



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Muhammad Bachri Amran

**PERKEMBANGAN ANALISIS SPESIASI
DAN PERANNYA DALAM PENINGKATAN
KUALITAS HIDUP**

27 Februari 2015
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
27 Februari 2015

Profesor Muhammad Bachri Amran

**PERKEMBANGAN ANALISIS SPESIASI
DAN PERANNYA DALAM PENINGKATAN
KUALITAS HIDUP**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: PERKEMBANGAN ANALISIS SPESIASI
DAN PERANNYA DALAM PENINGKATAN KUALITAS HIDUP
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 27 Februari 2015.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis

Data katalog dalam terbitan

Muhammad Bachri Amran
PERKEMBANGAN ANALISIS SPESIASI
DAN PERANNYA DALAM PENINGKATAN KUALITAS HIDUP
Disunting oleh Muhammad Bachri Amran

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2015
vi+56 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-8468-76-3
1. Kimia 1. Muhammad Bachri Amran

KATA PENGANTAR

Berbagai unsur dan senyawa kimia termasuk unsur-unsur renik memainkan peran penting dalam berbagai fungsi kehidupan di planet kita. Meningkatnya kesadaran dan kepedulian masyarakat moderen untuk meningkatkan kualitas hidup memerlukan informasi komprehensif yang berkaitan dengan komposisi, struktur dan fungsi materi yang diperlukan dalam menjalani kehidupan. Secara langsung, informasi tersebut akan sangat diperlukan untuk memahami aspek-aspek lingkungan hidup, kesehatan, barang konsumsi, hukum dan sebagainya. Bagaimana memperoleh, mengolah dan menyampaikan informasi tersebut merupakan kajian dalam bidang kimia analitik. Pendekatan analisis kimia yang tidak lagi mengarah pada penentuan konsentrasi total suatu unsur tetapi pada spesi kimia dimana unsur tersebut terkandung telah menggeser jenis dan makna informasi ke arah yang lebih konprehensif tentang suatu materi.

Dalam orasi ilmiah ini, dipaparkan sekilas perkembangan analisis spesiasi dan perannya dalam peningkatan kualitas hidup. Sebagai bentuk pertanggung jawaban Guru Besar dalam bidang Analisis Renik dan Spesiasi, orasi ilmiah ini berisi capaian penulis serta tantangan yang harus dilalui untuk memacu perkembangan bidang ini ke depan. Hasil-hasil yang diutarakan merupakan alih dan olah ilmu yang diperoleh selama penulis menekuni bidang analisis renik dan spesiasi.

Pada bagian awal diberikan definisi, istilah dan pengertian terkait analisis spesiasi. Bagian berikutnya merupakan rangkuman singkat perkembangan analisis spesiasi dan pada bagian akhir dipaparkan peran analisis spesiasi di beberapa bidang ilmu pengetahuan.

Penulis berharap semoga orasi ilmiah ini dapat bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan memicu peningkatan kualitas hidup.

Bandung, 27 Februari 2015

Muhammad Bachri Amran

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
PENDAHULUAN	1
DEFINISI DAN ISTILAH TERKAIT SPESIASI	4
SPE-SPE KIMIA TARGET	7
TANTANGAN DAN MASALAH DALAM ANALISIS SPESIASI	12
SEKILAS PERKEMBANGAN ANALISIS SPESIASI	16
ANALISIS SPESIASI DALAM PENINGKATAN KUALITAS HIDUP	21
Analisis spesiasi untuk lingkungan hidup	24
Analisis spesiasi untuk pangan dan keamanan pangan	29
Analisis spesiasi untuk ilmu hayati dan kesehatan	33
PENUTUP	37
UCAPAN TERIMA KASIH	39
DAFTAR PUSTAKA	41
CURRICULUM VITAE	45

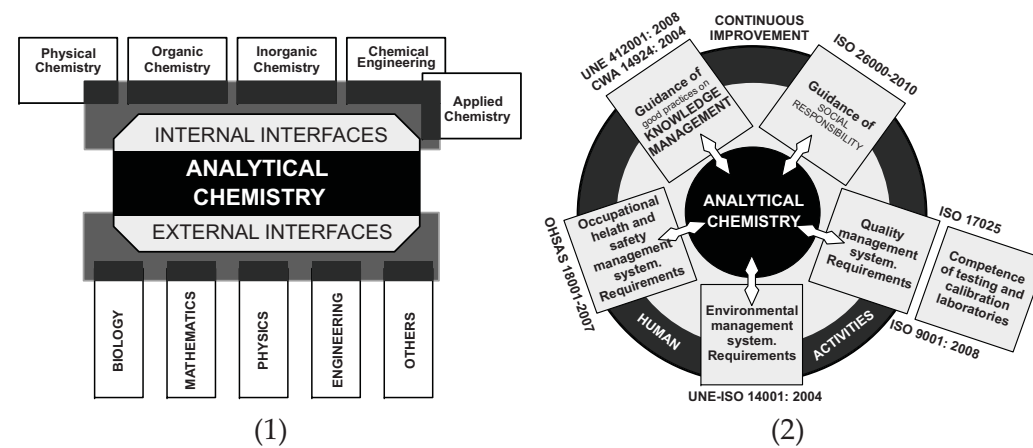
PERKEMBANGAN ANALISIS SPESIASI DAN PERANNYA DALAM PENINGKATAN KUALITAS HIDUP

PENDAHULUAN

Kesadaran dan kepedulian masyarakat yang semakin meningkat pada berbagai aspek dalam menjalani kehidupan telah memicu kenaikan yang sangat signifikan akan kebutuhan informasi. Pergeseran paradigma kehidupan yang mulanya bersandar pada kepuasan hidup (*satisfaction of life*) menjadi kualitas hidup (*quality of life*) juga telah menjadi hal penting yang memacu kebutuhan akan berbagai informasi. Informasi tersebut tidak saja berupa informasi yang langsung dapat dicerna tetapi juga fakta-fakta lain yang memerlukan berbagai pengelolaan sebelum dapat digunakan. Informasi mengenai komposisi, struktur, sifat dan fungsi dari suatu materi sangat diperlukan untuk menjawab berbagai persoalan di berbagai bidang. Semakin membesarnya kepedulian masyarakat, khususnya dalam rangka meningkatkan kualitas hidup, memerlukan informasi khusus yang berkaitan dengan aspek-aspek lingkungan, kesehatan, hukum, legalitas dan sebagainya.

Salah satu cabang ilmu kimia yang erat kaitannya dengan penyediaan informasi seperti ini adalah kimia analitik. Menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)*, kimia analitik adalah disiplin ilmu yang mengembangkan dan menerapkan metode, instrumen, dan strategi untuk mendapatkan informasi mengenai komposisi dan sifat materi

dalam ruang dan waktu tertentu (Moore, et.al. 2002). Secara sangat sederhana, “kimia analitik sebenarnya ilmu mengenai bagaimana memperoleh, mengolah dan menyampaikan informasi mengenai komposisi dan struktur suatu materi”. Oleh karenanya tidaklah mengherankan jika disiplin ilmu kimia analitik ini menempati posisi yang sangat penting untuk penelitian dan pengembangan di hampir semua bidang. Berikut ini adalah gambaran mengenai keterkaitan atau antar muka kimia analitik dengan bidang lain serta norma dan panduan kualitas yang banyak diacu secara global saat ini.



Gambar 1. Keterkaitan kimia analitik dengan (1) berbagai bidang dan (2) norma dan panduan kualitas yang diacu secara global.

Berbagai unsur dan senyawa kimia termasuk unsur-unsur renik memainkan peran penting dalam berbagai fungsi kehidupan di planet kita. Beberapa unsur dapat sangat beracun bagi berbagai bentuk kehidupan, sebagian lainnya dianggap esensial tetapi dapat menjadi

racun pada konsentrasi yang lebih tinggi. Peran, manfaat dan efek-efek lainnya sangat bergantung pada bentuk tertentu di mana unsur tersebut hadir dalam sistem. Kotas, et.al. (2000) menunjukkan bahwa ion kromium (Cr (VI)) misalnya, dianggap jauh lebih beracun dari Cr (III). Di sisi lain, walaupun metilmerkuri dan merkuri anorganik sama-sama beracun, namun keduanya menunjukkan sifat yang berbeda jika dilihat dari toksisitasnya. Bentuk-bentuk kimia yang berbeda dari suatu unsur tertentu atau senyawanya ini disebut sebagai "spesies".

Gagasan bahwa distribusi di antara berbagai spesi akan memiliki pengaruh besar pada perilaku unsur tertentu telah diterima di berbagai bidang seperti toksikologi, kimia klinik, geokimia, dan kimia lingkungan. Tantangan utama dalam mewujudkan gagasan ini adalah bukan hanya bagaimana menentukan konsentrasi total suatu unsur atau senyawa dalam sistem yang dipelajari, tetapi juga bentuk kimia atau spesi yang terdapat didalamnya. Informasi sangat terbatas yang diperoleh dari analisis total unsur renik membatasi usaha memahami lebih mendalam peran unsur renik dalam berbagai aspek ilmu pengetahuan. Perlu diingat bahwa bahkan jika kita tidak tertarik pada spesiasi unsur, keberadaan spesi-spesi tersebut tidak dapat dihindari.

Perkembangan mutakhir dalam instrumentasi dan metodologi analisis memungkinkan untuk mengidentifikasi dan mengukur keberadaan suatu spesi kimia dalam sistem tertentu. Kemungkinan ini melahirkan berbagai temuan ilmiah dimana istilah "spesiasi" digunakan.

Pendekatan analisis kimia yang tidak lagi mengarah pada penentuan konsentrasi total suatu unsur tetapi pada spesi kimia dimana unsur tersebut terkandung telah menggeser jenis dan makna informasi ke arah yang lebih komprehensif tentang suatu materi. Istilah spesiasi bahkan sering juga digunakan untuk hal-hal yang berbeda, termasuk transformasi dan distribusi spesi selain sebagai kegiatan analisis untuk menentukan konsentrasi suatu spesi kimia.

DEFINISI DAN ISTILAH TERKAIT SPESIASI

Dalam berbagai publikasi ilmiah mengenai analisis unsur di era tahun delapan puluhan, istilah spesiasi sudah sering digunakan. Walaupun demikian penggunaan istilah ini yang dipinjam dari bidang biologi, memiliki banyak makna. Praktek ini bertentangan dengan prinsip bahwa suatu istilah ilmiah haruslah didefinisikan dengan baik dan digunakan dengan jelas hanya untuk satu makna tertentu. Sebuah laporan ilmiah pada suatu lokakarya tentang pentingnya spesiasi kimia dalam mempelajari proses-proses yang terjadi di lingkungan, Bernhard, et.al. (1986) mencatat bahwa istilah spesiasi telah digunakan tidak kurang dari empat makna yang berbeda dan menyimpulkan bahwa penggunaan istilah ini lebih baik dihindari atau didefinisikan dengan jelas. Salah satu dari empat makna tersebut adalah "spesifisitas reaksi", yang sangat jarang digunakan sehingga tidak akan dibahas lebih lanjut. Arti lain dari spesiasi berawal dari bidang biologi yang digunakan untuk menggambarkan evolusi suatu

spesies. Dalam teori evolusi, spesiasi menunjukkan perkembangan sifat genetik yang berbeda dalam sub-populasi yang terisolasi, yang mengarah ke spesies yang jelas berbeda dari populasi induknya. Mengacu pada konsep evolusi ini, ahli geokimia dan kimia lingkungan sering menggunakan kata spesiasi untuk menggambarkan transformasi yang terjadi dalam siklus geokimia suatu unsur. Misalnya, untuk menggambarkan perubahan yang terjadi pada saat *leaching* unsur renik dari tanah atau batuan dan distribusi selanjutnya di lingkungan air. Untuk menghindari kebingungan dan kerancuan, maka istilah "transformasi spesies" lebih sesuai untuk menggambarkan proses tersebut.

Pada berbagai laporan ilmiah mengenai analisis unsur renik istilah spesiasi juga banyak digunakan untuk berbagai makna. Istilah spesiasi digunakan untuk menunjukkan komposisi keseluruhan unsur renik dalam suatu sistem (tinjauan statistika), untuk mengekspresikan gagasan mengenai reaksi dan transformasinya (tinjauan kinetika) serta untuk menjelaskan metodologi penentuan unsur renik (tinjauan operasional) (Templeton, et.al. 2000). Dalam kimia analitik, spesiasi dalam arti operasional tampaknya paling tepat digunakan secara eksklusif. Dengan makna ini maka spesiasi merupakan aktifitas analisis kimia untuk mengidentifikasi dan menentukan secara kuantitatif distribusi spesi-spesi kimia unsur renik dalam suatu sistem yang dipelajari. Dengan demikian penggunaan istilah spesiasi dapat digunakan untuk menginformasikan dengan lebih jelas keberadaan bentuk kimia atau spesi kimia dalam suatu

sampel (misalnya: pengukuran metil merkuri dibandingkan dengan penentuan total merkuri). Agar lebih jelas dan tidak memiliki makna lain maka makna operasional dari spesiasi lebih tepat lagi jika menggunakan istilah "analisis spesiasi" (*speciation analysis*) yang berarti suatu aktivitas analisis untuk mengidentifikasi dan mengukur spesi kimia.

Dari berbagai pemaknaan istilah spesiasi di atas maka analisis spesiasi mengarah kepada definisi berikut yang ditetapkan oleh *Commission on Microchemical Techniques and Trace Analysis – Analytical Chemistry Division, IUPAC* (IUPAC Recommendations 2000) sebagai berikut:

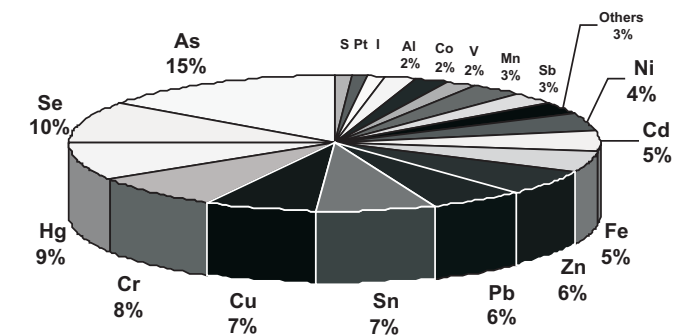
- i. Spesi kimia (*chemical species*) adalah bentuk tertentu dari suatu unsur yang dapat berupa isotop, keadaan elektronik atau oksidasi tertentu, dan/atau molekul kompleks atau struktur molekul tertentu.
- ii. Analisis spesiasi (*speciation analysis*) adalah kegiatan yang memanfaatkan metoda analisis kimia untuk mengidentifikasi dan menentukan jumlah satu atau lebih spesi kimia secara individu dalam sampel.
- iii. Spesiasi suatu unsur (*speciation of an element*) adalah distribusi suatu unsur diantara spesi kimia yang didefinisikan di dalam sistem.

Dalam pembahasan selanjutnya, definisi dan istilah inilah yang akan digunakan. Dengan demikian dapat dipahami mengapa diperlukan teknik atau metoda analisis tertentu untuk melakukan analisis spesiasi karena metoda analisis untuk penentuan unsur secara total tidak mampu memberikan informasi yang dituntut oleh hal-hal di atas.

SPESI-SPESI KIMIA TARGET

Bergantung pada fokus penelitian dalam bidang tertentu, analisis spesiasi secara umum mempelajari unsur yang memiliki perbedaan dalam komposisi isotop, konformasi, keadaan oksidasi dan elektronik, senyawa-senyawa berbeda dari unsur tertentu atau yang dianggap sebagai spesi-spesi kimia yang berbeda. Dengan pengertian ini maka spesi-spesi kimia berikut dianggap sebagai spesi yang berbeda.

- Spesi dengan perbedaan valensi, seperti: As(III)/As(V), Cr(III)/Cr(V), Se(IV)/Se(VI), Sb(III)/Sb(V).
- Spesi logam teralkilasi, seperti: metil-merkuri, etil-timbal, butil-timah, metil-arsenic.
- Senyawa dengan massa molekul besar seperti *metalloprotein* dan *metallophorphyrine*.



Gambar 2. Spesi target dalam analisis spesiasi.

Secara garis besar, diagram di atas memberikan gambaran mengenai spesi dari unsur-unsur yang banyak diteliti hingga saat ini (Amran, 2014).

Terkait dengan jenis spesi dari suatu unsur, analisis spesiasi hingga saat ini umumnya terfokus pada logam transisi (Cr, Ni, Cu, Pt, Hg), unsur logam (Al, Sn, Sb, Pb) dan semi-logam (As, Se). Namun, unsur bukan logam (P, S) dan halogen (I, Br) juga banyak dikaji melalui analisis spesiasi.

Karena umumnya kajian yang dilakukan terkait dengan kekhawatiran tentang resiko lingkungan dan kesehatan pada manusia, sebagian besar analisis spesiasi terfokus pada beberapa spesi kimia tertentu yang dianggap beracun. Publikasi ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2000 – 2010, 50% diantaranya hanya mengkaji lima unsur renik yaitu arsenik, selenium, merkuri, kromium dan timah sedangkan 30% melakukan analisis spesiasi tembaga, seng, timah, kadmium dan besi. Spesi-spesi arsen, selenium, timah dan kromium menarik dipelajari karena memiliki sifat-sifat yang sangat berbeda dan berpengaruh besar dalam aspek kesehatan dan lingkungan. Selenium dengan bilangan oksidasi +4 merupakan spesi yang esensial bagi tubuh manusia tetapi dengan bilangan oksidasi +6 merupakan racun yang kuat (Pedrero, et.al. 2009; Tolu, et.al. 2011). Demikian pula halnya dengan spesi-spesi arsen, arsen anorganik dengan bilangan oksidasi +3 merupakan racun yang sangat kuat, tetapi senyawa arsen organik seperti arsenobetain yang banyak terkandung dalam biota laut merupakan spesi arsen yang sama sekali tidak beracun (Amran, et.al. 1997). Spesi unsur yang berbeda mungkin tidak hanya memiliki perbedaan karakteristik kuantitatif (misalnya toksisitas), tetapi juga secara kualitatif (beracun atau esensial). Jika

senyawa Cr (III) memiliki sifat bioaktivitas yang positif dan karena itu dianggap esensial, namun senyawa Cr (VI) bersifat karsinogenik. Hasil penentuan konsentrasi total karenanya sangat dipertanyakan sebab tidak menggambarkan sifat khas dari spesi tertentu yang berbeda (Amran, et.al. 1999, Bernhard, et.al. 2003).

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, tabel berikut merangkum informasi mengenai toksisitas (LD_{50}) beberapa spesi kimia timah, selenium dan arsen.

Tabel 1. Beberapa spesi arsen, selenium dan timah.

Spesi Kimia	Rumus Molekul	LD50 (mg/kg, rats)
Trimethyltin Hydroxide	$(CH_3)_3Sn^+OH^-$	540
Triphenyltin Hydroxide	$(C_6H_5)_3Sn^+OH^-$	125
Trimethyltin Acetate	$(CH_3)_3Sn^+CH_3COO^-$	9
Triethyltin Acetate	$(C_2H_5)_3Sn^+CH_3COO^-$	4
Tributyltin Acetate	$(C_4H_9)_3Sn^+CH_3COO^-$	> 4000
Selenite dan Selenate	SeO_3^{2-} dan SeO_4^{2-}	2
Selenium disulfide	SeS_2	48
Trimethylselenide	$(CH_3)_3Se$	50
Dimethylselenide	$(CH_3)_2Se$	1.600
Arsine	AsH_3	3
Potassium Arsenite	$KAsO_2$	14
Calcium Arsenate	$Ca_3(AsO_4)_2$	20
Monomethyl Arsonate (MMA)	$(CH_3)H_2AsO_3$	700-1.800
Dimethyl Arsinatate (DMA)	$(CH_3)_2HAsO_2$	700-2.600
Arsenocholine (AsChol)	$(CH_3)_3As^+CH_2CH_2OH$	> 10.000
Arsenobetaine (AsBet)	$(CH_3)_3As^+CH_2COO^-$	> 10.000

Informasi yang diperoleh melalui analisis spesiasi umumnya dimanfaatkan pada bidang-bidang utama berikut ini.

- Analisis resiko lingkungan (*environmental risk analysis*), yang bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya lingkungan dan penilaian kesetimbangan dosis-respons. Hasil penilaian besarnya paparan yang diterima sangat bergantung pada data rinci spesiasi karena karakteristik utama dari komponen berbahaya seperti ekotoksitas, mobilitas dan bioavailabilitas bergantung pada jenis spesi kimianya.
- Pengelolaan limbah (*waste management*), dimana analisis spesiasi mampu memberikan informasi dalam hal memfasilitasi remediasi sehingga dapat menurunkan biaya pengelolaan.
- Kesehatan kerja dan higienitas (*occupational health and hygiene*), akan memperoleh informasi yang sangat berguna dari analisis spesiasi melalui identifikasi paparan spesi kimia beracun, diferensiasi rute paparan yang berbeda, bio-monitoring spesi unsur renik melalui pengukuran biomarker dan kajian kinetika spesi unsur renik dalam tubuh setelah menerima paparan.
- Toksikologi, farmasi, kedokteran, kimia klinik dan biologi, dapat memanfaatkan data spesiasi karena aktivitas biologis, toksisitas, dan jalur metabolisme unsur renik pada manusia dan hewan sangat bergantung pada spesi kimia terlibat. Spesi unsur renik yang banyak dikaji dalam bidang ini antara lain: enzim (Zn), vitamin (Co), metalloprotein (Se), *metallodrug* (Pt), toksin (As, Hg, Cr(VI), Cd, Pb)

dan spesi hasil metabolismenya.

- Ilmu nutrisi (*nutritional sciences*), informasi spesiasi membantu pemahaman yang lebih baik dari spesi kimia unsur renik yang dominan dalam makanan dan perilakunya dalam saluran pencernaan dengan mempertimbangkan bioavailabilitasnya. Data spesiasi juga akan membantu pengambilan keputusan mengenai persyaratan makanan dan perundang-undangan terkait.
- Industri air minum memperoleh manfaat dari data spesiasi, karena toksisitas unsur renik yang terdapat dalam air baku dan kemungkinan untuk menurunkan konsentrasinya sangat bergantung pada spesi kimianya.
- Industri makanan akan mendapat manfaat dari data spesiasi untuk meningkatkan kualitas produknya.
- Industri kimia secara umum dapat mengambil manfaat dari data spesiasi untuk mengoptimalkan proses dan kualitas karena kereaktifan bahan kimia, katalis, produk, produk samping dan limbah bergantung pada spesi kimia yang terlibat.
- Industri petrokimia tertarik pada analisis spesiasi, karena adanya fakta bahwa metalloforfirin dan spesi logam lainnya yang terkandung dalam bahan bakar fosil memiliki perilaku yang berbeda-beda pada proses pengilangan. Selain itu, senyawa-senyawa organo-logam seperti tetraetil-timbal atau trikabonil-(2-metilsiklopentadienil) mangan yang digunakan sebagai bahan imbuhan pada bahan bakar

minyak memiliki perilaku berbeda pada proses pembakaran.

- Industri semikonduktor dapat mengambil manfaat dari analisis spesiasi, karena beberapa proses kimia yang digunakan melibatkan senyawa organologam atau senyawa semi-logam yang memiliki toksisitas yang tinggi, sehingga diperlukan kontrol yang ketat sehubungan dengan proses dan kesehatan kerja.

TANTANGAN DAN MASALAH DALAM ANALISIS SPESIASI

Tantangan utama dalam analisis spesiasi adalah bagaimana mengisolasi, memisahkan dan mengkuantifikasi spesi kimia secara utuh yang mungkin berada dalam keadaan kesetimbangan dengan spesi kimia lainnya dalam suatu sampel yang dipelajari. Pendekatan paling logis yang bisa dilakukan adalah melalui analisis secara insitu atau secara *real-time* di lingkungan alamiah sampel. Namun demikian, sebagian besar perangkat analisis kimia saat ini masih membutuhkan tahapan pengambilan sampel serta berbagai perlakuan awal sebelum dapat dianalisis dengan instrumen analisis di laboratorium. Jelas bahwa pendekatan praktis seperti ini memiliki kelemahan karena memungkinkan terjadinya redistribusi dan transformasi spesi kimia selama tahapan tersebut dilakukan. Oleh karenanya, pendekatan seperti ini memerlukan perhatian dan pemahaman yang baik dalam merancang prosedur konservasi dan perlakuan sampel (Amran, et.al. 2014, Gómez-Ariza, et.al. 2001).

Hal lain yang juga menjadi masalah adalah tahapan ekstraksi spesi

target dari sampel dimana identitas molekular dari analit harus tetap dijaga. Beberapa teknik tandem semiautomatis yang diintegrasikan pada tahapan penyiapan sampel telah mampu memberikan kebolehlungan yang cukup baik dan dapat mempersingkat waktu analisis. Perkembangan lain dalam tahapan penyiapan sampel adalah berupa prosedur ekstraksi atau leaching analit yang melibatkan beberapa jenis interaksi (iradiasi gelombang mikro, agitasi ultrasonik, tekanan tinggi) sehingga analit terekstraksi dari sampel tanpa mengalami transformasi spesi kimia. Prosedur penyiapan sampel sebelum analisis yang melibatkan tahap derivatisasi seperti etilasi dan propilasi menggunakan natrium tetraalkil borat juga dapat digunakan untuk memperoleh efisiensi konversi yang tinggi tanpa transformasi spesi.

Masalah lain dalam analisis spesiasi adalah jaminan kualitas hasil analisis yang kurang memadai dalam hal akurasi dan ketertelusuran keseluruhan proses analisis. Teknik analisis spesi-selektif dengan metoda pengenceran isotop dikembangkan dalam hal ini untuk memantau terjadinya transformasi spesi kimia dan menghindari terjadinya kesalahan pada hasil akhir analisis. Namun, pendekatan ini sangat terbatas pada analisis spesiasi di mana standar unsur dengan komposisi isotop tertentu tersedia. Belum adanya metoda analisis primer atau terstandar untuk analisis spesiasi disebabkan pula oleh tak tersedianya bahan acuan bersertifikat (*certified reference materials, CRMs*) yang dapat digunakan dalam pengendalian kualitas analisis (Amran, et.al. 1999;

Koesmawati, et.al. 2013). Selain itu, hingga saat ini masih sulit untuk memperoleh standar murni dari suatu spesi kimia. Metoda analisis yang ada saat inipun masih sangat rumit dan tidak mudah diadaptasi untuk keperluan analisis rutin. Instrumentasi analitik yang tersedia secara komersial untuk keperluan analisis spesiasi masih terbatas pada tandem kromatografi cair-ICP-MS (*liquid chromatography-inductively coupled plasma-mass spectrometer*, LC-ICP-MS) dan kromatografi gas-MIP-OES (*gas chromatography- microwave induced plasma-optical emission spectrometer*, GC-MIP-OES). Disseminasi metoda-metoda analisis dari laboratorium kimia analitik yang mengkhususkan diri pada analisis spesiasi kepada laboratorium analisis yang bersifat rutin hingga saat ini juga belum banyak dilakukan. Pengembangan instrumen dan metoda baru dalam bidang ini melalui penyediaan instrumen komersial harus dilakukan untuk mengisi kesenjangan ini.

Dari uraian di atas jelas terlihat bahwa kekurangan dalam prosedur analisis spesiasi tidak hanya terletak pada proses pengukuran saja, tetapi juga terjadi pada tahapan-tahapan sebelum langkah penentuan konsentrasi spesi. Selain itu, penyediaan bahan referensi bersertifikat (CRMs), studi interkomparasi dan uji profisiensi adalah hal penting yang harus diupayakan dalam menyelesaikan masalah secara keseluruhan dalam proses analisis spesiasi.

Masalah yang juga sering dijumpai dalam analisis spesiasi adalah terdapatnya kesalahan hasil analisis yang seringkali sulit diprediksi.

Analisis spesiasi melibatkan tahapan yang rumit, rentan terhadap berbagai jenis kesalahan dan jauh lebih rumit dibanding analisis teknik lainnya, karena itu umumnya hanya dilakukan oleh yang berpengalaman dalam bidang analisis kimia. Kesalahan dalam analisis spesiasi dapat bersumber baik berupa kesalahan acak maupun kesalahan sistematis. Kesalahan acak akan mengurangi presisi sementara kesalahan sistematis akan mempengaruhi ketepatan hasil analisis. Kedua jenis kesalahan ini akan memperbesar tingkat ketidakpastian hasil yang diperoleh. Kesalahan sistematis yang khas dalam analisis spesiasi diantaranya adalah: (i) kontaminasi sampel, (ii) kehilangan analit akibat adsorpsi oleh bagian padat dari sampel, wadah sampel atau peralatan analisis, (iii) ekstraksi tak sempurna analit dari matriks sampel, (iv) terjadinya transformasi spesi, (v) kesalahan identifikasi spesi dan (vi) kesalahan kalibrasi (Amran, 2011). Atas dasar inilah metoda analisis dipilih agar dapat memberi informasi yang berarti untuk menjawab permasalahan tersebut. Tergantung pada asal-usul sampel (kompartemen lingkungan, tubuh manusia, makanan, produk industri) maka setiap informasi analitik yang diperlukan akan terkait dengan aktifitas spesifik dari spesi kimia target, seperti: kereaktifan kimia, fisika dan biologis serta toksisitas, mobilitas, bioavailabilitas, waktu hidup, transport, transfer dan metabolismenya. Karakteristik dari masing-masing spesi terkait ini menyebabkan data mengenai konsentrasi total suatu unsur tidak akan memberikan informasi yang relevan.

SEKILAS PERKEMBANGAN ANALISIS SPESIASI

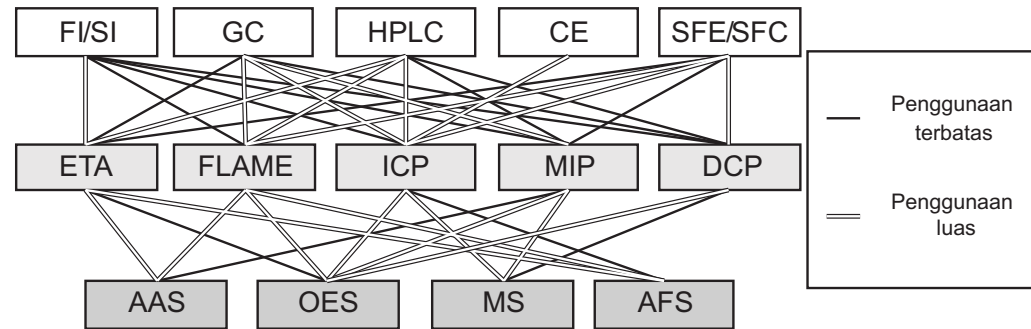
Pesatnya perkembangan analisis instrumental senyawa anorganik setelah Perang Dunia II, terutama didorong oleh perkembangan spektrometri atom, memungkinkan komunitas kimia analitik untuk melihat lebih jauh peran unsur renik di berbagai bidang seperti bidang kesehatan, lingkungan hidup, geokimia dan ilmu material. Konsep analisis unsur renik tumbuh cepat selama tiga dekade setelah PD II dan memberikan dampak yang besar pada perkembangan sosial, ekonomi dan politik seperti munculnya gerakan ekologi dan konsep perlindungan lingkungan. Selama periode ini analisis unsur renik memainkan peran utama dalam memahami bioaktivitas, toksisitas dan karakteristik suatu material. Dalam isu-isu lingkungan, semakin disadari bahwa distribusi, mobilitas dan bioavailabilitas unsur kimia tidak hanya tergantung pada konsentrasi total unsur tetapi sangat dipengaruhi oleh hubungan dan interaksi fisikokimia di alam.

Konsep spesiasi berkembang sangat lambat ditahun 1950-an, barulah diakhir tahun 1980-an mulai bangkit seiring dengan berkembangnya instrumen analisis yang memiliki kemampuan mengukur konsentrasi renik dalam sampel lingkungan dan biologis. Informasi dari analisis spesiasi digunakan untuk mengungkap setidaknya beberapa spesi kimia penting dari suatu unsur yang diperlukan dalam rangka memahami transformasi antar spesi, konsekwensinya dalam assesmen resiko, toksikologi dan bio-aktivitas. Oleh karena itu ilmu spesiasi merupakan

disiplin ilmu yang relevan dengan ilmuwan dari berbagai latar belakang. Kimiawan, ahli toksikologi, ahli biologi, ilmuwan tanah dan sedimen, fisikawan, ahli nutrisi dan obat-obatan memerlukan jenis informasi yang diperoleh dari analisis spesiasi.

Peralatan analisis untuk analisis spesiasi banyak ragamnya, namun sangat sedikit metoda analisis yang bersifat spesi-spesifik yang memungkinkan analisis spesiasi secara langsung. Beberapa diantaranya adalah spektroskopi Mössbauer, X-ray fotoelektron spektroskopi (XPS), resonansi magnetik inti (NMR), resonansi spin elektron (ESR) dan tandem spektrometer massa. Peralatan yang lebih umum untuk spesiasi unsur renik adalah kombinasi dari teknik pemisahan dengan teknik deteksi yang sangat sensitif. Pada awalnya, kombinasi tersebut dilakukan secara tak langsung (*off-line*) mulai dari penyiapan sampel yang selanjutnya diikuti dengan langkah deteksi. Barulah pada awal tahun 1990 mulai diperkenalkan teknik tandem (*hyphenated techniques/coupling techniques*) yang menggabungkan metoda pemisahan dengan metoda deteksi spesifik unsur secara *on-line*. Banyak keunggulan yang dimiliki oleh teknik tandem ini seperti mudahnya otomatisasi, singkatnya waktu analisis, banyaknya jumlah sampel yang dapat dianalisis per satuan waktu dengan reproduktivitas yang baik, berkurangnya resiko terjadinya transformasi spesi, berkurangnya kontaminasi karena sistemnya merupakan sistem tertutup dan tingginya derajat informasi yang diperoleh karena meningkatnya selektivitas teknik yang ditandemkan. Berbagai teknik

pemisahan telah berhasil digabungkan dengan teknik deteksi yang sensitif (Gambar 3).

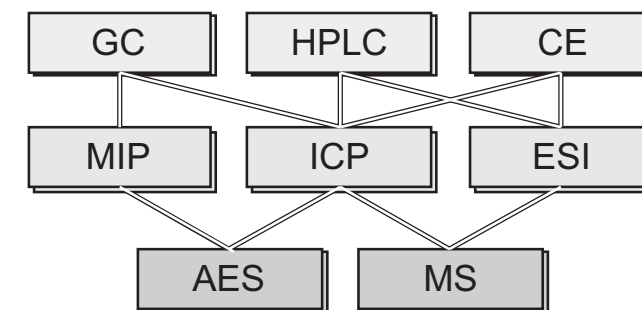


Gambar 3. Tandem yang memungkinkan antara teknik pemisahan dan teknik deteksi. (FI/SI: Flow Injection/Sequential Injection, GC: Gas Chromatography, HPLC: High Performance Liquid Chromatography, CE: Capillary Electrophoresis, SFE/SFC: Supercritical Fluid Extraction/ Chromatography, ETA: Electro Thermal Atomic Absorption, FLAME: Flame Excitation, ICP: Inductively Coupled Plasma, MIP: Microwave Induced Plasma, DCP: Direct Current Plasma, AAS: Atomic Absorption Spectrometry, OES: Optical Emission Spectrometry, MS: Mass Spectrometry, AFC: Atomic Fluorescence Spectrometry).

Pada awal perkembangannya, teknik-teknik pemisahan seperti *flow injection/sequential injection* (FI/SI), kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC), kromatografi gas (GC), elektroforesis kapiler (CE) dan kromatografi fluida superkritis (SFC) lazim ditandemkan dengan teknik deteksi spesifik unsur. Dari beberapa teknik pemisahan yang telah disebutkan diatas, kromatografi cair luas digunakan karena kemudahannya dikombinasikan dengan berbagai teknik deteksi. Karena tujuan analisis spesiasi adalah mencari informasi mengenai unsur renik bahkan

ultra-renik maka teknik deteksi yang digunakan harus memiliki sensitifitas yang sangat baik. Beberapa diantaranya adalah: spektrometri serapan atau emisi atom (AAS, AES/OES), spektrometri fluoresensi atom (AFS) dan spektrometri massa. Sumber pengeksitasi atom seperti nyala kimia, tungku kuarsa atau grafit, *microwave-induce plasma* (MIP), *inductively coupled plasma* (ICP), *direct current plasma* (DCP) dan *glow discharge sources* (GDS) telah digunakan dalam kaitannya dengan teknik deteksi di atas.

Saat ini, beberapa instrumen untuk analisis spesiasi telah dikomersialkan seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. Beberapa teknik tandem yang banyak digunakan.

Sepuluh tahun terakhir, perkembangan analisis spesiasi terutama didorong oleh kemampuan ICP-MS dalam penentuan komposisi isotop dan penentuan spesi melalui pengenceran isotop. Walaupun demikian, lambannya perkembangan dan ketersediaan bahan referensi bersertifikat (*certified reference materials*, CRMs) sangat mempengaruhi perkembangan

analisis spesiasi. CRMs adalah bahan utama bagi laboratorium kimia analitik untuk memantau kinerja analitik suatu metoda analisis. Seperti halnya pada bidang-bidang pengukuran lainnya, analisis spesiasi membutuhkan ketersediaan bahan referensi yang sesuai untuk memverifikasi dan memvalidasi akurasi serta penjaminan mutu hasil analisis yang diperlukan. Salah satu terobosan besar dalam ilmu spesiasi adalah identifikasi metil-merkuri dalam jaringan biologis (tragedi Minamata Jepang) dan organo-timah dalam matriks lingkungan (tiram teluk Arcachon Perancis).

Kesadaran masyarakat yang bersinergi dengan kebutuhan dari laboratorium analisis terkait pengontrolan kualitas analisis serta organisasi-organisasi seperti *National Institute for Environmental Sciences*, NIES (Japan) dan *The National Research Council*, NRCC (Canada) memicu pelaksanaan kajian antar-laboratorium (*interlaboratory comparison studies*) untuk kedua spesi tersebut. Pada akhir tahun 1980-an, komisi Eropa (*European Commission*) melalui *Community Bureau of Reference* (BCR) mulai meluncurkan serangkaian proyek yang ditujukan untuk peningkatan kualitas analisis spesiasi Al, As, Hg, Pb, Se dalam berbagai matriks biologi dan lingkungan termasuk spesi-spesi yang dapat terekstraksi dari tanah dan sediment (Amran, et.al. 1999). Dengan upaya bersama ini, beberapa CRMs telah tersedia secara komersial dan setidaknya dapat menjadi titik awal yang baik untuk mengontrol kualitas dan pengembangan analisis spesiasi.

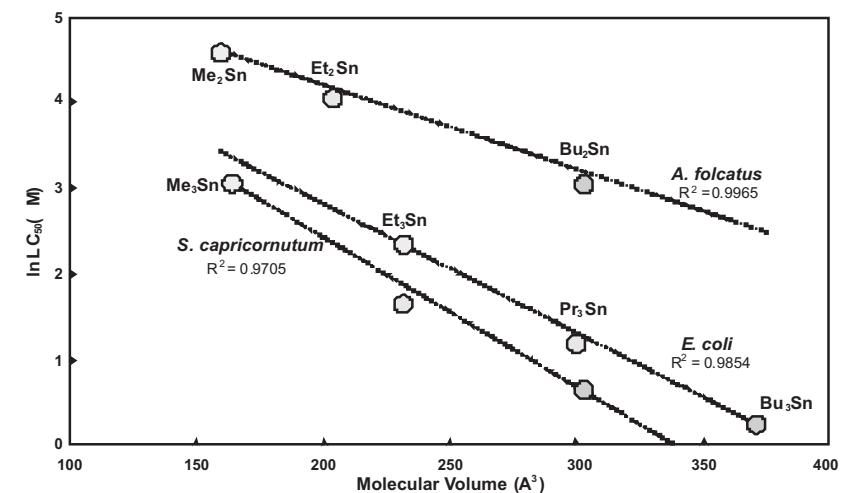
ANALISIS SPESIASI DALAM PENINGKATAN KUALITAS HIDUP

Setiap kali diperoleh data hasil analisis spesiasi, informasi tersebut umumnya dimaksudkan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan mengenai: (i) jenis dan konsentrasi spesi kimia yang ada dan (ii) apakah ada risiko atau manfaat yang terkait dengan spesi terkait. Tergantung pada jenis sampel (kompartemen lingkungan, tubuh manusia, makanan, produk industri) pertanyaan tersebut juga akan terkait dengan aktivitas spesifik spesi kimia, seperti: bioaktivitas, toksisitas, mobilitas, bioavailabilitas, waktu hidup, transport, transfer, metabolisme dan keaktifan kimia dan fisiknya. Karena karakteristik ini terkait dengan spesi kimia yang ada, maka data tentang konsentrasi totalnya tidak akan memberikan informasi yang relevan. Lain halnya dengan analisis spesiasi yang mampu memberikan informasi yang sesuai untuk menggambarkan efek dari spesi kimia aktif dalam sampel. Oleh karena itu dapat dimaklumi jika konsep berdasarkan analisis total telah bergeser secara bertahap kearah konsep yang lebih bermakna dengan menggunakan informasi spesiasi untuk memahami toksisitas, esensialitas, pencemar dan bahan berbahaya di lingkungan serta perannya pada nutrisi dan kesehatan. Informasi tambahan yang diperoleh ini sangat berguna dalam mengambil tindakan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses produksi, mengurangi resiko kesehatan yang berhubungan dengan spesi beracun yang selanjutnya akan berujung pada peningkatan pemahaman tentang kehidupan dan lingkungan yang lebih baik. Pemahaman yang lebih baik ini akan memberi makna yang penting dalam peningkatan kualitas hidup.

Walaupun istilah, definisi dan cara mengukur mengenai kualitas hidup sangat beragam, namun semuanya paling tidak mencakup aspek kesehatan dan lingkungan hidup. Kedua aspek ini sangat dipengaruhi oleh berbagai hal seperti resiko lingkungan, pengelolaan limbah, gizi dan keamanan pangan, paparan spesi kimia beracun, kualitas produk yang dikonsumsi, pelayanan kesehatan khususnya penegakan diagnosa penyakit berdasarkan hasil analisis laboratorium serta siklus biogeokimia suatu unsur. Sebagai contoh, nilai gizi dari produk makanan dapat ditingkatkan dengan menggunakan informasi tambahan tentang bioavailabilitas spesi kimia yang dikandungnya. Yang berguna bukan kandungan total besi dalam susu atau roti, tetapi ketersediaan spesi besi yang dapat dimetabolisme oleh tubuh. Sama halnya dengan melarang peredaran ikan di pasar karena kandungan total arsen yang tinggi, karena sesungguhnya spesi arsen terbanyak pada ikan adalah senyawa arsenobetain yang merupakan spesi arsen tak beracun (Amran, et.al. 2011). Demikian halnya dengan Cr (III) yang merupakan spesi yang memainkan peran positif dalam metabolisme glukosa manusia, sementara spesi Cr (VI) diklasifikasikan sebagai karsinogen. Beberapa indikasi juga menunjukkan bahwa beberapa spesi organo-selenium merupakan *scavengers* radikal bebas dan dapat mengurangi resiko beberapa jenis kanker pada manusia. Pengembangan suplemen makanan atau sediaan farmasi bagaimanapun selayaknya didasarkan pada informasi mengenai spesi aktif untuk mengurangi resiko efek samping.

Dalam toksikologi klasik, spesiasi unsur karbon umum digunakan

sebagai acuan untuk evaluasi toksisitas dan selalu digambarkan melalui nomenklatur kimia yang sesuai. Sebaliknya, spesiasi unsur lain diabaikan dan selalu dianggap sebagai spesi beracun karena bukti-bukti yang diperoleh sangat terbatas pada beberapa spesi saja. Sebagai contoh, arsen sering disinonimkan dengan racun, namun kenyataannya arsen yang ditemukan pada ikan dan biota laut lainnya sebenarnya tidak berbahaya sebagaimana garam meja yang dihasilkan dari air laut. Toksisitas dari spesi arsenobetain dan arsenokolin yang ditemukan pada biota laut tidak lebih beracun dari aspirin, sedangkan spesi arsenit toksisitasnya setara dengan strikhnin ($LD_{50} = 1 \text{ mg/kg}$ berat badan jika dikonsumsi melalui mulut). Hal serupa dimiliki oleh spesi organo-timah, dimana toksisitas senyawa di- dan tri-organotimah bergantung pada organisme sasaran dan merupakan fungsi dari volume molekular spesi, bukan hanya karena keberadaan unsur timah di dalam molekul (Luedke et.al. 1991).



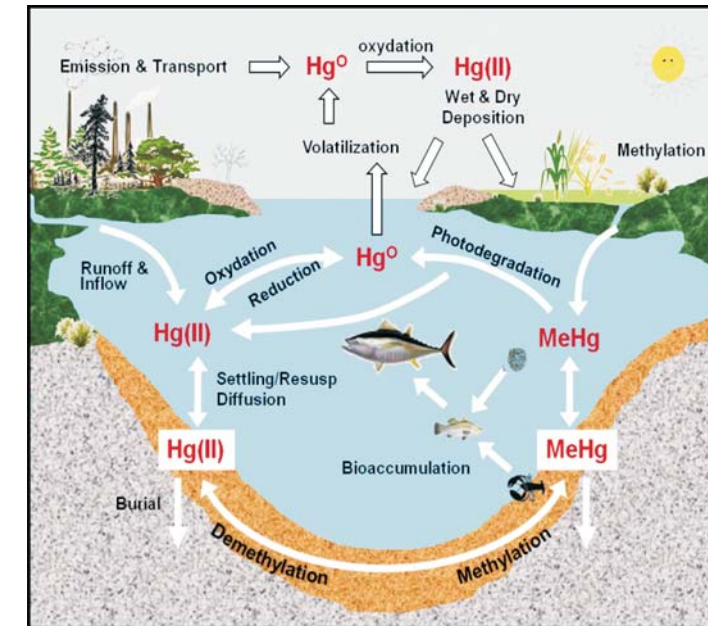
Gambar 5. Toksisitas di- dan tri-organotimah pada beberapa organisme sebagai fungsi volume molekular.

Toksistas spesi logam dapat dipengaruhi oleh faktor penyerapan (ketersediaan fisik, jika logam terikat kuat pada suatu materi pengadsorpsi maka bioavailabilitasnya rendah), distribusi (transportasi internal dalam organisme ke jaringan target) dan biotransformasi (akumulasi, biomodifikasi, detoksifikasi dan ekskresi dari jaringan). Oleh sebab itu studi toksikologi harus selalu mempertimbangkan spesi terlibat dan bukan unsurnya agar diperoleh informasi yang bermakna. Terkait dengan penilaian resiko dan perundang-undangan, menjadi jelas bahwa kegagalan dalam mempertimbangkan dengan benar spesiasi unsur selain karbon akan mengabaikan penggunaan sumber daya alamiah yang penting. Berikut ini diberikan ilustrasi peran analisis spesiasi dalam beberapa bidang.

Analisis spesiasi untuk lingkungan hidup

Analisis spesiasi sangat diperlukan dalam bidang lingkungan hidup untuk memberikan informasi mengenai status serta proses-proses yang terlibat dalam emisi, degradasi, transformasi, bioakumulasi, biomagnifikasi dan kemungkinan bentuk akhir dari materi di berbagai kompartemen lingkungan. Dalam perjalanannya di lingkungan, suatu unsur atau senyawa dapat saja membentuk spesi kimia baru atau terdegradasi menjadi spesi kimia yang lain. Transformasi dan/atau redistribusi spesi tersebut dapat terjadi melalui proses yang melibatkan reaksi-reaksi kimia seperti oksidasi/reduksi, metilasi/demetilasi,

fotodegradasi, bioakumulasi dan biotransformasi. Untuk spesi merkuri, berbagai proses tersebut diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 6. Siklus biogeokimia merkuri di lingkungan.

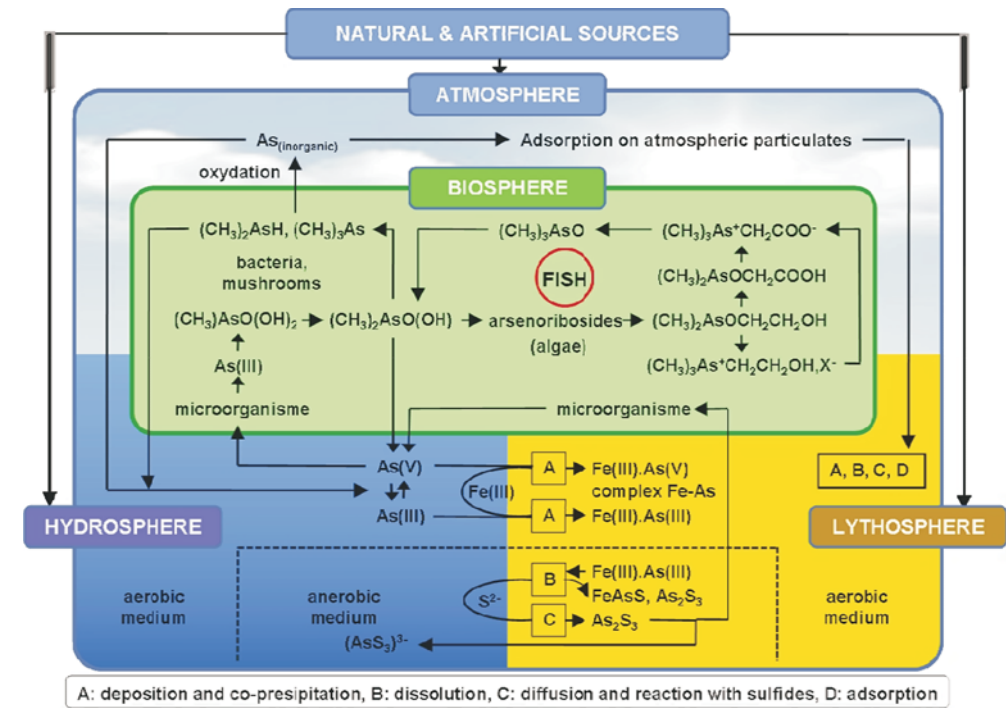
(adaptasi dari: <http://www.speciation.net/Public/Document/2014/03/29/7130.html>)

Analisis spesiasi dalam hal ini menyediakan data dan informasi yang diperlukan seperti: (i) data emisi, transport dan pertukaran materi antara kompartemen lingkungan yang berbeda, (ii) data kimia, geokimia, biogeokimia polutan yang berbeda dan bahan lainnya dalam lingkungan, (iii) data bioaksesibilitas, bioavailabilitas dan toksistas polutan terhadap tumbuhan, hewan dan manusia, (iv) efek kimia dan fisika polutan terkait dengan neraca energi, aliran massa dan energi. Jika tujuan yang ingin dicapai adalah pemahaman mengenai proses dan perjalanan spesi kimia

melalui kompartemen lingkungan serta transformasinya melalui proses biogeokimia maka analisis spesiasi mutlak dilakukan. Dengan demikian mudah dipahami mengapa analisis spesiasi meningkat penggunaannya dalam analisis lingkungan. Dalam rangka mengembangkan metoda analisis spesiasi untuk senyawa arsen dan mengungkap proses-proses yang terjadi di lingkungan serta melengkapi siklus biogeokimia unsur arsen telah dilakukan analisis spesiasi arsen dari beberapa biota laut dengan menggunakan teknik tandem kromatografi pasangan ion fasa terbalik-FIA-HG-QFAAS (IPRPC-FIA-HG-QFAAS) dan kromatografi ion-ICP/OES (Amran, et.al. 1997, 2010, 2013). Spesi arsen yang terkandung dalam biota laut tersebut khususnya pada ikan merupakan spesi arsenobetain yang tidak beracun. Serupa dengan yang ditemukan pada ikan tuna Indonesia di mana lebih dari 95 % spesi arsen terdapat dalam bentuk arsenobetain (Koesmawati, et.al. 2013). Melalui kajian tersebut, untuk pertama kalinya telah disarankan siklus biogeokimia arsen yang lebih lengkap pada kompartemen biosfer.

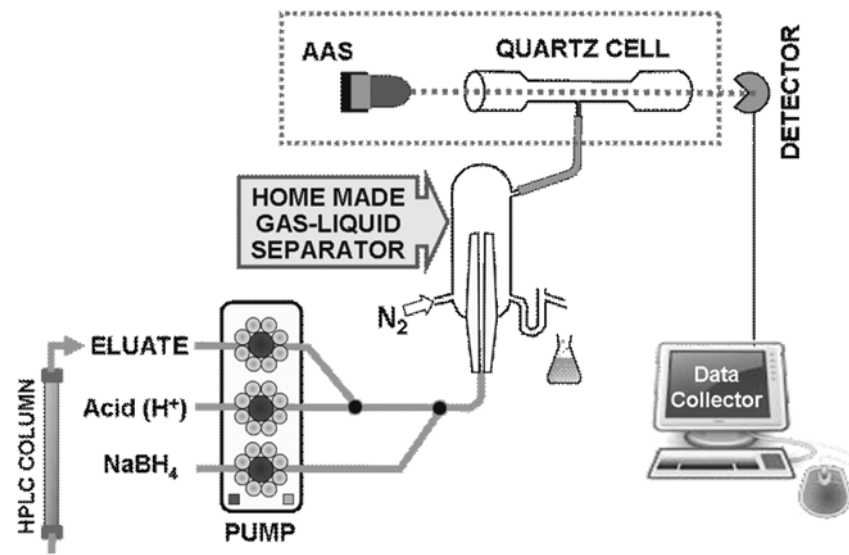
Di kompartemen ini terlihat bagaimana spesi arsen anorganik dapat ditransformasi menjadi spesi arsen organik melalui proses biometilasi oleh berbagai mikro-organisme. Pada siklus biogeokimia ini terlihat pula bagaimana spesi arsen anorganik dan arsen termetilasi yang memiliki toksisitas tinggi ditransformasi lebih lanjut menjadi gula arsen (arsenoribosida). Spesi yang disebutkan terakhir ini oleh ikan dapat dimetabolisme menjadi senyawa arsenokholin dan/atau arsenobetain.

Kedua senyawa arsen ini merupakan spesi arsen yang memiliki tingkat toksisitas sangat rendah bahkan dapat dikatakan tidak beracun.



Gambar 7. Siklus biogeokimia arsen.

Untuk keperluan analisis resiko lingkungan, Panggabean, et.al (2009) dan Amran et.al (2010) telah mengembangkan dan memvalidasi teknik tandem HPLC-FIA-HG-QFAAS dan menggunakannya untuk analisis spesiasi senyawa-senyawa organotimah. Secara skematik, konstruksi teknik tandem yang digunakan diilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Representasi skematik teknik tandem HPLC-FIA-HG-QFAAS (Amran, et.al. 2010).

Gas-liquid separator (GLS) yang digunakan merupakan GLS yang didesain dan dikembangkan sendiri yang memiliki kinerja pemisahan yang jauh lebih baik dibanding GLS komersial yang tersedia. Dengan GLS ini, sensitifitas analisis dapat ditingkatkan hingga puluhan kali. Contoh sedimen yang diambil dari sungai Mahakam menunjukkan selain keberadaan timah anorganik, terdapat pula senyawa organotimah berupa mono-butiltimah (MBT), di-butiltimah (DBT) dan tri-butiltimah (TBT). Keberadaan MBT dan DBT dalam jumlah signifikan menguatkan dugaan terjadinya proses demetilasi TBT yang bersumber dari cemaran cat antifouling lambung kapal. *Ambient Aquatic Life Water Quality Criteria* untuk spesi TBT yang diterbitkan oleh *The United States Environmental Protection Agency* (USEPA), menetapkan kriteria efek kronis di air tawar

sebesar 72 ng/L dan efek toksik akut sebesar 460 ng/L. Untuk air laut, kriteria yang sesuai untuk efek kronis adalah 7,4 ng/L sedangkan untuk efek toksik akut sebesar 420 ng/L. Kriteria ini dapat menjadi dasar untuk standar kualitas air di suatu negara. Hasil kuantisasi masing-masing spesi pada sedimen sungai Mahakam menunjukkan pula bahwa kecendrungan teradsorpsinya spesi organo-timah pada sedimen adalah MBT<DBT<TBT, sesuai dengan yang dilaporkan oleh Yozukmaz, et.al. (2011) untuk sedimen laut Aegean Turki.

Analisis spesiasi untuk pangan dan keamanan pangan.

Informasi yang lebih bermakna yang diperoleh dengan analisis spesiasi tidak hanya merupakan prasyarat untuk mengevaluasi nilai gizi atau menilai resiko kesehatan yang berhubungan dengan spesi beracun dalam bahan makanan, tetapi juga berguna untuk mengkarakterisasi makanan. Salah satu topik utama dalam mengevaluasi nilai gizi makanan adalah bioavailabilitas nutrien, mineral dan unsur renik. Karena bioavailabilitas sangat bergantung pada spesi kimia nutrien target maka analisis spesiasi atau setidaknya analisis fraksinasi terkait dengan bioavailabilitas menjadi sangat penting dalam analisis bahan makan. Bioavailabilitas juga tergantung pada interaksi senyawa sasaran dengan bahan-bahan lain dari bahan makanan. Untuk mempelajari interaksi, reaksi pengkompleksan dan transformasi spesi, maka analisis kimia harus memberikan informasi mengenai keberadaan spesi-spesi terlibat. Informasi yang diperoleh dari analisis spesiasi dalam hal ini dapat

digunakan untuk meningkatkan karakteristik produk makanan terutama yang terkait dengan nilai gizi (mineral, bioavailabilitas spesi Fe, Ca, Zn, Se, Co dan Cr).

Topik lain dalam analisis makanan adalah penilaian resiko kontaminan dan spesi beracun lainnya. Toksisitas suatu unsur seperti merkuri, arsenik atau timbal sangat bergantung pada spesinya. Oleh sebab itu hanya dengan analisis spesiasi dapat diperoleh informasi yang memungkinkan dilakukannya evaluasi mengenai resiko kesehatan yang terkait dengan keberadaan spesi kimia berbahaya tersebut. Selain analisis logam berat (Cu, Cd, Pb, Hg), analisis spesiasi unsur arsen dalam bahan makanan menarik banyak perhatian karena unsur ini selalu dikaitkan dengan toksisitasnya. Dengan menggunakan teknik tandem HPLC-FIA-HG-QFAAS serta HPLC-ICP/MS, Amran et.al (2000) telah melakukan analisis spesiasi arsen dalam beberapa biota laut. Kandungan spesi arsen dalam biota laut tersebut dirangkum dalam tabel 2.

Tabel 1. Beberapa spesi arsen, selenium dan timah.

Sample	Concentration, $\mu\text{g As/g}$ (dry weight)				
	[As] _{total}	AsBet	DMA	As(V)	Unk.
Ray fish	96.1 \pm 4.3	96	ND	ND	
Plaice fish	53.1 \pm 1.5	48.8	ND	ND	
Cod fish	10.1 \pm 0.5	9.9	0.1	0.06	
Shrimp	3.8 \pm 0.1	1.8	< DL	ND	D
Clams	25.0 \pm 0.3	22.1	< DL	ND	D
Mediterranean tuna fish	5.7 \pm 0.1	5.4	0.2	0.05	D
Indonesian tuna fish	3.3 \pm 0.3	3.3	ND	ND	

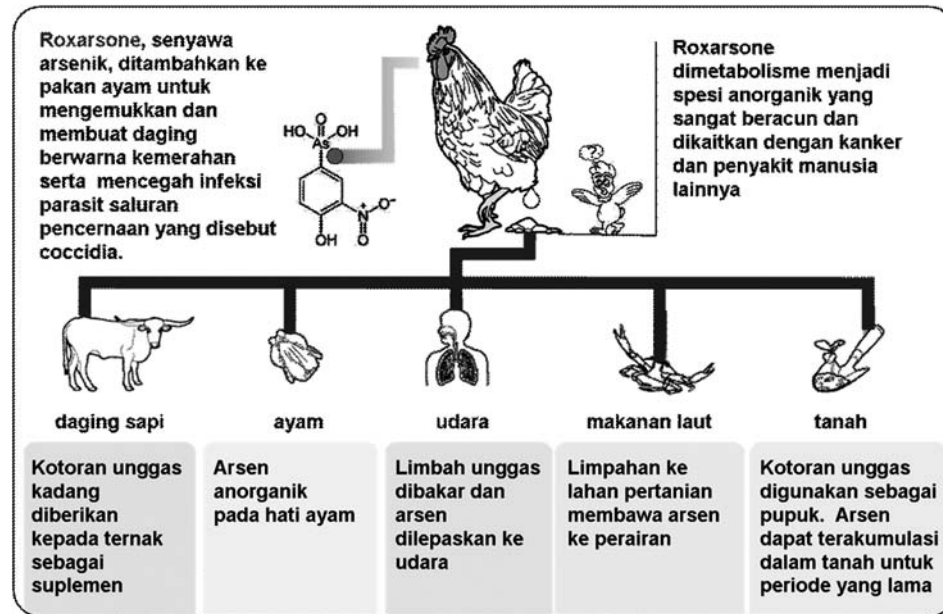
AsBet: Arsenobetain, Unk: Unknown As species, ND: Not Detected, D: Detected, <DL: Below Detection Limit.

Jika hanya dilakukan analisis arsen total, maka tak satupun dari sampel yang dianalisis aman untuk dikonsumsi mengingat kandungan arsen totalnya yang tinggi. Berbeda jika dilakukan analisis spesiasi, karena kandungan arsen dalam sampel sebagian besar adalah spesi arsenobetain yang tidak beracun. Walaupun bagi kebanyakan orang spesi arsen umumnya disinonimkan dengan racun, telah nyata terbukti bahwa kandungan utama spesi arsen dalam makanan laut adalah senyawa arsenobetain, arsenokolin dan gula-arsenik yang tidak beracun. Konsentrasi total arsen dalam makanan laut sama sekali tak memberi makna mengenai resiko kesehatan akibat konsumsi makanan laut dan oleh karena itu seharusnya tidak menjadi kriteria perdagangannya. Perbedaan makna informasi yang diperoleh ini akan sangat berpengaruh pada penilaian keamanan dan kelayakan suatu produk pangan untuk dipasarkan atau dikonsumsi.

Berbeda dengan biota laut dimana paparan arsen umumnya diperoleh dari sumber antropogenik atau alamiah, beberapa unggas yang ditenak seperti ayam justru diberi asupan spesi arsen sebagai suplemen makanan.

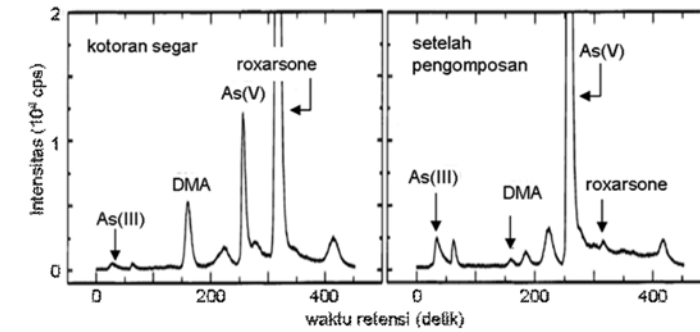
Senyawa arsen yang banyak dicampurkan ke dalam pakan ternak sebagai suplemen makanan untuk mempercepat pertumbuhan dan anti parasit pada saluran pencernaan adalah roxarsone (3-nitro-4-hydroxyphenyl arsonic acid). Pada ayam, roxarsone dapat dimetabolisme menjadi spesi arsen yang lebih beracun. Spesi-spesi arsen hasil

metabolisme ini kemudian dapat ditemukan pada kotoran yang diekskresikan. Dengan berbagai proses, spesi tersebut selanjutnya dapat terdistribusi di lingkungan.



Gambar 9. Roxarsone: metabolisme dan emisi arsen di lingkungan

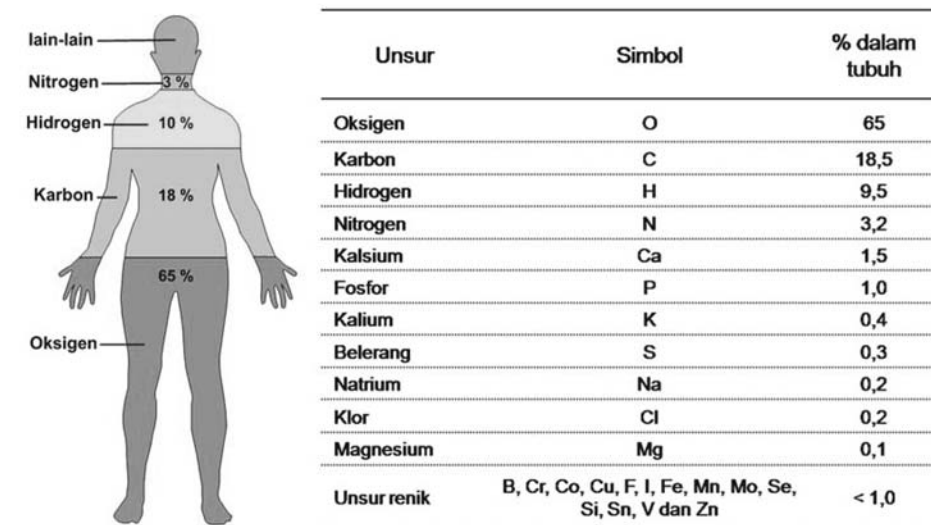
Transformasi senyawa roxarsone di lingkungan paling tidak akan menghasilkan spesi-spesi arsen seperti DMA, MMA dan bahkan dapat menjadi spesi arsen anorganik yang jauh lebih beracun. Proses transformasi ini dapat dipelajari melalui analisis spesiasi seperti yang ditunjukkan oleh profil kromatogram berikut.



Gambar 10. Profil kromatogram spesi arsen kotoran ayam.

Analisis spesiasi untuk ilmu hayati dan kesehatan

Di bidang ilmu hayati, analisis kimia dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang metabolisme, fungsi dan toksisitas senyawa kimia dalam suatu organisme dan informasi ini selanjutnya dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme yang terlibat. Dalam tubuh manusia selain unsur kimia mayor, terdapat pula berbagai unsur renik yang perannya tak dapat diabaikan seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Unsur kimia dalam tubuh manusia.

Seperti di bidang ilmu pengetahuan lainnya, analisis kimia bertindak menyediakan informasi dan data untuk menjawab pertanyaan tertentu seperti:

- Data metabolisme, yaitu asupan, penyerapan, pertukaran dan ekskresi nutrisi, mineral dan spesi beracun oleh organisme.
- Data kimia, biokimia dan fisiologi senyawa yang dipertukarkan.
- Data bioavailabilitas, bioakumulasi dan toksisitas bahan kimia untuk tanaman, hewan dan manusia.

Karakteristik tersebut terutama tergantung pada spesi kimia dan bukan pada komposisi unturnya. Oleh karena itu, terkait dengan unsur kimia, analisis unsur tidak memberikan informasi yang diperlukan untuk pemahaman yang mendalam tentang proses biologi dan karena keterbatasan tersebut, aplikasinya sering tidak memadai untuk keperluan penelitian terkini. Meskipun memiliki kekurangan tersebut, analisis unsur renik banyak dilakukan secara rutin karena metoda analisisnya sudah sangat mapan dan terstandar.

Peran unsur renik dalam ilmu hayati kadang-kadang masih dibahas dari sudut pandang unsur (atomistik) sementara sudah jelas bahwa mekanisme biologis didasarkan pada aspek molekuler. Dalam hal ini beberapa topik terkait yang sering didiskusikan dalam pertemuan ilmiah, monograf dan publikasi lainnya tidak benar-benar didukung oleh ilmu pengetahuan yang bermakna, tetapi terutama oleh tradisi yang dihasilkan dari sejarah perkembangan ilmiah. Beberapa topik dengan latar belakang

ilmiah yang terbatas adalah: (i) peran logam renik pada kesehatan dan nutrisi, (ii) penentuan unsur renik, (iii) toksisitas suatu unsur dan (iv) rekomendasi asupan unsur renik. Peran spesi logam dalam sistem biologis hanya dapat dipelajari jika logam yang terlibat dianalisis sebagai spesi kimia yang sesuai dengan keberadaannya dalam sistem. Inilah tujuan utama dari analisis spesiasi, yang karenanya memainkan peran penting dalam bidang *metallomics*, suatu bidang penelitian terpadu yang berkaitan dengan *biometals* dan bersinergi dengan bidang *genomics* dan *proteomics*.

Spesi unsur renik yang banyak dibahas para ilmuwan di daerah ini adalah enzim-enzim (Zn), vitamin (Co), metallo-protein (Se, Fe, Cu, Zn), metallo-drugs (Pt), toksin (As, Hg, Cr, Cd, Pb) dan bentuk-bentuk metabolitnya. Beberapa kelompok penelitian menunjukkan bahwa informasi yang lebih berarti yang diperoleh dari analisis spesiasi dapat digunakan sebagai alat untuk diagnosis kanker. Kondisi kesehatan manusia merupakan perwujudan dari profil biomolekul dan metabolit dalam kompartemen tubuh yang berbeda termasuk darah serta urin. Untuk alasan ini penegakan diagnosis medis sering dimulai dengan analisis darah dan urin. Karena bioaktivitas biomolekul lebih terkait dengan struktur molekul dibandingkan dengan komposisi unsur, konsentrasi total elemen yang tersedia dari unsur renik dan analisis mineral sering tidak cukup spesifik untuk memberikan informasi yang berarti berkaitan dengan kesehatan manusia. Analisis spesiasi diharapkan mampu memberikan informasi yang tidak dapat diperoleh dari analisis

renik klasik dan analisis mineral sehingga penegakan diagnosa penyakit jauh lebih baik. Pasien dengan stadium awal kanker kolorektal menunjukkan keberadaan seleno-albumin (19 ± 3 ng/mL) yang signifikan lebih tinggi dibanding pasien metastatik (16 ± 4 ng/mL) dan kontrol sehat (16 ± 3 ng/mL) (Roman, et.al. 2012). Serupa pada penderita kanker kandung kemih, jumlah kadmium terikat metallothionein (MT-bound cadmium) dalam urin secara signifikan meningkat dibandingkan dengan kontrol yang sehat (Wolf, et.al. 2012).

Analisis spesiasi juga memainkan peran penting untuk mempelajari bioaktivitas, metabolisme dan efek samping dari obat-obatan berbasis logam. Melalui analisis spesiasi diharapkan informasi yang diperoleh dapat digunakan untuk membantu untuk memandu desain obat masa depan. Obat-obatan berbasis logam (metalloodrugs) telah mendapat perhatian khusus, karena struktur analog biomolekul yang dimilikinya. Ion logam pusat dalam obat-obatan berbasis logam biasanya merupakan fitur kunci dalam berfungsinya dan harus mampu: (i) membentuk situs aktif dan mempengaruhi reaktifitas, (ii) menentukan struktur molekul target, (iii) menunjukkan analogi struktural yang kuat dari senyawa berbasis logam alamiah dan (iv) memiliki sifat farmakokinetik yang baik. Metalloodrugs dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni sebagai agen terapeutik dan diagnostik. Beberapa contoh agen terapeutik adalah sebagai *anti-cancer chemotherapeutica* (Pt, Ru, Rh, Ti, Ga, As), *anti-arthritis* (Au), anti-diabetes (V(V/IV), Cr(III), Mo(VI), W(VI), Zn(II), Cu(II),

Mn(III)), *anti-viral agents* (Au) dan senyawa organologam sebagai *fotosensitizer* untuk terapi fotodinamik. Sebagai agen diagnostik: *MRI contrast agents* (Gd), *radiocontrast agents* (Ba, I), *metal-based therapeutic radiopharmaceuticals* (Tc).

Informasi yang diperoleh akan sangat bergantung pada teknik dan metodologi analisis yang digunakan. Analisis logam dapat didasarkan pada metoda yang tepat seperti: AAS (ETAAS), ICP-AES, ICP-MS, TXRF. Deteksi molekuler dan unsur memberikan informasi pelengkap yang memungkinkan identifikasi (ESI-MS) dan kuantifikasi (ICP-MS) interaksi antara *metalloodrugs* dan biomolekul. Informasi yang diperoleh dari analisis spesiasi akan membantu dalam hal: mengkarakterisasi kandidat obat dan interaksinya, mempelajari farmakokinetik dan metabolisme, mengevaluasi fungsi dan efek samping, mendukung evaluasi pra-klinis dan klinis, mengoptimasi dan memantau pengobatan serta mendukung desain obat berbasis kimia.

PENUTUP

Dari uraian yang telah diberikan, dapat dipahami dengan mudah bagaimana analisis spesiasi berperan dalam menyediakan berbagai informasi yang dibutuhkan untuk menjawab berbagai masalah dalam peningkatan kualitas hidup. Tantangan yang dihadapi adalah bagaimana memperoleh informasi tersebut melalui metoda-metoda analisis kimia yang memiliki kinerja analitik yang baik. Pengembangan metoda analisis

spesiasi hingga saat ini masih sangat diperlukan dan diharapkan berjalan lebih cepat seiring dengan perkembangan instrumen analisis. Di negara-negara berkembang seperti Indonesia, bidang lingkungan hidup, pangan dan keamanan pangan yang secara langsung mempengaruhi kesehatan masih menjadi faktor penentu kualitas hidup. Oleh karena itu, pengembangan dan penerapan metode, instrumen, dan strategi untuk memperoleh informasi yang tepat dan bermakna akan semakin diperlukan dalam masyarakat moderen yang sadar akan kualitas hidup.

Dalam rangka pengembangan dan penerapan analisis renik dan spesiasi untuk menjawab tantangan ini, Kelompok Keilmuan Kimia Analitik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam – Institut Teknologi Bandung sejak sepuluh tahun terakhir telah menyusun peta jalan penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Pengembangan analisis renik dan spesiasi dapat bertumpu pada pengembangan material-material fungsional. Material ini didesain dan dikembangkan untuk berfungsi sebagai material fungsional yang bersifat spesi-spesifik atau paling tidak spesi-selektif. Dengan demikian material ini diharapkan memiliki interaksi selektif sehingga mengefektifkan penggunaannya dalam pengembangan teknik/metoda analisis seperti pemisahan dan prakonsentrasi, *flow injection analysis* (FIA), sensor kimia dan teknik tandem untuk keperluan analisis renik dan spesiasi.



Gambar 12. Peta-jalan penelitian Kelompok Keilmuan Kimia Analitik

UCAPAN TERIMA KASIH

Naskah orasi ilmiah ini dapat terwujud berkat ridha Allah SWT, Tuhan Yang Maha Memiliki Ilmu, yang telah memberikan percikan ilmuNya. Hanya karena karuniaNya pulalah penulis dapat memperoleh kepercayaan memangku jabatan Guru Besar dalam bidang Analisis Renik dan Spesiasi terhitung tanggal 1 Mei 2013, Al-hamdu lillahi rabbil 'alamin.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada ketua dan seluruh anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kehormatan dan kesempatan untuk menyampaikan orasi ilmiah dihadapan sidang terbuka yang terhormat. Ucapan terima kasih penulis sampaikan pula kepada Senat dan Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mendorong, memberi semangat dan sekaligus rekomendasi untuk memperoleh

jabatan Guru Besar di ITB. Banyak terima kasih disampaikan kepada Prof. Buchari, Prof. Cynthia L. Radiman, Prof. Akhmaloka dan Prof. Umar Fauzi untuk dorongan semangat, nasehat dan rekomendasi yang diberikan.

Terima kasih diucapkan kepada para guru Sekolah Analis Kimia Menengah Atas Makassar yang telah mengenalkan kimia analitik sejak usia belia, Prof. Buchari, pembimbing skripsi yang membuat penulis lebih dekat dengan kimia analitik dan Prof. M.J.F. Leroy, promotor program doktor yang membuat penulis menekuni kimia analitik lebih jauh. Rekan-rekan di Kelompok Keilmuan Kimia Analitik FMIPA-ITB terima kasih atas kerjasama dan kebersamaannya dalam memajukan kimia analitik khususnya bidang analisis renik dan spesiasi. Terima kasih kepada para mahasiswa bimbingan (tugas akhir, penelitian) dan alumni (sarjana, magister dan doktor) yang telah berdedikasi dan bekerja keras menyelesaikan penelitian sehingga menghasilkan karya yang bermanfaat.

Terima kasih tak terhingga untuk Ayah, Alm. Abdul Madjid Chairan (Amran) dan Ibu, Almh. Hj. Siti Dewi yang bahkan dalam kondisi keterbatasan tetap mendukung pendidikan anak-anaknya hingga ke jenjang akademik tertinggi. Kepada kakak, Dr. Muhammad Jusri Amran dan adik Dr. Muhammad Anshar Amran, terima kasih atas segala usaha bersama untuk menjadikan pendidikan sebagai salah satu tradisi keluarga besar Amran. Untuk istriku, Chepi Sulistiawati terima kasih telah setia menemani penulis dalam suka dan duka serta dalam melewati perjuangan yang tidak mudah dalam menjalani kehidupan. Kepada anak-anakku, Rakhmi Musfirah Khairani, S.T., Risma Mustami Khairani, S.T.

dan Muhammad Rizaldi Khairawan, terima kasih sebagai teman hidup dan atas pengertian serta do'a yang selalu diberikan di setiap ibadah dan sholatmu.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, M.B., Lagarde, F. et. al., *Arsenic speciation in environmental matrices*, in Quevauviller, Ph., Maier, E.A., Griepink B. (Eds.), *Techniques & Instrumentation in Analytical Chemistry – Vol. 17 : Quality Assurance for Environmental Analysis*, Elsevier, Amsterdam (1997).
- Amran, M.B., Leroy, M.J.F., Demesmay, C., Lamotte, A. et.al. (1999), *Improvement scheme for the determination of arsenic species in mussel and fish tissues*, *Fresenius' J. Anal. Chem.*, 363(1), 5-11.
- Amran M.B. , Leroy, M.J.F., Maier, E.A., et.al. (1999), *Certification of total arsenic, dimethylarsinic acid and arsenobetaine contents in a tuna fish powder (BCR-CRM 627)*, *Fresenius' J. Anal. Chem.*, 363(1), 18-22.
- Amran, M.B., Wahyuningjati, M. (2007), *Integrated Reactor-Separator for Mercury Determination by Using FIA-CV-AAS Technique*. *Proceeding Seminar Nasional Kimia III*, Bandung.
- Amran, M.B., Panggabean, A.S., and Buchari, B., (2010), *Ion-pair reversed-phase chromatography for speciation of organotin compounds*, *Ann. Toxicol. Anal.*, 22(3): 129-134.
- Amran, M.B., and Zulfikar, M.A., (2010), *Removal of Congo Red dye by adsorption onto phyrophyllite*, *Int. J. Environ. Studies*, 67(6), 911-921.

Amran, M.B., Panggabean, A.S., Sulaeman, A., Rusnadi, M., (2011), *Preparation of a Chelating Resin and its Application as a Preconcentration System for Determination of Cadmium in River Water by Flow Injection Analysis*, Int. J. Environ. Res., 5(2), 531-536.

Amran M.B., (2014), *Analytical Method Validation: re-visited*, (Invited Speaker), Seminar Kimia Analisis, HASKA 0254, Cilegon.

Amran, M. B. (2014), *Green Analytical Chemistry: Strategi Meng"hijau"kan Metoda Analisis Kimia*, (Invited Speaker), Seminar Nasional Kimia Analitik & Instrumentasi (SNKAI), Himpunan Kimia Indonesia, JCC-Jakarta.

Bernhard, M., Brinckman, F.E., Irgolic, K.J., in Bernhard, M., Brinckman, F.E. and Sadler P.J. (Eds.) *The Importance of Chemical Speciation in Environmental Processes*, Dahlem Konferenzen, Life Sciences Report 33, Springer Verlag, Berlin (1986)

Bernhard, M. (2003), *Element speciation definitions, analytical methodology, and some examples*, Ecotoxicol. Environ. Safety , 56, 122-139.

Gómez-Ariza, J.L., Morales, E., Sánchez-Rodas, D. et.al. (2000), *Stability of chemical species in environmental matrices*, Trends Anal. Chem., 19(2+3), 200-209.

Gómez-Ariza, J.L., Moralez, E., Giráldez, I., et.al. (2001), *Sample treatment and Storage in Speciation Analysis*, in: Ebdon, L., Pitts, L., Quevauviller, Ph. (eds.), Trace Element Speciation for Environment, Food and Health, RSC, Cambridge, 51-80.

Kiss, T., Odani, A. (2007), *Demonstration of the importance of metal ion speciation in bioactive systems*, Bull. Chem. Soc. Jpn., 80(9), 1691-1702.

Koesmawati, T.A., Buchari, B., Amran, M.B. (2013), *Determination of Total Arsenic in Indonesian Tuna Fish Sample*, J. App. Pharm. Sci., 3(7), 116-121.

Kotas, J., Stasicka, Z. (2000), *Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation*, Environ. Pollut., 107(3), 263–283

Krull I.S. (1991), *Trace metal analysis and speciation*, Journal of Chromatography Library, 47, 24.

Luedke E, Lucero E, Eng G (1991), *Molecular volume as a predictor of organotin biotoxicity*, Main Group Metal Chem., 14, 59-65.

Moore D.S. (2002), *IUPAC News, Analytical Chemistry—A Discipline At the Heart of IUPAC*, Chem. Int., 24(4).

Panggabean, A.S., Amran, M.B., Buchari, B., Achmad, S. (2009), *Modified gas-liquid separator for determination of Sn(II) with hydride generation-quartz furnace atomic absorption spectrometry (HG-QFAAS)*, Proceeding of International Conference on Chemical Sciences (ICCS), Yogyakarta, ISSN: 1410-8313.

Panggabean, A.S., Achmad, S., Amran, M.B. (2009) *Speciation of Organotin Compounds with Ion Pair-Reversed Phase Chromatography Technique*, Eurasian J. Anal. Chem., 4(2), 215-225.

Panggabean, A.S., Pasaribu, S.P., Buchari, B., Amran, M.B. (2013), *Gas-Liquid Separator Integrated to HG-QFAAS Method for Determination*

of Tin at Trace Levels in the Water Samples, Eurasian J. Anal. Chem., 8(1), 17-27.

Pedrero, Z., Madrid, Y., (2009), *Novel approaches for selenium speciation in foodstuffs and biological specimens: A review*, Anal. Chim. Acta, 634(2), 135–152.

Roman, M., Jitaru, P., Agostini, M. et.al. (2012), *Serum seleno-proteins status for colorectal cancer screening explored by data mining techniques - a multidisciplinary pilot study*, Microchem. J., 105, 124–132.

Templeton, D.M., Ariese, F., Cornelis, R. (2000), *Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. Definitions, structural aspects, and methodological approaches (IUPAC Recommendations 2000)*, Pure Appl. Chem., 72(8), 1453–1470.

Tolu, J., Le Hécho I., Bueno, M., et.al. (2011), *Selenium speciation analysis at trace level in soils*, Anal. Chim. Acta.; 684(1-2), 126-33.

Wolf, C., Strenziok, R., Kyriakopoulos, A. (2009), *Elevated metallothionein-bound cadmium concentrations in urine from bladder carcinoma patients, investigated by size exclusion chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry*, Anal. Chim. Acta, 631, 218–222.

Yozukmaz, A., Sunlu1, F.S., Sunlu, U. et.al. (2011), *The Determination of Organotin Compounds Levels in Sediment Samples from Turkish Aegean Sea Coast*, Turkish J. Fish. Aquatic Sci., 11, 649-660.

CURRICULUM VITAE



Nama : **Dr. MUHAMMAD BACHRI
AMRAN, DEA**

Tmpt./Tgl Lahir : Bantaeng (Makassar),
25 April 1958

Kel. Keilmuan : Kimia Analitik, FMIPA - ITB

Bidang Keahlian : Analisis Renik dan Spesiasi

Nama Istri : Chepi Sulistiawati

Nama Anak : Rakhmi Musfirah Khairani, S.T.
Risma Mustami Khairani, S.T.
Muhammad Rizaldi Khairawan.

e-mail : amran@chem.itb.ac.id, <http://analytical.chem.itb.ac.id>

Personal Web : <http://personal.fmipa.itb.ac.id/amran>

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- 1993 : Docteur en Chimie Analytique (Dr.), Louis Pasteur University, Strasbourg, France.
- 1989 : Diplôme d'Etude Approfondie (DEA.) Chimie Physique, European School of Chemistry and Industrial Chemistry - Louis Pasteur University, Strasbourg, France.
- 1986 : Sarjana Kimia (Drs.), FMIPA Institut Teknologi Bandung.
- 1980 : Sarjana Muda Kimia, Universitas Hasanuddin, Makassar.

- 1977 : Sekolah Analis Kimia Menengah Atas (SAKMA), Makassar.

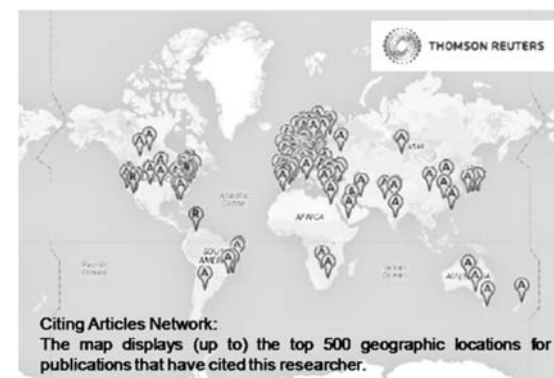
RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- 1 Mei 2013 : Guru Besar, FMIPA – ITB.
- 1 Juli 2002 : Lektor Kepala, FMIPA – ITB.
- 1 Januari 2001 : Lektor, FMIPA – ITB.
- 1 Oktober 1997 : Lektor Muda, FMIPA – ITB.
- 1 Desember 1994 : Asisten Ahli, FMIPA – ITB.
- 1 Juni 1992 : Asisten Ahli Madya, FMIPA – ITB.

RIWAYAT PENUGASAN DI ITB

- 2014 - sekarang : Anggota Tetap Senat FMIPA ITB.
- 2014 - sekarang : Anggota Majelis Keilmuan Kimia, FMIPA ITB.
- 2014 - sekarang : Anggota Gugus Kendali Mutu, FMIPA ITB.
- 2012 - 2013 : Ketua Program Studi Sarjana Kimia, FMIPA ITB.
- 2010 - 2012 : Anggota Gugus Kendali Mutu, FMIPA ITB.
- 2006 - 2012 : Ketua Kelompok Keilmuan Kimia Analitik, FMIPA ITB.
- 2003 - 2005 : Anggota Majelis Departemen Kimia, FMIPA ITB.
- 2001 - 2005 : Ketua Laboratorium Pemisahan dan Spesiasi, Departemen Kimia, FMIPA ITB
- 1995 - 2000 : Ketua Laboratorium Kimia Analitik, Departemen Kimia, FMIPA ITB.

REKAMAN KARYA ILMIAH



<http://www.scopus.com/>

Scopus Author ID: 55190639200

Sum of the Times Cited: 243

h-index: 8.

<http://www.researcherid.com/rid/B-2716-2008>

Sum of the Times Cited: 295

h-index: 8.

Publikasi dalam Jurnal Ilmiah Nasional dan Internasional (terpilih)

- Wulandari, M., Urraca, J.L., Descalzo-Lopez, A.B., **Amran, M.B.**, Moreno-Bondi, M.C. (2015), *Molecularly imprinted polymers for cleanup and selective extraction of curcuminoids in medicinal herbal extracts*, Anal. Bioanal. Chem., 407(3), 803-812.
- Widarti, S., Nurachman, Z., Buchari, B., **Amran, M.B.** (2014), *Diamino alkane as Spacer Arm between Polystyrene and β -Cyclodextrin in Affinity Chromatography for α -Amylase Separation*, Int. J. Eng. Res. Appl., 4(2), 709-714.
- Koesmawati, T.A., Buchari, B. **Amran, M.B.** (2013), *Determination of Total Arsenic in Indonesian Tuna Fish Sample*, J. Appl. Pharma. Sci., 3(7), 116-121.
- Rusli, H., Gandasasmita, S., **Amran, M.B.** (2013), *Cellulose acetate-silica fume membrane: characterization and application for separation of starch and maltose*, Iran. Polym. J., 22(5), 335-340.
- Widarti, S., Nurrahman, Z., Buchari, B., Takeuchi, T., **Amran, M.B.** (2013), *Novel material; non catalytic functioning of linear polystyrene with diaminopropane- β cyclodextrin that will be used in α -amylase separation and purification*, Int. J. Eng. Res. Appl., (3)1, 2105-2109.

Panggabean, A.S., Pasaribu, S.P., Buchari, B., **Amran, M.B.** (2013), *Gas-Liquid Separator Integrated to HG-QFAAS Method for Determination of Tin at Trace Levels in the Water Samples*, Eurasian J. Anal. Chem., 8(1), 17-27.

Zulfikar, M.A., Rohman, A., Setiyanto, H., **Amran M.B.** (2013), *The removal of nickel, copper and cadmium from aqueous solution using hepaticae (Dumortiera hirsute Sw. nees)*, Int. J. Environ. Stud., 70(1), 8-22

Sianipar, A., Buchari B., Arcana, I.M., **Amran M.B.** (2012), *Effect Of Degree Binary Complex Of Imprint Ion On The Extraction Of Zircon Ion*, J. Appl. Chem., 1(4), 15-19.

Amran, M.B., Panggabean, A.S., Sulaeman, A., Rusnadi, M. (2011), *Preparation of a Chelating Resin and its Application as a Preconcentration System for Determination of Cadmium in River Water by Flow Injection Analysis*, Int. J. Environ. Res., 5(2), 531-536

Amran, M.B., Panggabean, A.S., and Buchari, B., (2010), *Ion-pair reversed-phase chromatography for speciation of organotin compounds*, Ann. Toxicol. Anal., 22(3), 129-134.

Amran, M.B., and Zulfikar, M.A. (2010), *Removal of Congo Red dye by adsorption onto phyrophyllite*, Int. J. Environ. Stud., 67(6), 911-921.

Santoso, I., Fitri, A.L., **Amran, M.B.** (2010), *Separation of Penicillin G from Fermentation Broth by Emulsion Liquid Membrane Technique*, Indo. J. Chem. 10(1), 46-50.

Panggabean, A.S., Buchari, B., Pasaribu, S.P., **Amran, M.B.** (2010), *Integrated gas-liquid separator-reactor for determination on Sn(II) at traces levels in solution*, Indo. J. Chem. 10: 1. 51-57

Panggabean, A.S., Achmad, S., **Amran, M.B.** (2009) *Speciation of Organotin Compounds with Ion Pair-Reversed Phase Chromatography Technique*, Eurasian J. Anal. Chem., 4(2), 215-225.

Khaldun, I., Buchari, B., Sulaeman, A., **Amran, M.B.** (2009), *Pengaruh*

Komposisi Asam Bis(2-Etilheksil)Fosfat (D2EHPA) dan Tributyl Fosfat (TBP) dalam Resin Amberlite Xad-16 terhadap Sorpsion-Ion La(III), Nd(III) dan Gd(III), J. Matematika & Sains, 14(1), 20-26.

Fitri, N., Kastenholz, B., **Amran, M.B.**, et. al. (2008), *Molybdenum Speciation in Raw Phloem Sap of Castor Bean*, Analytical Letters, (2008), 41(10), 1773-1784.

Santoso, I., Buchari, B., **Amran, M.B.** (2007), *Ekstraksi dan Pemisahan Penisilin G dari Fenilasetat dengan Teknik Membran Cair Emulsi*, J. Matematika & Sains, 12(3). 94-101.

Amran, M.B., Lagarde, F., Leroy, M.J.F., et. al. (2000), *Certification of total arsenic, dimethylarsinic acid, and arsenobetaine contents in a tuna fish powder (BCR-CRM 627)*, Fresenius' J. Anal. Chem., 363, 18-22.

Amran, M.B., Lagarde, F., Leroy, M.J.F., et. al. (2000), *Improvement scheme for the determination of arsenic species in mussel and fish tissues*, Fresenius' J. Anal. Chem., 363, 5-11.

Amran, M.B., Lagarde, F. et. al., *Arsenic speciation in environmental matrices*, in Quevauviller, Ph., Maier, E.A., Griepink B. (Eds.), *Techniques & Instrumentation in Analytical Chemistry – Vol. 17 : Quality Assurance for Environmental Analysis*, Elsevier, Amsterdam (1997).

Amran, M.B., Lagarde, F., et. al. (1997), *Determination of arsenic species in marine organisms by HPLC-ICP/OES and HPLC-HG-QFAAS*, Mikrochimica Acta, 127, 3-10.

Amran, M.B., Heimburger, R., et. al. (1996), *Arsenic speciation in marine organisms: from the analytical methodology to the constitution of reference materials*, Fresenius' J. Anal. Chem., , 354, 550-556.

Amran, M.B., Hagege, A., et al (1995), *Improvement of detection sensitivity of arsenic species using capillary zone electrophoresis*, Chemia Analityczna, 40(3), 309-318.

Amran, M.B., Lakkis M.D., et. al. (1995), *Separation of selenite and selenate anions by free solution capillary electrophoresis*, *Quimica Analitica*, 14, 45-48.

Amran, M.B., Morin Ph., et. al. (1992), *Ion-pair reversed-phase liquid chromatography of arsenic species on polymeric styrene-divinylbenzene packed column with an alkaline aqueous mobile phase*, *Chromatographia*, 33, 581-586.

Publikasi dalam Seminar/Konferensi Nasional dan Internasional (terpilih)

Sianipar, A., Buchari, B., Arcana, I.M. **Amran, M.B.** (2014), *Incorporation of network in synthesis of zircon-imprinted polymer and its effect on zircon ion extraction*, *AIP Conf. Proc.*, 1589, 230.

Wulandari, M., **Amran, M.B.**, Urraca, J.L., Descalzo-Lopez, A.B., Moreno-Bondi, M.C. (2014), *Molecularly imprinted polymers-curcuminoids and its application for solid phase extraction*, *AIP Conf. Proc.* 1589, 400.

Amran, M.B. (2014), *Green Analytical Chemistry: Strategi Meng"hijau"kan Metoda Analisis Kimia*, (Invited Speaker) Seminar Nasional Kimia Analitik & Instrumentasi (SNKAI), Himpunan Kimia Indonesia, JCC-Jakarta.

Amran, M. B. (2014), *Analytical Method Validation: re-visited*, (Invited Speaker) Seminar Kimia Analisis, HASKA 0254, Cilegon.

Widarti, S., Nurachman, Z., Buchari, B., **Amran, M.B.** (2013), *Adsorption Characteristics of α -amylase on Packed Bed Polystyrene-cyclodextrin: Effect of Spacer Arm Size in Affinity Chromatography*, *IUPAC 44th World Chemistry Congress*, Istanbul, Turkey.

Manurung, T.W., **Amran, M.B.** (2013), *Poli-Thiosalisilat sebagai Metal-Ion Imprinted Polymers untuk Ion Logam Pb(II)*, 1st Indonesian Student

Conference on Science and Mathematics, FMIPA-ITB, Bandung.

Rohiman, A., Buchari, Juliastuti. E., **Amran, M.B.** (2013), *Modifikasi dan Aplikasi Serat Optik untuk Sensor Kimia pada Pertanian Hidroponik*, Prosiding Seminar Nasional Material (SNM), Bandung.

Amran, M.B. (2012), *Palladium imprinted polymers sebagai material fungsional untuk pemungutan palladium dari biji besi*, Prosiding Seminar Nasional Sains V, 608-615, FMIPA-IPB Bogor.

Rusli H., Gandasasmita S., **Amran M.B.** (2012), *Hybrid membrane for separation of starch and maltosa*, A Joint Conference of 3rd Regional Electrochemistry Meeting of South-East, 27th Philippine Chemistry Congress and 2012 Asia-Pasific Conference on Analytical Science, Metro Manila, Philippine.

Amran, M.B. (2011), *Ion-imprinted polymer untuk prakonsentrasi ion Pb(II) melalui ekstraksifasa padat*, Seminar Nasional Himpunan Kimia Indonesia (SNHKI), Pekanbaru Riau.

Amran M.B. (2011), *Green Analytical Chemistry*, (Pembicara Utama), Seminar Kimia Nasional, Dewan Pendidikan Kaltim - FMIPA Universitas Mulawarman, Samarinda-Kalimantan Timur.

Sianipar A., **Amran M.B.**, Buchari, Arcana I.M. (2011), *Zircon Imprinted Polymer: Synthesis, Characterization and Zircon Ion Adsorption Properties*, *Proceeding of The International Conference on Basic Science*, Malang, 380-385.

Panggabean, A.S., Pasaribu, S.P., **Amran, M.B.** (2010), *Chelating resin as a preconcentration system for the determination of trace lead based on flow injection analysis method*, *International Conference On Mathematics and Natural Sciences*, Bandung.

Amran, M.B. (2010), *Metoda analisis ion besi berbasis cyclic-flow injection analysis (cy-FIA) sebagai usaha menuju analisis kimia ramah lingkungan*

(*green analytical chemistry*), Seminar Nasional Sains III, MIPANET, Bogor.

Amran, M.B. (2010), *Resin Pengkhelat untuk Prakonsentrasi dan Analisis Renik Cadmium berbasis Flow Injection Analysis*, Seminar Himpunan Kimia Indonesia (SNHKI), Makassar.

Panggabean A.S., **Amran M.B.**, Pasaribu S.P (2009), *A Chelating Resin Polystyrene DivynilBenzen-1(-2 pyridilazo) 2-Naphtol: Synthesis and Retention Characterization toward Pb(II) Metal Ion*, Proceeding of International Chemistry Seminar, Yogyakarta.

Rohiman A., Rusnadi., **Amran M.B.**, Syah Y.M., Buchari (2008), *Synthesis and Performance of 1-Phenyl-3-Methyl-4-Benzoil-5-Pyrazolone (HPMBP) on Extraction of Ce(III), La(III), and Gd(III) by Solvent Impregnated Resin (SIR) Method*, Proceeding International Seminar on Chemistry (ICS),

Amran, M.B., Khaldun, I., (2008), *Pemisahan Emas dengan Metoda Solvent Impregnated Resin menggunakan Cyanex-921*, Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV, UPI-Bandung.

Amran, M.B., Wahyuningjati, M. (2007), *Integrated Reactor-Separator for Mercury Determination by Using FIA-CV-AAS Technique*. Proceeding 3rd National Seminar on Chemistry, UPI Bandung. 2007

Fitri N., Thiele B., Guenther K., Buchari, **Amran M.B.**, (2007), *Analisis Spesi Mangan dalam Cairan Floem Tanaman Jarak (*Ricinus communis L.*) dengan Metoda PNC PAGE - ICP QMS*, Prosiding Seminar Nasional Forum Kerjasama Kimia Kawasan Timur Indonesia (FK3TI), Makassar.

Amran, M.B. (2006), *Prakonsentrasi dan Analisis Renik Selektif Ion Timbal Berbasis Analisis Injeksi Alir Menggunakan Resin XAD Termodifikasi*, Prosiding Seminar Nasional HKI (SNHKI), Bogor.

Amran, M.B., Karyono, M.H.A. (1997), *Quantitative Determination of Heavy Metals by High Performance Thin Layer Chromatography*, National Seminar

on Chromatography, Yogyakarta.

Amran, M.B., (1995), *FIA-ICP/AES Tandem for Preconcentration and Determination of Trace Level Lead in Drinking Water*, Analytical Chemistry Seminar, ITB-Iaeuo-AUSAID, Bandung.

Amran, M.B., Lakkis, D., et. al. (1993), *Comparison of Liquid Chromatography and Capillary Zone Electrophoresis for Arsenic Speciation*, EURO ANALYSIS VIII-European Conference on Analytical Chemistry, Edinburgh – UK.

Amran, M.B., Favier, S., et. al. (1992), *Separation of Arsenic Anions by Liquid Chromatography and Capillary Zone Elctrophoresis*, EUROANALYSIS VII-European Conference on Analytical Chemistry, Vienna-Austria.

Hibah Penelitian dalam 3 (tiga) tahun terakhir

Amran, M.B., *Metal Ion-Imprinted Polymers (MIIPs) untuk prakonsentrasi dan analisis renik logam berat*, Program Riset dan Inovasi ITB, 2015.

Amran, M.B., *Metal Ion Imprinted Polymers (MIIPs) untuk Prakonsentrasi dan Analisis Renik Logam Berat di Lingkungan berbasis Flow Injection Analisis*, Penelitian Strategis Nasional, DP2M Dikti, 2012-2013.

Zulfikar, M.A., **Amran, M.B.**, *Moleculer Imprinted Polymer (MIP) Sebagai Material Fungsional Untuk Pemisahan dan Pemurnian Enzim Lipase Dari Crude Enzyme*, Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi, DP2M Dikti, 2013-2015.

Rusnadi, R., **Amran, M.B.**, *Pemisahan dan pemungutan logam Yittrium (Y) dari tailing pertambangan timah menggunakan teknik ion imprinted polymers (IIPs)*, Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi, DP2M Dikti, 2013-2015.

Amran, M.B., *Ion Imprinted Polymer (IIPs) untuk prakonsentrasi dan analisis renik ion logam berat berbasis flow injection analysis (FIA)*, Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi, DP2M Dikti, 2011-2012

Amran, M.B., Teknik Prakonsentrasi dan Analisis Renik Ion Logam Berat pada Sampel Lingkungan Menggunakan Resin Pengkhelat Baru Polystyrene divinylbenzene-1-(2-pyridilazo) 2-naptol (PSDVB-PAN) Berbasis Flow Injection Analisis (FIA), Penelitian Strategis Nasional, DP2MDikti, 2009-2011.

ORGANISASI PROFESI & LAIN-LAIN

- 2002 - skrg. : Member of American Chemical Society (ACS).
- 2005 - skrg. : Member of New York Academy of Sciences (NYAS).
- 2009 - skrg. : Pembina Himpunan Kimia Indonesia (HKI) Cabang Jawa Barat & Banten.
- 2014 - skrg. : Wakil Ketua Divisi Kimia Analitik dan Instrumentasi, Himpunan Kimia Indonesia.
- 2014 - skrg. : Member of Royal Society of Chemistry (RSC) UK.
- 2014 - skrg. : National Short Term Expert for Sustainable Economic Development trough Technical and Vocational Education and Training (SED-TVET), PEM GmbH, Düsseldorf - Germany.
- 2014 - skrg. : Anggota Tim Teknis Bahan B3 Baru, Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup Republik Indonesia.

PENGHARGAAN

- Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya X Tahun dari Presiden Republik Indonesia (2003).
- Piagam dan Lencana Pengabdian 25 tahun dari Insitut Teknologi Bandung (2012).
- Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya XX Tahun dari Presiden Republik Indonesia (2013).