan sebaliknya akan mengakibatkan pengumpulan pelbagai sisa pencemar dalam air dan agrikultur pula akan menghasilkan produk yang mana akan digunakan oleh haiwan ataupun manusia. Oleh itu, terdapat beberapa bahan kimia yang telah dilaporkan terdapat dalam air minuman, tanah dan sampel biologi. Bagi memastikan keselamatan awam, analisis yang mudah dan sensitif diperlukan untuk analisis pelbagai jenis sisa bahan pencemar ini di dalam air dan juga sampel biologi (Singh et al., 1997). Sementara itu, Agensi Perlindungan Alam Sekitar Amerika Syarikat (EPA) telah mengesahkan bahawa pengekstrakan fasa pepejal (SPE) adalah teknik pra-pemekatan yang baik untuk PAH di dalam air dan sampel biologi (Erik et al., 1999).

Kaedah analisis yang biasa digunakan untuk pengekstrakan PAH daripada sampel sisa air melibatkan pengekstrakan cecair menggunakan pelarut tidak berpolar ataupun pengekstrakan fasa pepejal yang mana menggunakan fasa berbalik ataupun bahan penyerap polimer. Disebabkan penggunaannya yang serbaguna, bagus pemilihannya dan reproduktif, teknik SPE menjadi pilihan sebagai pengekstrakan dengan prosedur memperkayakan pembersihan sampel air. Kesan berbalik ini berkaitan dengan kehilangan PAH semasa prosedur SPE yang mana banyak dibincangkan oleh para penyelidik lain. Parameter SPE seperti bahan penyerap, kadar laluan katrij, kualiti pengubahsuaian organik, pelarut elusian dan kesan interferen terhadap asid telah dibuktikan melalui kadar dapatan semula dan reproduktiviti kaedah. Kelarutan PAH yang rendah serta sifat hidrofobik PAH mendatangkan masalah semasa proses penyerapan, simpanan dan prosedur SPE. Bagi mengelak berlakunya kesan interferen negatif, pelarut organik pilihan seperti asetonitril, 2-propanol atau metanol akan digunakan sebagai pengubahsuaian kepada sampel air (Busetti et al., 2005).

Pengekstrakan fasa pepejal ialah teknik rawatan sampel air yang mana sampel cecair dilakukan melalui penyerap. Kedua-dua analit akan ditentukan atau sampel interferen akan tertahan pada penyerap dengan mekanisme yang berbeza. Pertama, analit akan dielusikan dalam isipadu pelarut yang kecil dan analit tersebut akan dipekatkan. Di samping itu, fungsi pengekstrakan fasa pepejal juga adalah untuk membersihkan sampel. Fungsi yang pertama biasanya hanya digunakan untuk sampel cecair sementara yang kedua pula adalah untuk pepejal, gas atau cecair (Marce et al., 2000).

Diklorometana, tetrahidrofuran dan etil asetat adalah antara pelarut yang digunakan dalam proses pengelusan yang mana menghasilkan dapatan semula yang menghampiri 100% bagi naftalena jika dibandingkan dengan pelarut asetonitril dan heksana yang memberikan tahap kecekapan yang rendah. Diklorometana membuktikan lebih efisien berbanding metanol dalam memindahkan benzo[a]pirena dari fasa C_{18} dan polimer poros hidrofobik (Kiss et al., 1995). Beliau juga turut menyatakan bahawa hasil dapatan semula dari proses pengelusan memberikan nilai yang tinggi menggunakan pelarut diklorometana atau tetrahidrofuran.

Kajian Sargenti et al. (1998) menyatakan bahawa perbandingan antara empat teknik pengekstrakan yang berbeza iaitu pengekstrakan fasa pepejal (SPE), pengekstrakan bendalir super genting (SFE), pengekstrakan cecair-cecair dan pengekstrakan fasa pepejal diikuti pengekstrakan bendalir super genting (SPE/SFE) menunjukkan bahawa pengekstrakan fasa pepejal memberikan bacaan dapatan semula PAH yang sangat baik berbanding teknik pengekstrakan yang lain. Sementara itu, Martinez et al. (2004) ada menyatakan untuk sampel air, enam penjerap pengekstrakan fasa pepejal yang berbeza telah dibandingkan dan C_{18} menunjukkan dapatan semula yang tinggi dan had pengesanan ialah 0.1 – 15 ng/L.

Oleh sebab-sebab tersebut, dalam kajian ini kaedah pengekstrakan fasa pepejal bagi sampel air dalam mengkaji tahap pencemaran PAH dalam sungai sekitar Negeri Sembilan telah digunakan. Teknik yang sama juga telah dijalankan oleh ramai penyelidik lain, antara nya ialah Coa et al. (2005).

Pengekstrakan Soxhlet bagi Matrik Tanah dan Sedimen

Pengekstrakan dan analisis PAH daripada tanah dan matriks persekitaran yang lain seperti sedimen, debu, tisu tumbuhan dan partikel tar adalah langkah yang penting diperlukan dalam kajian (Haeseler et al., 1999; Swartz, 1999). Penggonggang mekanikal atau pengacau, pengekstrakan soxhlet dan pengekstrakan 'ultrasonic' adalah merupakan kaedah yang biasa digunakan bagi mengekstrakan PAH daripada tanah, sedimen dan bahan pepejal persekitaran yang lain (Offen Beacher et al., 1996); ISO 1995; Song et al., 1999). Keputusan daripada analisis PAH, turut juga dipengaruhi oleh jenis pelarut yang digunakan dan juga kaedah pembersihan serta dari segi penggunaan masa (Blankenhorn et al., 1992; Saim, 1999).

Di samping itu, terdapat faktor yang turut mempengaruhi tahap kecekapan pengekstrakan PAH daripada tanah dan sedimen iaitu kelembapan tanah, sifat polar pelarut, kandungan PAH dalam sampel, suhu pengekstrakan dan juga tekstur tanah atau sedimen (Fisher et al., 1994; Letellier et al., 1999; Noordkamp et al., 1997). Oleh kerana takat didih ahli sebatian PAH adalah tinggi, contohnya naftalena iaitu 218 °C. Maka kaedah pengekstrakan yang melibatkan suhu atau tekanan yang tinggi adalah tidak sesuai bagi sebatian PAH. Ini kerana dikhuatiri sebatian PAH akan meruap dan hilang. Oleh sebab itu, kaedah pengekstrakan soxhlet merupakan kaedah yang paling sesuai untuk sebatian PAH. Di samping itu, kos bagi penggunaannya juga lebih murah, jika berlaku kerosakan semasa proses pengekstrakan, bahagian yang mengalami kerosakan boleh dibaiki atau ditukar dengan segera tanpa melibatkan semua bahagian (Saim et al., 1999).

Pengekstrakan sebatian tidak meruap ataupun separa meruap daripada sampel pepejal seperti tanah, enap cemar dan bahan buangan dicadangkan menggunakan

pelarut campuran heksana : aseton (1:1), diklometana : aseton (1:1) dan diklorometana atau toulena : metanol (1:1). Telah terdapat beberapa kajian yang dijalankan berkenaan sistem pelarut ini yang mana turut mempengaruhi masa pengekstrakan sampel. Di sini, kita dapat membuat perbandingan dan seterusnya menggunakan sistem yang terbaik. Movel (1996) berpendapat bahawa koeffisien partisi di antara pelarut dan matrik sampel dan sentuhan di antara pelarut dengan zarah tanah ialah dua faktor yang menentukan tahap kecekapan pengekstrakan. Berdasarkan Jadual 2.2, perbandingan yang terbaik dapat dilihat.

Jadual 2.2 Masa pengekstrakan PAH daripada tanah atau sedimen menggunakan pengekstrakan soxhlet (Saim, 1999).

Jadual 2: Masa Pengekstrakan PAH

Masa Pengekstrakan	Sistem Pelarut
16 jam	Benzena : Metanol (14:1)
8 jam	Aseton : Heksana (1:9)
8 jam	Diklorometana
7 jam	Aseton : Heksana (1:1)

Saim et al. (1997) turut menyatakan sampel tanah pakuan yang disediakan dengan menggunakan campuran pelarut heksana dan aseton (1:1) bagi pengekstrakan soxhlet memberikan dapatan semula lebih daripada 80% jika dibandingkan dengan campuran pelarut metilklorida dan aseton.

Kaedah Kajian

Kromatografi Gas dengan Pengesan Pengionan Nyala (GC-FID)

Pemisahan gas kromatografi dan pengenalpastian PAH dilaksanakan pada Hewlett 5890 Packard Series II dengan penyuntik 'atas kolum' dan pengesan pengionan nyala. Ciri-ciri kolum yang digunakan ialah 30 m X 0.32 mm I.D X ketebalan filem 0.25 μ m, SPB TM – 5 Kolum Kapilari Silika Leburan digunakan untuk mencapai pemisahan dengan program suhu seperti berikut: Suhu awal kolum, 50 °C selama 2 min, meningkat pada kadar 15 °C min⁻¹ ke 90 °C. Suhu kekal selama 2 min dan peningkatan lagi suhu pada kadar 6 °C ke 300 °C selama 8 min. Suhu pengesan adalah 290 °C. Kuantiti PAH ditentukan dengan menggunakan lima poin kalibrasi plot campuran piawai PAH dan 500 μ g/L piawai dalaman (3,6 – dimetilfenantrena). Koeffisien kolerasi yang terhasil adalah $r^2 = 0.9540$ hingga 0.9981 bagi matriks air, sementara $r^2 = 0.9883$ hingga 0.9972 bagi matriks tanah dan sedimen diperolehi. 'Clean-up' sampel tidak dijalankan pada ekstrakan analisis.

Penyediaan Graf Kalibrasi

Penentuan analisis kuantitatif dilakukan dengan menggunakan lima titik plot kalibrasi. Terdapat dua jenis siri kepekatan yang berbeza untuk penyediaan graf kalibrasi.

Pertama ialah bagi matriks air iaitu dengan campuran piawai PAH yang berkepekatan 2, 4, 6, 8, 10 µg/L. Sementara bagi matriks tanah dan sedimen, campuran piawai PAH yang berkepekatan 10, 50, 150, 300, 500 µg/L disediakan daripada larutan stok. Untuk menyediakan graf kalibrasi campuran sebatian PAH, 2 µL disuntik ke dalam GC-FID.

Kawasan Persampelan

Kajian telah dipilih untuk dijalankan di kawasan sungai sekitar kawasan perindustrian Senawang, Negeri Sembilan di mana lapan stesen telah dipilih berdasarkan kawasan persekitarannya. Persampelan telah dilakukan sebanyak dua kali pada bulan Mac (2007) dan April (2007). Kedudukan setiap lokasi dicatat menggunakan GPS (*Global Positioning System*) dan dinyatakan dalam Jadual 3.1.

Jadual 3.1 Bacaan kedudukan untuk setiap kawasan kajian

Stesen	Latitud	Longitud	Lokasi
1	02° 47.376 N	102° 00.404 E	Sungai Batang Penar
2	02° 44.754 N	101° 59.506 E	Berhampiran dengan Kilang 'Rubber Conveyor Belt'
3	02° 44.332 N	101° 58.559 E	Berhadapan dengan Kilang 'Malaysian Cocoa Manufacturing'
4	02° 42.776 N	101° 57.219 E	Taman Dusun Nyior 1
5	02° 42.451 N	101° 57.079 E	Kampung Rahang Kecil
6	02° 42.497 N	101° 57.098 E	Kampung Rahang Kecil (Sungai dari Pasar Besar)
7	02° 40.208 N	101° 55.294 E	Sungai Mambau
8	02° 36.438 N	101° 50.563 E	Logi Rawatan Air Sungai Linggi

Persampelan Sampel Sedimen, Tanah dan Air

Persampelan pada sedimen dan tanah telah dijalankan dengan menggunakan teknik cekup Ponar di mana teknik ini adalah teknik yang paling baik. Sampel sedimen dan tanah tersebut kemudiannya dimasukkan ke dalam keranjang aluminium yang berlabel dan disimpan di dalam beg plastik sebelum dimasukkan ke dalam kotak sejuk. Ini penting untuk melambatkan atau meminimalkan tindakbalas kimia dan biologi daripada berlaku. Semua sampel yang tiba di makmal mesti disimpan dalam peti sejuk sehingga analisis dilakukan. Sementara bagi sampel air, sampel diambil dengan menggunakan timba iaitu bekas takungan air yang diikat dengan tali. Air tersebut diisikan ke dalam botol kaca 1 L dan dirawat dengan 2 mL H_2SO_4 pekat. Ini juga bertujuan supaya sampel air tersebut kekal sama keadaannya seperti di dalam air sungai.

Parameter Persekitaran

Data fizikokimia persekitaran bagi setiap stesen yang dipilih diambil secara *in-situ* dengan menggunakan *Hydrolab Quanta*. Data-data tersebut adalah terdiri daripada suhu, konduktiviti, pH dan Oksigen Terlarut (DO).

Penyediaan Sampel

Sedimen dan Tanah

Sebelum sampel dianalisis, sampel dikeringkan pada suhu bilik, dipastikan sampel tersebut tidak direlau atau dipanaskan di dalam oven. Ini adalah bagi menghalang minyak yang terdapat dalam sampel tersebut tersejat hilang. Bendasing seperti ketulan batu, kulit siput, kerang atau kayu diasingkan dan sampel sedimen dan tanah diayak menggunakan pengayak 500 μm . Kemudian sampel disimpan semula ke dalam botol amber.

Air

Sampel air yang telah dirawat dengan 2 mL H_2SO_4 pekat hendaklah dituras dengan menggunakan penuras bergentian kaca untuk menyingkirkan kandungan pepejal terampai yang boleh mengganggu proses pengekstrakan. Bagi proses penurasan ini, kertas turas bergentian kaca yang berkod GC – 50 dengan saiz 47 mm digunakan. Sampel tersebut disimpan semula ke dalam botol kaca sebelum analisis selanjutnya dijalankan.

Pengekstrakan Soxhlet

Penyediaan Sampel Pakuan

Sampel pakuan disediakan dengan menambahkan sebanyak 1 mL larutan campuran HAP piawai (0.5 $\mu\text{g/L}$) dalam asetonitril ke dalam 10 g sampel di dalam bikar. Bikar tersebut akan diayak selama 2 minit bagi memastikan sampel adalah homogen bersama dengan larutan campuran piawai. Kemudian sampel sedimen atau tanah dibiarkan

tersejat selama 15 minit. Sampel dipindahkan ke dalam jidal dan diletakkan ke dalam radas soxhlet. Kemudian pengekstrakan kaedah soxhlet dijalankan seperti menjalankan pengekstrakan sampel sedimen dan tanah.

Kaedah Pengekstrakan Soxhlet

Sebelum pengekstrakan dijalankan, pastikan unit soxhlet dibersihkan dengan air suling dan kemudian dikeringkan di dalam oven. Selepas itu, unit soxhlet akan dibilas menggunakan pelarut campuran aseton dan heksana selama empat jam. Permulaannya, larutan campuran aseton dan heksana sebanyak 300 mL digunakan ke dalam kelalang bulat 500 mL adalah untuk membersihkan serta menyingkirkan minyak. Di samping itu, batu didih ditambah ke dalam kelalang dan pemanasan dijalankan. Pengekstrakan dijalankan selama empat jam dengan enam hingga tujuh kitaran sejam. Selepas empat pengekstrakan, kelalang dibiarkan sejuk. 10 gm sampel sedimen atau tanah dicampurkan dengan 10 gm natrium sulfat dengan sekata, hasil campuran tersebut dipindahkan ke dalam jidal pengekstrakan dan kemudian dimasukkan ke dalam radas soxhlet. Pastikan semasa pemindahan, penyepit besi digunakan untuk memegang jidal. Kemudian pelarut campuran aseton dan heksana (1:1) sebanyak 300 mL dimasukkan ke dalam radas soxhlet. Kelalang dipanaskan dan pengekstrakan dijalankan selama tujuh jam dengan enam atau tujuh kitaran sejam. Selepas pengekstrakan, kelalang disejukkan dan larutan yang diekstrak akan dipekatkan menggunakan mesin penyejat berputar sehingga isipadunya menjadi 1 mL.

Pengekstrakan Fasa Pepejal (SPE)

Penyediaan Sampel Pakuan

Sampel pakuan disediakan dengan menambah campuran PAH piawai ke dalam sampel air nyahion dengan kepekatan yang berbeza iaitu 4 µg/L dan 10 µg/L. Sampel air pakuan yang telah disediakan dengan kepekatan yang berbeza akan diekstrakan dengan menggunakan kaedah pengekstrakan fasa pepejal (SPE). Langkah ini dijalankan adalah bertujuan untuk menentukan tahap keberkesanan kaedah pengekstrakan. Semakin tinggi peratus perolehan semula, semakin baik kaedah pengekstrakan.

Pengkonduksian Turus

Dalam kaedah ini, turus C₁₈ yang mempunyai berat 1 gm dan bersaiz 6 mL digunakan. Turus dibilas dengan menggunakan 3 mL etil asetat dan turus dibiarkan kering dalam keadaan vakum selama 30 saat. Kemudian turus dikonduksikan dengan menggunakan 2 X 5 mL metanol dan diikuti dengan 2 X 5 mL air nyahion. Dipastikan semasa dan selepas proses pengkonduksian ini dijalankan, turus tidak boleh dibiarkan kering.

Kemasukan Sampel

Dipastikan semasa proses ini dijalankan, vakum tidak digunakan. Sebanyak 3 mL sampel air ditambah ke dalam turus. Bekas takungan air 15 mL disambung pada turus

dan sampel air akan dilakukan ke dalam bekas takungan tersebut. Sampel air dialirkan dengan kadar aliran 10 mL/min iaitu dengan mengawal jumlah udara masuk dan keluar dari pam vakum. Selepas 500 mL sampel air digunakan, turus dibilas dengan menggunakan 2 X 5 mL air nyahion. Kemudian, turus dibiarkan dalam keadaan vakum selama 30 minit untuk tujuan pengeringan.

Pengelusian Sampel

Kandungan bahan yang terperangkap di dalam turus dielusikan dengan menggunakan 2 X 2.5 mL etil asetat dengan kadar aliran 2 mL/min dan diikuti dengan 2 X 2.5 mL diklorometana. Kemudian, natrium sulfat ditambah untuk pastikan hasil elusi bebas daripada air dan hasil elusi tersebut dituras untuk singkirkan natrium sulfat berlebihan. Hasil elusi dibiarkan berada di bawah aliran gas nitrogen sehingga isipadu akhir hasil elusi adalah 1 mL. Kemudian sampel disimpan ke dalam botol sampel kaca sebelum dianalisis dengan menggunakan pengesan pengionan nyalaan - kromatografi gas (GC-FID). Hasil elusi ini dapat bertahan selama 40 hari selepas proses pengekstrakan.

Keputusan dan Perbincangan

Peratusan Perolehan Semula

Perolehan semula sebatian PAH secara individu ditentukan daripada sampel pakuan air dan sedimen. Julat peratus perolehan semula menggunakan pengekstrakan fasa pepejal daripada matriks air adalah 85.8 hingga 95.3%, sementara bagi kaedah pengekstrakan soxhlet pula adalah dalam julat 86.2 hingga 103.1%. Kaedah yang sama juga turut dijalankan dalam kajian Cao et al. (2005) dan Chen et al. (2006) bagi matriks air. Kajian perolehan semula dijalankan adalah untuk melihat tahap kecekapan kaedah.

Parameter Persekitaran

Berdasarkan Jadual 4.2, dapat dilihat nilai purata bagi parameter persekitaran bagi lapan stesen kajian di kawasan perindustrian, Negeri Sembilan.

Jadual 4.2 Nilai Purata Parameter Persekitaran Bagi Lapan Stesen Kajian

Stesen	Oksigen Terlarut mg/L)	Konduktiviti (μ s/ cm)	pH	Suhu
S1	9.44	33.05	6.72	25.0
S2	7.80	77.70	5.67	30.0
S3	7.44	114.85	6.14	29.4
S4	6.92	104.25	6.03	29.3
S5	7.32	139.45	6.23	30.0
S6	6.10	176.75	6.24	30.4
S7	7.61	104.25	6.43	27.1
S8	7.05	96.15	6.43	27.1

PAH dalam Matriks Air

Kepekatan secara individu dan jumlah sepuluh jenis sebatian PAH dalam matriks air bagi lapan kawasan kajian boleh dirujuk pada Jadual 4.3. Dalam kajian, hanya lapan komponen daripada sepuluh komponen sebatian PAH yang dapat dikesan. Jumlah julat purata kepekatan bagi lapan jenis sebatian PAH di dalam matriks air adalah di antara 0.016 hingga 0.031 $\mu\text{g/L}$ dengan nilai purata adalah 0.022 $\mu\text{g/L}$. Komposisi PAH secara individu, sebanyak lapan komponen sebatian PAH daripada sepuluh komponen sebatian PAH yang dikaji telah dapat dikesan dalam matriks air. Merujuk Rajah 4.1, taburan komposisi sebatian PAH dalam matrik air dikategorikan mengikut saiz gelang. Ini dapat dilihat dengan jelas bahawa PAH yang mempunyai empat gelang (fluorantena, pirena, benzo[a]antrasena dan krisena) mempunyai nilai kelimpahan yang paling tinggi iaitu dengan julat 0.001 hingga 0.012 $\mu\text{g/L}$ dalam matriks air bagi kesemua kawasan kajian kecuali S5 yang mana sungai tersebut terletak berhampiran kawasan kampung yang hanya menggunakan jalan tar yang kecil. Dengan kata lain, stesen atau kawasan yang kurang dipengaruhi oleh aktiviti manusia menunjukkan jumlah kepekatan PAH yang sangat rendah (Unlu et al., 2005). S7 menunjukkan nilai purata sebatian PAH yang paling tinggi. Sementara bagi PAH lima gelang, iaitu benzo[a]pirena menunjukkan tahap kelimpahan yang paling rendah iaitu 0.002 hingga 0.003 $\mu\text{g/L}$ bagi semua kawasan kajian.

Maskaoui et al. (2002) menyatakan bahawa bagi PAH yang mengandungi tiga atau lebih gelang adalah mempunyai kelarutan yang rendah di dalam air dan tekanan pengewapan yang rendah. Apabila berat molekul bertambah, kelarutan dan tekanan PAH akan berkurangan. PAH dengan dua gelang adalah lebih larut dalam air dan lebih meruap. Disebabkan sifat itu, benzo[a]pirena dalam kajian ini dapat dilihat mempunyai nilai kepekatan yang paling rendah.

Melalui pemerhatian semasa proses persampelan, faktor persekitaran di kawasan kajian mungkin merupakan antara penyumbang utama kepada peningkatan nilai sebatian PAH di dalam matriks air. Seperti contoh S7 yang mempunyai nilai kepekatan sebatian PAH yang paling tinggi adalah berhampiran dengan Jambatan Mambau yang menjadi laluan utama dan seterusnya menyumbang pada pembebasan ekzos kenderaan (Cao et al., 2005), debu jalan juga antara penyumbang utama pencemaran PAH di persekitaran (Jeffery et al., 2005). Turut dilihat bengkel baikpulih kenderaan bermotor turut juga dibina berhampiran sungai. Di situ juga terdapat perusahaan kilang papan yang mana proses pembakaran papan secara terbuka juga merupakan salah satu faktor penyumbang kewujudan PAH.

Berdasarkan pada kajian lalu, terdapat ramai penyelidik yang menyatakan bahawa profil PAH didominasi oleh berat molekul PAH yang rendah (komponen yang mempunyai dua atau tiga gelang) yang terdapat dalam matriks air tetapi bagi kajian ini, sebatian PAH yang mempunyai empat gelang empat lebih mendominasi hasil taburan. Ini mungkin disebabkan pengaruh kawasan persekitaran. Ini turut disokong oleh kajian Ran et al. (2006) yang menyatakan taburan fluorantena, krisena dan benzo[b,j,k]fluorantena adalah dominasi PAH bagi sumber daripada perindustrian dan juga pencemaran kesesakan jalan raya. Hampir semua kawasan kajian adalah berhampiran dengan jalan raya utama, kawasan kilang, pasar besar, rel keretapi serta perusahaan makanan yang mana mungkin merupakan sumber pirogenik yang biasanya didominasi oleh sebatian PAH bergelang empat, ini turut juga disokong oleh kajian Chen et al. (2006).

Berdasarkan analisis statistik ANOVA dua hala tanpa replikasi, memberikan nilai signifikasi pada aras keertian ($p < 0.05$) bagi faktor kepekatan sebatian PAH secara individu. Sementara bagi setiap stesen kajian pula menunjukkan nilai signifikan pada aras keertian ($p > 0.05$) yang mana menyatakan tidak terdapat perbezaan yang ketara di antara setiap stesen. Walaupun begitu, tahap bahan pencemar ini masih berada pada tahap yang rendah berdasarkan pada INWQS (rujuk lampiran) bagi kesemua sebatian PAH yang dikaji. Sementara Chen et al. (2004) menyatakan jika sebatian PAH yang terkandung di dalam air adalah melebihi 10 $\mu\text{g/L}$, air tersebut dikategorikan mengalami pencemar yang teruk oleh PAH. Walaupun keadaan di kawasan kajian masih di tahap yang tidak berbahaya, ia juga perlu diberi perhatian sebagai langkah awal pencegahan pencemaran.

Di samping itu juga, perbandingan secara statistik menggunakan ujian t berpasangan dengan signifikan ditentukan pada 95% aras keyakinan (rujuk lampiran), didapati tidak terdapat perbezaan yang nyata di antara setiap stesen kajian terhadap kepekatan sebatian PAH yang mana mungkin diperolehi melalui sumber yang sama.

PAH dalam Matriks Sedimen dan Tanah

Jadual 4.4 dan 4.5 menunjukkan purata kepekatan bagi matriks sedimen dan juga tanah. Jumlah purata kepekatan PAH bagi matriks sedimen dan tanah untuk kesemua kawasan kajian masing-masing adalah di antara 26.64 hingga 47.76 ng/g dan 27.48 hingga 36.20 ng/g. Dalam komposisi sebatian PAH secara individu, sepuluh jenis komponen sebatian PAH dapat dikesan pada semua kawasan kajian. Taburan komposisi sebatian PAH ini dapat dilihat mengikut kategori jenis gelang bagi matriks sedimen dan tanah dengan merujuk Rajah 4.2 dan 4.3. Purata kepekatan PAH dalam matriks sedimen lebih didominasi oleh sebatian PAH tiga dan empat gelang tetapi PAH dua gelang juga menunjukkan nilai yang tinggi bagi kawasan kajian yang diperhatikan terlibat dengan aktiviti manusia serta antropogenik yang aktif. Sementara sebatian PAH bergelang tiga dan empat juga turut mendominasi dalam matriks tanah bagi semua kawasan kajian. Merujuk pada kajian-kajian yang terdahulu banyak dinyatakan bahawa sebatian PAH yang mempunyai berat molekul yang lebih tinggi untuk gelang lima serta enam lebih didominasi dalam matriks sedimen dan juga tanah tetapi adalah sebaliknya, komposisi PAH secara individu dalam sedimen dan tanah adalah didominasi oleh sebatian PAH yang mempunyai gelang tiga dan empat di sungai kajian. Keadaan yang sama turut dilaporkan oleh Chen et al. (2006) di Sungai Qiantang.

Jika dilihat pada Rajah 4.2 dan 4.3, dapat dilihat bahawa sebatian PAH dua gelang iaitu naftalena mempunyai taburan purata kepekatan yang paling tinggi di hampir semua kawasan kajian samada dalam matriks sedimen atau tanah. Bihari et al. (2006) dan Robertson (1998) ada menyatakan bahawa jika terdapat kehadiran naftalena dalam sedimen, ia merupakan sifat dari sumber petroleum. Keadaan ini mungkin juga terjadi kerana terdapat sesetengah kawasan kajian yang terletak berhampiran dengan bengkel perusahaan baikpulih kenderaan bermotor yang mana mungkin sisa-sisa minyak tidak dirawat menggunakan kaedah yang betul dan mungkin juga terdapat tumpahan minyak dalam tangki simpanan minyak bawah tanah bagi stesen pam minyak yang terdapat di sepanjang kawasan kajian. Sementara dalam kajian Mohd Tahir et al (2006) dan Nasr et al. (2002) ada menyatakan bahawa antara penyumbang utama bahan pencemar PAH adalah daripada bebasan ekzos kenderaan dan ini jelas dilihat bahawa S₂, S₃, S₄, S₅, S₆ dan S₇ adalah terletak berhampiran dengan jalan raya. Ringkasan aktiviti yang

dapat dilihat secara pemerhatian boleh dirujuk pada Jadual 4.6. Zakaria et al. (2002) ada menyatakan bahawa sebatian PAH dalam sedimen daripada kawasan bandar di Malaysia adalah didominasi oleh sumber daripada petrogenik. Dalam kajian ini, sebatian PAH daripada gelang tiga dan empat turut mempengaruhi taburan bagi kesemua stesen yang mana sebatian PAH bergelang tiga, biasanya dari sumber petrogenik. Oleh sebab itu, taburan PAH daripada input petrogenik dalam sedimen mungkin menjadi fenomena biasa dalam negara asia tropika. Dengan kekerapan dan hujan iklim tropika semulajadi menggalakkan hakisan tanah yang teruk dan boleh menyebabkan jumlah input yang besar dalam sedimen dalam sungai (Boonyatumanond et al., 2006). Sementara komponen PAH bergelang empat yang mana mendominasi taburan hampir semua kawasan kajian mungkin wujud hasil daripada sumber pirogenik yang wujud daripada pembakaran tidak lengkap bahan organik seperti arang, petroleum serta kayu, ia juga termasuk hasil dari operasi industri yang menggunakan bahan bakar fosil serta ekzos kenderaan.

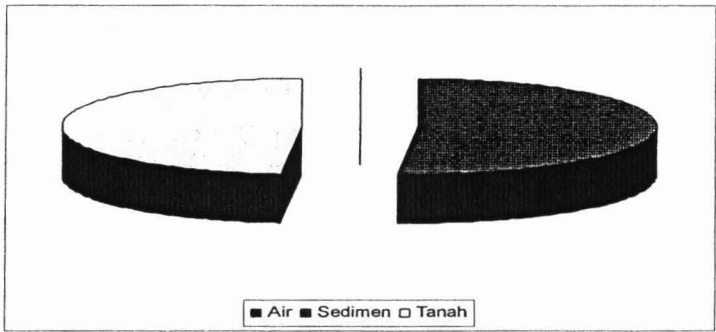
Jadual 4.6 Ringkasan Aktiviti Yang Dijalankan di Stesen Kajian

Stesen	Aktiviti
S1	Jauh dari penempatan manusia dan kawasan rekreasi
S2	Terdapat beberapa perindustrian yang aktif dijalankan yang mana lebih dimonopoli oleh perusahaan getah.
S3	Berhadapan dengan perusahaan kilang makanan, perhentian bas Transnasional, perusahaan kilang, kilang simen serta beberapa industri lain.
S4	Berhampiran jalan raya utama, kawasan perumahan serta perusahaan makanan.
S5	Berhampiran dengan laluan rel keretapi, kawasan perumahan serta kawasan sekolah.
S6	Kumbahan utama dari pasar basah Seremban serta berhampiran dengan laluan rel keretapi.
S7	Jambatan Mambau, berhampiran jalan raya utama, perusahaan pam minyak, bengkel baikpulih kenderaan bermotor, kawasan perumahan serta perusahaan makanan.
S8	Logi rawatan air Sg. Linggi

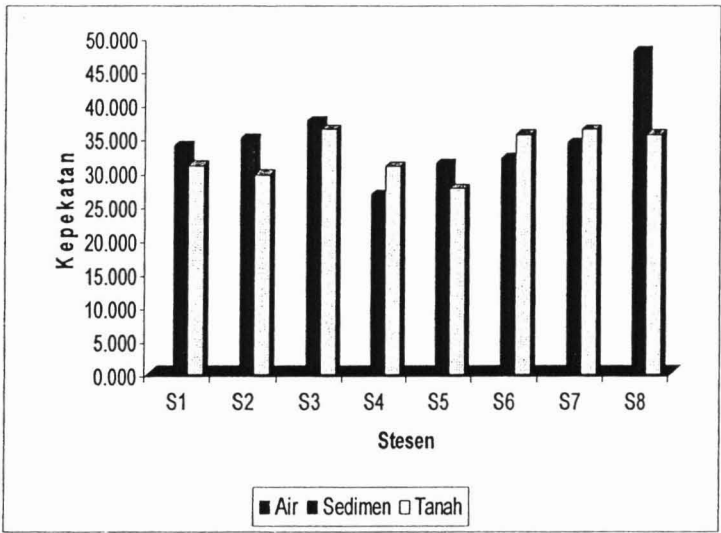
Jika dibandingkan dengan INTERIM (rujuk lampiran), didapati komposisi secara individu sebatian PAH adalah berada pada tahap yang masih rendah bagi matriks sedimen dan juga tanah. Oleh sebab itu, kajian mengenai kandungan PAH di Malaysia masih lagi agak sukar didapati. Merujuk pada Rajah 4.4 menerusi kajian ini, dapat dilihat sedimen mempunyai nilai purata kepekatan sebatian PAH yang paling tinggi bagi ketiga-tiga matriks. Sementara bagi kesemua kawasan kajian, sebatian PAH mempunyai kelimpahan yang tinggi dalam matriks sedimen dan tanah berbanding dalam matriks air (Rajah 4.5) dan dapat dinyatakan lagi bahawa sedimen dan tanah merupakan takungan utama bagi sebatian PAH. Menerusi analisis ANOVA dua hala tanpa replikasi menunjukkan bahawa tidak terdapat perbezaan yang jelas antara matrik sedimen dan tanah dengan ($P>0.05$) tetapi wujud signifikan pada aras keertian

($P<0.05$) dengan menunjukkan bahawa terdapat perbezaan yang nyata antara matriks air dengan matriks sedimen serta tanah.

Seperti yang diketahui, perbezaan ini wujud adalah kerana sifat PAH yang hidrofobik serta keterlarutannya yang sangat rendah. Dalam jangka masa yang lama, sedimen akan menjadi kolam bahan organik yang besar yang mana signifikan terhadap takungan sebatian PAH (Pereira et al., 1999).



Rajah 4.4 Taburan Purata Kepekatan Sebatian PAH bagi Matriks yang Berbeza



Rajah 4.5 Taburan Purata Kepekatan Sebatian PAH bagi Lapan Stesen Kajian

Kesimpulan

Melalui kajian yang telah dijalankan, iaitu perkembangan kaedah analisis hidrokarbon aromatik polisiklik di dalam matriks air, sedimen dan tanah terhadap kawasan perindustrian Senawang, Negeri Sembilan. Terdapat dua perkembangan kaedah analisis yang telah dijalankan iaitu kaedah pengekstrakan fasa pepejal bagi matriks air dan pengekstrakan soxhlet bagi matriks sedimen dan tanah. Peratus perolehan semula sebatian PAH bagi matriks air adalah dalam julat 85.8 – 95.3%, sementara bagi matriks sedimen dan tanah pula, julatnya ialah 86.2 - 103.1%.

Julat purata kepekatan sebatian PAH di kawasan kajian bagi setiap matriks adalah seperti berikut, matriks air ialah di antara 0.016 µg/L hingga 0.031 µg/L, matriks sedimen ialah di antara 26.64 ng/g hingga 47.76 ng/g sementara matriks tanah pula ialah di antara 27.48 ng/g hingga 36.20 ng/g. Perbandingan tahap kepekatan sebatian PAH bagi kesemua kawasan kajian dilihat lebih didominasi oleh matriks sedimen.

Kaedah analisis yang telah diperkembangkan diguna bagi kajian matriks yang berbeza yang mana mendatangkan banyak manfaat dan kemudahan dalam menjalankan kajian dari segi penggunaan masa serta kuantiti bahan pelarut yang digunakan. Daripada peratusan perolehan semula dapat dilihat bahawa kaedah ini boleh dikategorikan sebagai kaedah yang baik serta boleh digunapakai.

Rujukan

- Albers, P.H. (2003). Petroleum and individual polycyclic aromatic hydrocarbons. In Hoffman, D.J., Rattner, B.A., Burton, Jr., G.A. & Cairns, Jr. J. (Eds.), *Handbook of Ecotoxicology* (2nd ed.) (pp. 341–371). Lewis, Boca Raton, FL.
- Barbabas, I. J., Dean, J. R, Fowlis, L. A & Owen, S. P. (1995). Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbon from highly contaminated soils using microwave energy. *Analyst*, 35, 58-69.
- Baoling, C & Xiaodong, X. (2004). Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface waters, sediment and soil of Hangzhou City, China. *Water Research*, 14, 114-119.
- Baumard, P., Budzinski, H. & Garrigues, P. (1998). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea. *Environmental Toxicol Chemistry*, 17, 765–776.
- Bihari, N. Fafand, M., Hamer, B. & Kralj-Bilen, B. (2006). PAH content, toxicity and genotoxicity of coastal marine sediments from the Rovinj area, Northern Adriatic, Croatia. *Science of the Total Environment*, 19, 32-45.
- Boehm, P.D., Douglas, G.S., Burns, W.A., Mankiewicz, P.J., Page, D.S. & Bence, A.E. (1997). Advances in petroleum hydrocarbon chemical fingerprints and allocation techniques after the Exxon Valdez oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 77.

- Boonyatumanond, R., Wattayakorn, G., Togo, A. & Takada, H. (2006). Distribution and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine, and marine sediment in Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 8-12.
- Borchardt, D. & Sperling, F. (1997). Urban stormwater discharges: ecological effects on receiving waters and consequences for technical measures. *Water Science Technology*, 36, 173– 8.
- Brown, J. N. & Peake, B. M. (2005). Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Science Of The Total Environment*, 5, 33-52.
- Budzinski, H., Jones, I., Bellocq, J., Pierrad, C. & Garrigues, P.(1997). Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry*, 14, 7-15.
- Busetti, F., Heitz, A., Cuomob, M., Badoer, S. & Traverso, P. (2005). Determination of sixteen polycyclic aromatic hydrocarbons in aqueous and solid samples from an Italian wastewater treatment plant. *Journal of Chromatography A*, 28, 8-20.
- Chen Yuyun, Zhu, L. & Zhou, R. (2006). Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in surface water and sediment from Qiantang River, China. *Journal Of Hazardous Materials*, 42, 33-46.
- Cao, Z., Wang, Y., Mab, Y., Xua, Z., Shi, G., Zhuang, Y. & Zhua, T. (2005). Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in reclaimed water and surface water of Tianjin, China. *Journal of Hazardous Materials*, 9, 77-85.
- Eisler, R. (2000). *Handbook of Chemical Risk Assessment*, vol. 2. Lewis, Boca Raton, FL.
- Fisher, W. S. & Foss, S. S. (1993). A simple test for the toxicity of number two fuel oil and oil dispersants to embryos of grass shrimp, *Palaemonetes pugio*. *Marine Pollution Bulletin*, 98.
- Kiss, G., Varga-Puchony, Z. & Hlavay, J. (1996). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in precipitation using solid-phase extraction and column liquid chromatography *Journal of Chromatography A*, 10, 29-41.
- Latimer, J.S. & Zheng, J. (2003). Sources, transport, and fate of PAHs in the marine environment. In Douben, P.E.T. (Ed.), *PAHs: An Ecotoxicological perspective*. UK: Wiley.
- Law, R. J., Dawes, V.J., Woodhead, R.J. & Matthiessen, P. (1997). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in sea water around England and Wales. *Marine Pollution Bulletin*, 34, 306–322.

- Maskaoui, K., Zhou, J. L., Hong, H. S. & Zhang, Z. L. (2002). Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Jiulong River Estuary and Western Xiamen Sea, China. *Environment Pollution*, 52, 225-232.
- Mohd Tahir, N., Seng, T. H., Ariffin, M., Suratman, S. & Lim Seang Hoe, L. S. (2006). Concentration and distribution of pahs in soils affected by grassland fire. *Malaysia Journal of Analytical Sciences*, 117, 69-75.
- Saim, N., John, R. D., Abdullah, M. P. , Zakaria, Z. (1999). Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbon from contaminated soil using soxhlet extraction. *Journal of Chromatography A*, 81, 12-20.
- Takada, H., Onda, T., Harada, M. & Ogura, N. (1991). Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust from the Tokyo metropolitan area. *Science Total Environment*, 107, 45– 69.
- Unlu, S. & Alpar, B. (2005). Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey). *Chemosphere*, 77, 65-79.
- Zakaria, M. P., Takada, H., Tsutsumi, S., Ohno, K., Yamada, J., Kouno, E. & Kumata, H. (2002). Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic PAHs. *Environ. Science Technology*, 2, 335-351.
-

SITI NORHAFIZA MOHD KHAZAAI, Fakulti Sains Gunaan, Universiti Teknologi MARA Pahang. ctnorhafiza@pahang.uitm.edu.my

Lampiran

Garis Panduan Kualiti Sedimen untuk Perlindungan Hidupan Akuatik Interim

ISQGs : Garis Panduan Kualiti Sedimen Air Tawar Interim

PEL: Tahap Kebarangkalian Memberi Kesan

Sebatian HAP	ISQGs ($\mu\text{g/kg}$)	PEL ($\mu\text{g/kg}$)
Asenaftena	6.71	88.9
Asenaftilena	5.87	128
Antrasena	46.9	245
Benzo[a]antrasena	31.7	385
Benzo[a]pirena	31.9	782
Krisena	57.1	862
Dibenzo[a,h]antrasena	6.22	135
Fluorantena	111	2355
Fluorena	21.2	144
Nafthalena	34.6	391
Fenantrena	41.9	515
Pirena	53.0	875

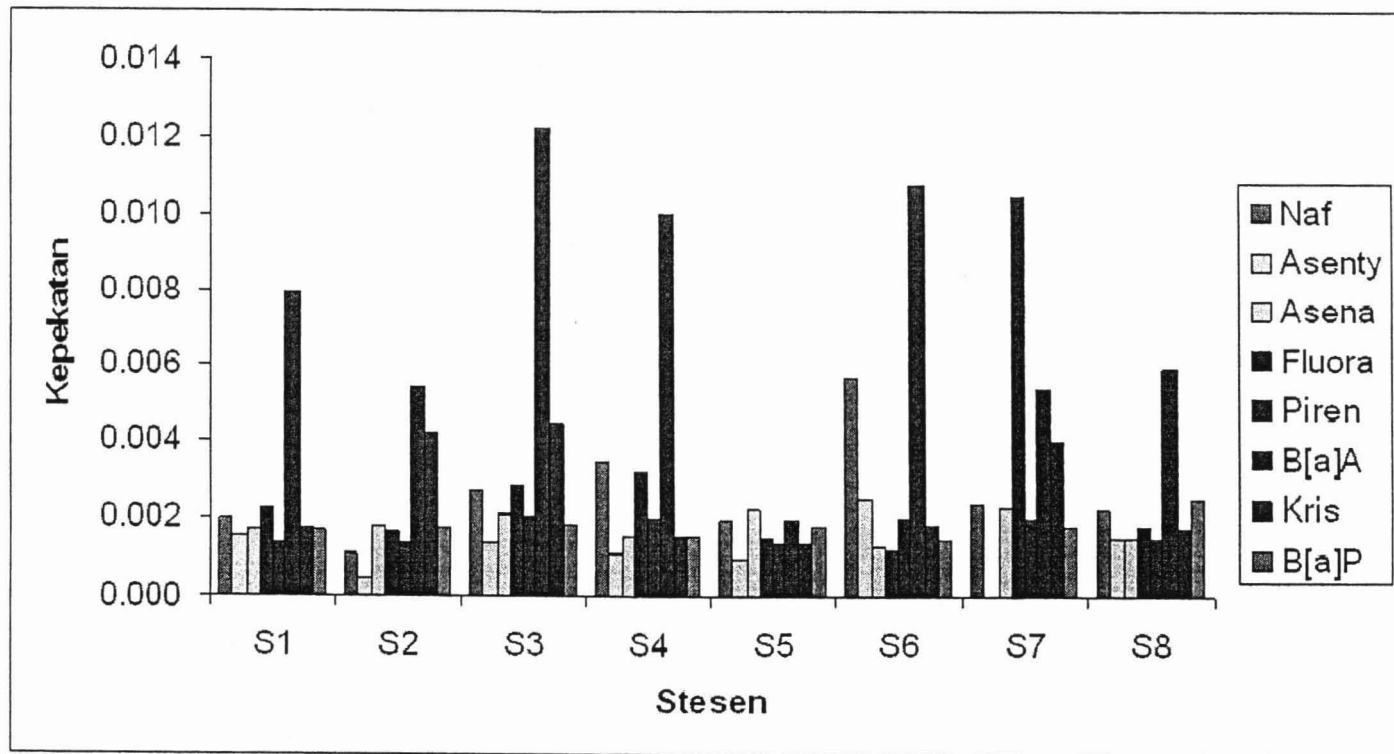
(Sumber : Garis Panduan Kualiti Sedimen Kanada 2001)

Jadual 4.3 Purata Kepekatan Sebatian PAH di dalam Matriks Air ($\mu\text{g/L}$)

Sebatian PAH / Stesen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Naftelena	0.002	0.001	0.003	0.004	0.002	0.006	0.003	0.002
Asenaftilen a	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.000	0.002
Asenaftena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002
Fluorena	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Fenantrena	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Fluorantena	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.011	0.002
Pirena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Benzo[a] antrasena	0.002	0.006	0.012	0.010	0.002	0.011	0.006	0.006
Krisena	0.002	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002
Benzo[a] pirena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
Σ PAH	0.016	0.020	0.029	0.026	0.016	0.029	0.031	0.021

Jadual 4.3 Purata Kepekatan Sebatian PAH di dalam Matriks Air ($\mu\text{g/L}$)

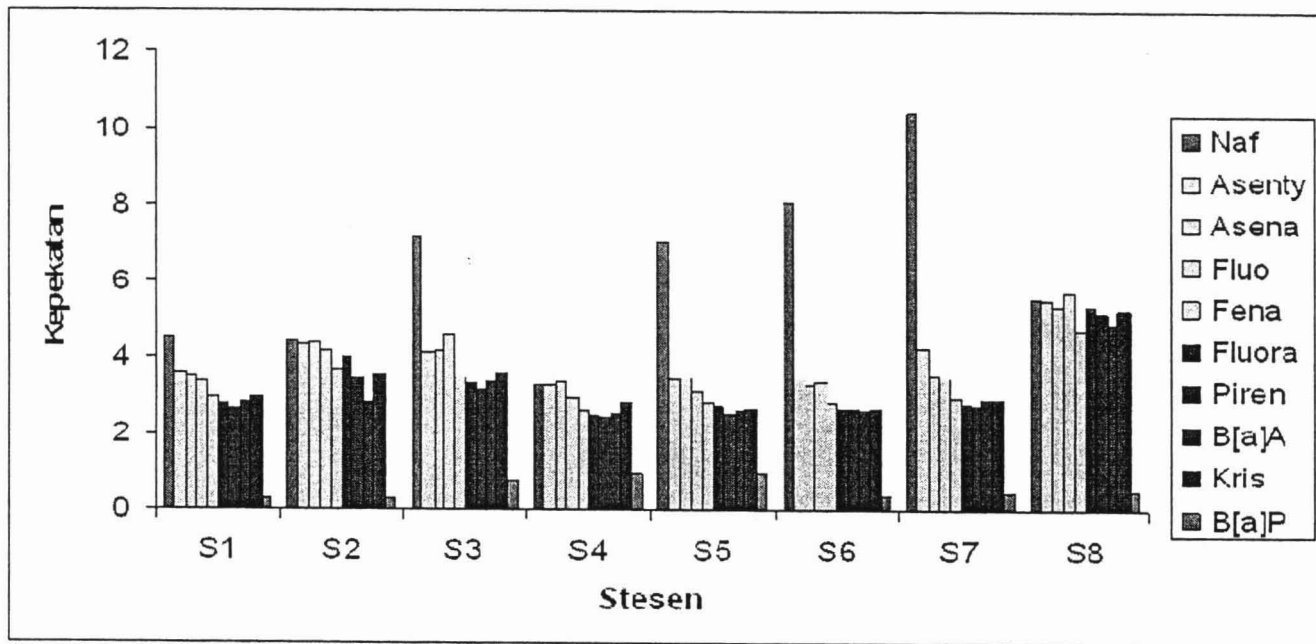
Sebatian PAH / Stesen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Naftelena	0.002	0.001	0.003	0.004	0.002	0.006	0.003	0.002
Asenaftilen a	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.000	0.002
Asenaftena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002
Fluorena	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Fenantrena	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
Fluorantena	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.011	0.002
Pirena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Benzo[a] antrasena	0.002	0.006	0.012	0.010	0.002	0.011	0.006	0.006
Krisena	0.002	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.004	0.002
Benzo[a] pirena	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
Σ PAH	0.016	0.020	0.029	0.026	0.016	0.029	0.031	0.021



Jadual 4.4 Purata Kepekatan Sebatian PAH di dalam Matriks Sedimen (ng/g)*

Sebatian PAH / Stesen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Nafthalena	4.45	4.39	7.18	3.27	7.03	8.10	10.42	5.50
Asenaftilena	3.56	4.30	4.09	3.24	3.40	3.46	4.22	5.45
Asenaftena	3.50	4.36	4.14	3.35	3.45	3.25	3.54	5.34
Fluorena	3.35	4.12	4.53	2.92	3.08	3.36	3.43	5.69
Fenantrena	2.96	3.68	3.42	2.64	2.79	2.80	2.95	4.67
Fluorantena	2.75	4.01	3.29	2.49	2.69	2.67	2.77	5.32
Pirena	2.67	3.42	3.12	2.43	2.51	2.67	2.70	5.15
Benzo[a]antrasena	2.81	2.79	3.33	2.53	2.62	2.62	2.88	4.89
Krisena	2.94	3.54	3.57	2.78	2.66	2.67	2.91	5.22
Benzo[a]pirena	0.28	0.27	0.71	0.95	0.97	0.35	0.45	0.50
Σ PAH	29.31	34.91	37.43	26.64	31.24	31.97	36.31	47.76

* (Berat kering)

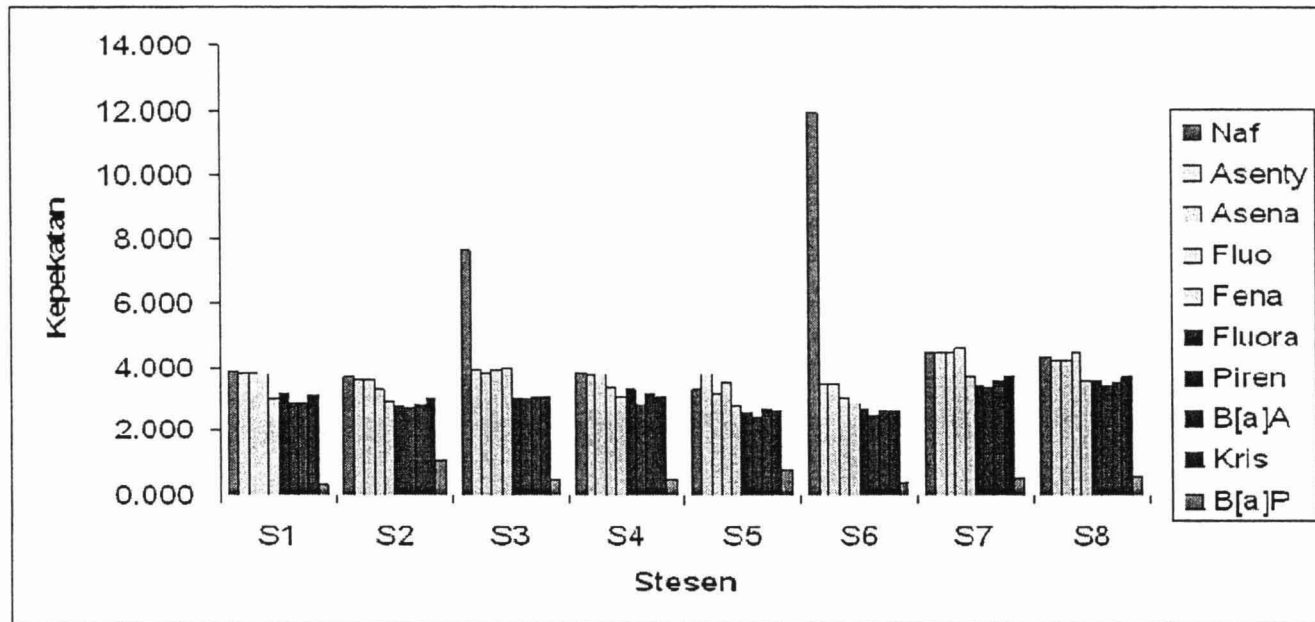


Rajah 4.2 Purata Kepekatan Sebatian PAH (ng/g) dalam Matriks Sedimen

Jadual 4.5 Purata Kepekatan Sebatian PAH di dalam Matriks Tanah (ng/g)*

Sebatian PAH / Ste-sen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Nafthalena	3.90	3.68	7.68	3.83	3.28	11.94	4.47	4.30
Asenaftilena	3.81	3.60	3.96	3.73	3.76	3.47	4.45	4.22
Asenaftena	3.84	3.64	3.80	3.79	3.18	3.43	4.45	4.19
Fluorena	3.78	3.28	3.94	3.36	3.51	3.01	4.56	4.46
Fenantrena	3.05	2.90	3.97	3.07	2.76	2.80	3.69	3.54
Fluorantena	3.20	2.78	3.05	3.29	2.58	2.66	3.42	3.54
Pirena	2.87	2.70	3.05	2.83	2.41	2.45	3.35	3.38
Benzo[a]antrasena	2.87	2.80	3.11	3.18	2.65	2.62	3.566	3.50
Krisena	3.15	3.05	3.06	3.08	2.59	2.63	3.66	3.67
Benzo[a]pirena	0.32	1.05	0.48	0.49	0.73	0.37	0.55	0.55
Σ PAH	30.82	29.52	36.13	30.69	27.48	35.42	36.20	35.40

* (Berat kering)



Rajah 4.3 Purata Kepekatan Sebatian PAH (ng/g) dalam Matriks Tanah

Jadual 4.7 Kolerasi bagi Sebatian PAH dalam Matriks Sedimen dengan Karbon Organik

	<i>Naftalena</i>	<i>Asenafilena</i>	<i>Asenafitena</i>	<i>Fluorena</i>	<i>Fenansena</i>	<i>Fluorantena</i>	<i>Pirena</i>	<i>Benzo[a]A</i>	<i>Kriona</i>	<i>Benzo[a]P</i>	OC
<i>Naftalena</i>	1										
<i>Asenafilena</i>	-0.491	1									
<i>Asenafitena</i>	-0.203	0.847**	1								
<i>Fluorena</i>	-0.054	0.826*	0.963**	1							
<i>Fenansena</i>	-0.160	0.846**	0.993**	0.970**	1						
<i>Fluorantena</i>	-0.207	0.854**	0.986**	0.933**	0.992**	1					
<i>Pirena</i>	-0.154	0.839**	0.969**	0.950**	0.984**	0.983**	1				
<i>Benzo[a]A</i>	-0.041	0.752**	0.905**	0.933**	0.918**	0.890**	0.951**	1			
<i>Kriona</i>	-0.193	0.839**	0.961**	0.968**	0.983**	0.969**	0.986**	0.963**	1		
<i>Benzo[a]P</i>	-0.102	-0.128	-0.202	-0.249	-0.291	-0.278	-0.250	-0.119	-0.169	1	
OC	-0.009	-0.088	0.089	0.047	0.080	0.053	-0.079	-0.234	-0.047	-0.555	1

** Kolerasi adalah signifikan pada aras keertian 0.01 (2-hujung)

* Kolerasi adalah signifikan pada aras keertian 0.05 (2-hujung)

Jadual 4.8 Kolerasi bagi Sebatian PAH dalam Matriks Tanah dengan Karbon Organik

	<i>Naftalena</i>	<i>Asenafalena</i>	<i>Asenafatena</i>	<i>Fluorena</i>	<i>Fenantrena</i>	<i>Fluorantrena</i>	<i>Pirena</i>	<i>Benz[a]A</i>	<i>Kriona</i>	<i>Benz[a]P</i>	<i>OC</i>
<i>Naftalena</i>	1										
<i>Asenafalena</i>	-0.344	1									
<i>Asenafatena</i>	-0.226	0.849**	1								
<i>Fluorena</i>	-0.348	0.979**	0.835**	1							
<i>Fenantrena</i>	0.022	0.765*	0.726*	0.780*	1						
<i>Fluorantrena</i>	-0.344	0.766*	0.912**	0.777**	0.647	1					
<i>Pirena</i>	-0.264	0.893**	0.955**	0.912**	0.837**	0.914**	1				
<i>Benz[a]A</i>	-0.302	0.893**	0.931**	0.860**	0.772*	0.919**	0.954**	1			
<i>Kriona</i>	-0.381	0.855**	0.967**	0.866**	0.678	0.916**	0.966**	0.933**	1		
<i>Benz[a]P</i>	-0.442	-0.126	-0.204	-0.162	-0.230	-0.340	-0.168	-0.138	-0.054	1	
<i>OC</i>	-0.070	0.504	0.707	0.605	0.739*	0.757*	0.767*	0.603	0.682	-0.443	1

** Kolerasi adalah signifikasi pada aras keertian 0.01 (2-hujung)

* Kolerasi adalah signifikasi pada aras keertian 0.05 (2-hujung)