

APLIKASI PASSIVE AIR SAMPLER UNTUK PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS DI UDARA AMBIEN

PASSIVE AIR SAMPLER FOR DETERMINING PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS IN AMBIENT AIR

Dewi Ratnaningsih¹

(Diterima tanggal 09-06-2015; Disetujui tanggal 15-02-2016)

ABSTRAK

Aplikasi *passive air sampler* (PAS) untuk pengukuran *persistent organic pollutants* (POPs) di udara ambien di Indonesia penting dipertimbangkan mengingat masih terbatasnya informasi POPs di udara ambien. Pengambilan sampel POPs dengan pasif ini lebih mudah dan efisien dibandingkan secara aktif. POPs sudah dilarang penggunaannya, namun karena sifatnya yang persisten POPs masih ditemukan di lingkungan. Tujuan penulisan ini untuk menyampaikan hasil workshop yang dilakukan di KORDI kerjasama AMETEC-UNU dalam aplikasi PAS untuk pengukuran POPs di udara ambien. PAS yang berisi *polyurethane foam* (PUF) dipaparkan selama 63 hari di daerah rural Citeko-Puncak dan di urban Cawang Jakarta untuk mengambil sampel gas secara pasif. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa beberapa senyawa POPs masih terdeteksi di udara ambien dengan konsentrasi di urban Jakarta lebih tinggi dibandingkan di rural Citeko Bogor. POPs yang terdeteksi di udara ambien adalah HCB, trans-chlordane, cis-chlordane, trans-nonachlor, PCBs, DDT dan turunannya yaitu pp'-DDT, op'-DDT, pp'-DDD, pp'-DDE, dengan kisaran konsentrasi 0.012-0.167 ng/m³. HCB di rural area cenderung berasal dari global transportasi. Total DDT di urban lebih tinggi dibandingkan dengan di rural namun rasio DDT/ DDE > 1 yang ditemukan di rural area menunjukkan adanya indikasi terjadi masukan baru senyawa DDT. Rasio trans chlordane/cis chlordane (TT/CC) > 1,2 di urban juga menunjukkan indikasi terjadinya masukan baru senyawa chlordane. PCB di urban area terdeteksi lebih tinggi dan variasi lebih banyak dibandingkan di rural area, sehingga masih dimungkinkan adanya sumber pencemar lokal. Identifikasi lebih lanjut senyawa POPs yang sudah dilarang penting dilakukan untuk mendukung upaya pengawasan keberadaan senyawa POPs secara ilegal.

Kata Kunci : *Passive Air Sampling, PUF, POPs, PCBs, HCB, chlordane DDT.*

ABSTRACT

Passive air sampler (PAS) application for measuring Persistent Organic Pollutants (POPs) in the air is important to be considered due to the limitation of POPs information in the ambient air. Sampling of POPs by using PAS is easier and more efficient than using active sampler. POPs is already banned, however it's still found in the environment caused of persistency. The aim of this report is to deliver workshop result carried by KORDI-AMETEC-UNU on PAS application for POPs measurement in ambient air. PAS containing polyurethane foam (PUF) were exposed in Citeko-Bogor as rural area and Cawang-Jakarta as urban area for gas sampling passively during 63 days. The results showed that some POPs were detected in ambient air with higher concentration in Jakarta than in Citeko Bogor. Several POP were detected in ambient air in the concentration range of 0012 to 0167 ng / m³ including hexachlorobenzene (HCB), trans-chlordane, cis-chlordane, trans-nonachlor, PCBs, DDT and its derivatives such as pp'-DDT, op'-DDT, pp'-DDD, pp'-DDE. There is possibility of global transportation for HCB pollution in rural area. Total DDT in urban is higher than in rural, but the ratio of DDT / DDE > 1 were found in rural area showed any indication of new entries of DDT for agricultural applications. Ratio trans chlordane / cis-chlordane (TT / CC) > 1.2 in urban also showed indications of new input of chlordane. PCBs were detected higher and more variety in urban area, than in rural area. There is possibility that PCBs pollution still come from local pollution sources. Further identification of banned POP in the environment is important to be implemented in order to support controlling illegal presence of POPs..

Key word: *Passive Air Sampling, PUF, POPs, PCBs, HCB, chlordane, DDT.*

¹ P3KLL-KLHK. Kawasan PUSPIPTEK Gedung 210, Jln. Raya PUSPIPTEK, Serpong – Tangerang. BANTEN, 15310 – INDONESIA, Telp 021-7560981, email dewirinie@yahoo.com

PENDAHULUAN

Passive Air Sampler (PAS) dengan *Polyurethane Foam* (PUF) telah mulai banyak digunakan untuk pemantauan senyawa organik semi volatil di udara ambien secara pasif. Penggunaan PAS banyak memberikan keuntungan dibandingkan dengan peralatan pengambilan sampel secara aktif. Aktif sampler konvensional menggunakan *High Volume Air Sampler* (HVAS) membutuhkan pompa dan sumber listrik dengan konsekwensi membutuhkan biaya lebih mahal. HVAS ini tidak selalu dapat diaplikasikan terutama bila dibutuhkan pengambilan sampel di banyak titik yang dilakukan secara bersamaan pada lokasi yang berbeda⁽¹⁾. Pengambilan sampel secara pasif selain lebih mahal juga membutuhkan operator yang terlatih. PAS lebih praktis, sederhana, dan tidak membutuhkan tenaga listrik sehingga dapat diaplikasikan di daerah yang tidak ada sumber listrik. PAS juga telah diaplikasikan untuk pemantauan dalam skala yang luas termasuk untuk daerah yang terisolir ataupun daerah yang diasumsikan belum mengalami pencemaran^(2,3). PAS dapat digunakan untuk mengatasi gap kekurangan data antara daerah rural dan daerah urban sehingga dapat menilai tingkat perbedaan antara daerah urban dan rural⁽⁴⁾. PAS dapat ditempatkan tersebar di banyak titik pantau, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pemetaan penyebaran polutan di wilayah yang luas serta pemantauan dalam jangka panjang. Biaya yang rendah dan aplikasi yang mudah ini dapat menjamin bahwa strategi sampling dengan PAS ini dapat memberikan informasi level dari senyawa organik semi volatil dalam kisaran yang diharapkan⁽⁵⁾. Penggunaan PAS untuk pemantauan senyawa organik semi volatil

dengan waktu paparan yang relatif lama akan lebih mewakili kondisi yang sebenarnya dibandingkan dengan pemantauan aktif secara *grab* sampel dengan waktu paparan yang singkat

Persistent organic pollutants (POPs) merupakan senyawa toksik yang berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan di seluruh dunia⁽⁶⁾. POPs juga terdiri dari kelompok senyawa kimia berbahaya yang sangat stabil atau persisten dan bertahan lama di lingkungan, bersifat racun terhadap makhluk hidup termasuk manusia dan mempunyai efek kronis berupa gangguan pada reproduksi, sistem endokrin, kekebalan dan karsinogenik atau dikatakan juga sebagai senyawa yang termasuk dalam kelompok *Endocrine Disrupter Compounds* (EDCs). Kelompok senyawa POPs mengalami bioakumulasi dalam tubuh makhluk hidup melalui jaring-jaring makanan dan menimbulkan dampak negatif yang membahayakan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Sifat fisika kimia dan persistensi senyawa POPs dapat menyebabkan senyawa tersebut dapat berpindah di lingkungan dan terdistribusi secara global tanpa mengenal batas wilayah dan negara serta dapat terdeteksi pada jarak yang sangat jauh dari sumber pencemar di daerah yang terisolir⁽³⁾. POPs mempunyai daya larut yang rendah dalam air, namun daya larut yang tinggi dalam lemak, sehingga mudah terakumulasi dengan konsentrasi tinggi di jaringan lemak dan terjadi perbesaran konsentrasi (biokonsentrasi) melalui rantai makanan. Pada awalnya konvensi Stockholm menetapkan 12 senyawa yang termasuk dalam kelompok POPs yaitu *Aldrin*, *Endrin*, *Dieldrin*, *Chlordane*, *Toxapen*, *Mirex*, *Heptachlor*, *HCB*, dan

DDT; bahan kimia industri yaitu *PCBs*; dan produk sampingan yang terbentuk secara tidak sengaja dalam suatu proses yaitu, Furan dan Dioksin. Daftar senyawa POPs semakin bertambah dengan adanya senyawa New POPs seperti BDEs, endosulfan, lindane, PFOs dsb.

Pemantauan POPs pada umumnya telah dilakukan di lingkungan khususnya di media air, tanah maupun sedimen. Walaupun data hasil pemantauan POPs di lingkungan tersebut masih terbatas untuk keseluruhan wilayah Indonesia, namun pemantauan POPs di air, sedimen atau tanah pernah dilakukan. Untuk pemantauan POPs di udara masih jarang dilakukan di Indonesia. Data yang terkait dengan hasil pemantauan POPs di udara masih sangat minim. Terkait dengan hal tersebut maka identifikasi POPs di udara ambien masih diperlukan. Tujuan dari kegiatan ini adalah sebagai aplikasi pemamakaan PAS untuk pengukuran POPs di udara ambien.

METODOLOGI

Deskripsi sampler

Pengambilan sampel udara untuk identifikasi senyawa POPs menggunakan *Polyurethane foam-disk (PUF-disk)* yang dikembangkan oleh *Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI)* berdasarkan tipe Harner. Secara umum PUF-disk yang digunakan mempunyai ukuran: diameter 14 cm, ketebalan 1.35 cm, area permukaan 365 cm², volume :207 cm³, ketebalan efektif : 0.567 cm, berat; 4.40 g dan densitas; 0.0213 g/cm³ ⁽⁷⁾.

Preparasi sampler

PUF-disk yang digunakan untuk pengambilan sampel udara dibersihkan terlebih dahulu

demikian juga dengan kaleng *stainless steel* tempat penyimpanan PUF-disk. Proses preparasi dan pembersihan PUF dilakukan oleh laboratorium *Oil and POPs Research Group KORDI*, demikian juga dengan kaleng penyimpan PUF-disk. Pembersihan kaleng penyimpanan PUF-disk yang terbuat dari *stainless steel* dilakukan dengan dicuci air distilasi, kemudian diultrasonik dan dibilas dengan dichloromethana (DCM). PUF-disk juga dibersihkan dengan dicuci air destilasi secara manual dengan ditepuk tepuk menggunakan tangan bersarung tangan bebas tepung. PUF-disk kemudian dikeringkan semalam pada suhu 60°C dan dilakukan ekstraksi soklet secara bertahap dengan pelarut campuran aceton dan metanol, kemudian petroleum ether, dan hexane masing masing selama 16 jam. Pelarut yang digunakan mempunyai kemurnian tinggi. Setelah diekstraksi PUF-disk kemudian dikeringkan pada suhu 50°C selama 4 jam dengan menggunakan dry vacuum oven dengan *purge gas* N₂. PUF-disk segera dimasukkan dalam kaleng *stainless steel* dan dirapatkan dengan isolasi teflon untuk mencegah masuknya udara kedalam kaleng selama proses transportasi ke lokasi sampling ⁽⁷⁾.

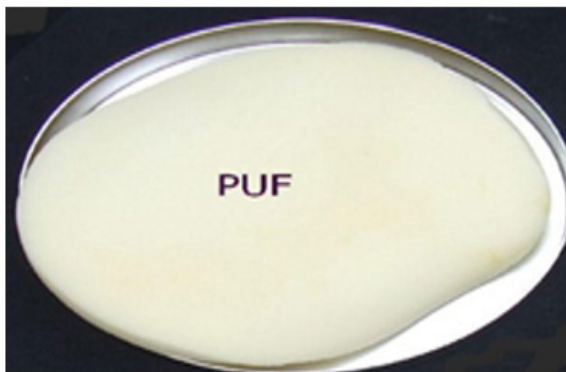
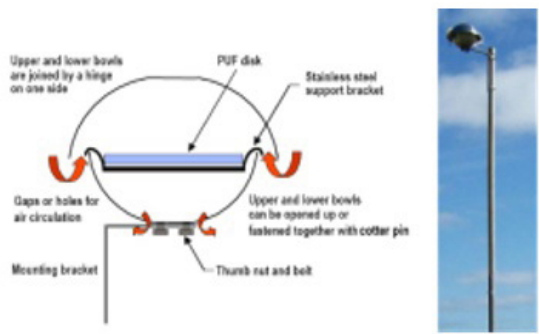
Pemaparan Sampler

Pengambilan sampel dilakukan dengan memaparkan PUF-disk yang telah dipreparasi dengan ditempatkan di tengah wadah berbentuk dua kubah *stainless steel* seperti piring terbang. Diantara dua kubah tersebut terdapat celah sebesar 2.5 cm yang berfungsi agar udara dapat masuk melewati celah tersebut dan mengalir melalui permukaan

PUF-disk. Pengambilan sampel dilakukan secara pasif dengan asumsi sampel dalam bentuk gas akan lebih berinteraksi dengan PUF. Wadah kubah *stainless stell* tersebut berfungsi untuk melindungi PUF dari tetesan air hujan atau presipitasi, sinar matahari UV langsung, dan deposisi partikel⁽⁸⁾. Wadah juga berfungsi untuk mengurangi ketergantungan laju sampling terhadap kecepatan angin yang dihasilkan selama periode sampling. Untuk lokasi dengan kecepatan angin yang relatif rendah (<4 m/detik) dan relatif seragam digunakan sampling rate rata rata 3 m³/day dalam kisaran 2-4 m³/day dari sampling rate hasil penelitian sebelumnya^(1,2). Laju sampling dipengaruhi oleh kondisi meteorologi seperti kecepatan angin⁽⁹⁾ oleh karena itu selain menggunakan laju sampling berdasarkan penelitian sebelumnya juga direkomendasikan untuk menggunakan laju sampling spesifik

masing masing lokasi dengan menggunakan *deuration compounds* (DC)⁽⁸⁾.

Passive air sampler yang berisi PUF yang telah dipreparasi di Laboratorium *Oil and POPs Research Group* KORDI ditempatkan pada dua lokasi yang diasumsikan di daerah urban dan daerah rural yaitu di Cawang-Jakarta sebagai daerah urban dan Citeko Puncak Bogor sebagai daerah rural. Daerah urban diasumsikan sebagai daerah dekat dengan transportasi dan aktifitas industri, sedangkan daerah rural diasumsikan masih bersih dan jauh dari aktifitas manusia dan kendaraan. Paparan PUF di udara ambien dilakukan dalam kurun waktu 63 hari yaitu di Jakarta dilakukan mulai tanggal 22 agustus – 24 Oktober 2011 sedangkan di Citeko Bogor mulai tanggal 25 Agustus- 27 Oktober 2011. Untuk menjaga keamanan dan memudahkan pengawasan selama paparan



Sumber : *SOP PAS Assembly and Development, KORDI Korea* ⁽¹⁰⁾

Gambar 1. PUF dalm PAS untuk pengambilan sampel POPs di diudara ambien.

PUF berlangsung maka PAS ditempatkan di atap gedung yang berlokasi di Kebon Nanas Cawang Jakarta pada koordinat $6^{\circ}14'0.76''S$; $106^{\circ}52'39.18''E$ dan di Citeko Cisarua Puncak Bogor pada koordinat $6^{\circ}42'38.51''S$; $106^{\circ}57'0.62''E$. Lokasi Citeko berada pada ketinggian 1144 m dpl. Pemanfaatan lahan sebagian besar digunakan untuk villa dan pertanian hortikultur, sedangkan lokasi gedung di Cawang berada pada ketinggian 16 m dpl yang merupakan area dekat dengan jalan layang dan juga berbagai aktifitas yang lainnya.

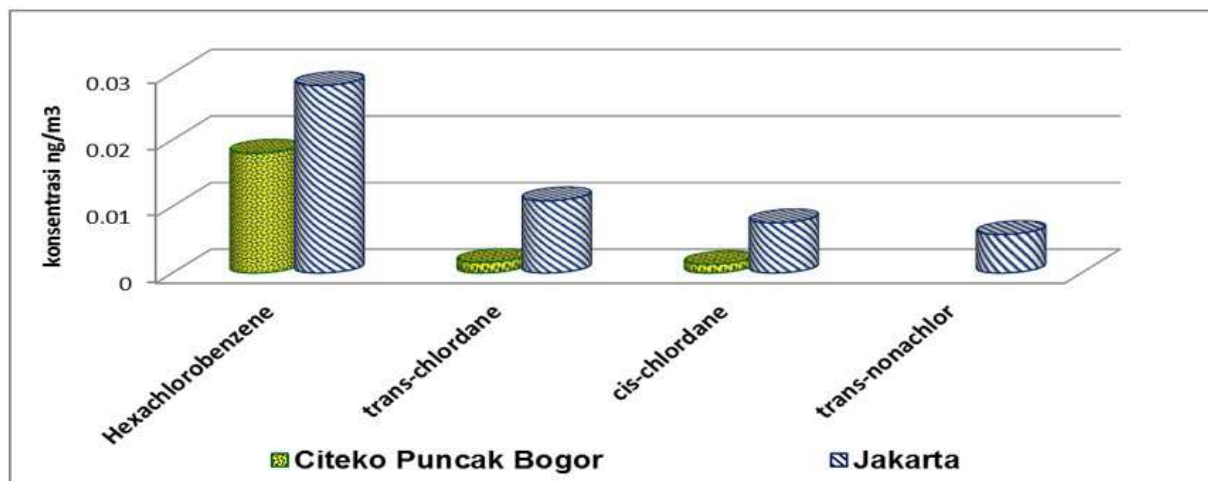
Ekstraksi dan Analisis

PUF yang telah dipaparkan di udara dimasukkan kembali dalam kaleng *stainless steel* yang ditutup dengan solasi teflon untuk ditransportasikan ke Laboratorium *Oil and POPs Research Group* KORDI untuk dilakukan ekstraksi dan analisis⁽¹⁰⁾. PUF-disk dipotong kecil-kecil dengan gunting yang telah dicuci dengan DCM dan dimasukkan dalam *tinble filter* yang berisi batu didih di dalam tabung soklet. POPs dalam PUF diekstraksi dengan pelarut hexane/DCM (1;1) sebanyak 240 ml dengan ekstraksi soklet selama 16 jam pada suhu 160°C. Sebelum diekstraksi PUF ditambahkan standar surrogate 20 ul 100 ppb (DBOFB, PCB103, PCB198). Setelah ekstraksi soklet selesai, batu didih diambil dan hasil ekstraksi dengan soklet dipekatkan dengan *rotary evaporator* pada suhu 30°C hingga volume mencapai 1-2 ml. Hasil pemekatan kemudian dilakukan pemurnian dengan menggunakan kolom silika/alumina dengan komposisi kolom bagian atas 10 g *sodium sulfat* kemudian *deactivated silica gel* (5% air berdasarkan berat:20g); *deactivated alumina* (1% berdasarkan

berat:10g) dan lapisan paling bawah 10 g *sodium sulfat*. POPs diekstraksi dengan 100 ml DCM. Hasil elusi dipekatkan dengan *rotary evaporator* pada suhu 25°C sampai volume menjadi 1-2 ml. Hasil pemekatan dipekatkan dengan gas N₂ sampai volume 0.5 mL. Hasil pemekatan dimurnikan lebih lanjut dengan menggunakan kolom HPLC (HPLC; 250x22.5 mm i.d. *size exclusion column packing with phenogel 100Å*). Hasil pemurnian dengan HPLC dipekatkan kembali dengan *rotary evaporator* pada suhu 25°C sampai 1-2 mL. Hasil pemekatan ditambahkan 15 ml hexane untuk pergantian pelarut dan dipekatkan kembali sampai volume 1-2 mL. Hasil pemekatan *rotary evaporator* dipekatkan sampai volume kurang dari 0.5 ml dengan nitrogen dan ditambahkan internal standar tetrachloro-m-xylene (TCMX), kemudian ditera sampai tepat 0.5 mL untuk dilakukan analisis. Analisis dengan menggunakan GCMS dengan kondisi GC; Colom DB-5MS (30mx0.25mmx0.25 um film), temperatur program initial 100°C (5°C/min, 1 min), 140°C (1.5°C/min, 1 min); 250°C (10°C/min, 1 min) final 300°C (5 min). Gas pembawa He 1.2 ml/min, injection mode splitless, volume injeksi 2 ul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelompok senyawa POPs telah dilarang penggunaannya baik di luar negeri maupun di Indonesia. Senyawa POPs yang digunakan untuk pertanian seperti DDT sudah jauh lebih lama dilarang penggunaannya dibandingkan untuk penggunaan lainnya. Meskipun senyawa POPs telah dilarang penggunaannya namun karena sifatnya yang persisten dan dapat ditransportasikan secara global maka



Gambar 2. Konsentrasi HCB, *chlordanes* dan *nonachlor* di udara ambien.

senyawa POPs masih dapat dideteksi di lingkungan termasuk di udara ambien. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil pengukuran POPs dengan menggunakan PAS yang menunjukkan keberadaan senyawa POPs di udara. Identifikasi senyawa POPs di udara ambien tersebut menunjukkan bahwa beberapa senyawa POPs masih terdeteksi di lokasi daerah rural Citeko Puncak Bogor dan di daerah urban Cawang Jakarta. Senyawa POPs yang terdeteksi di udara ambien adalah *hexachlorobenzene* (HCB), *trans-chlordane*, *cis-chlordane*, *trans-nonachlor*, *PCBs*, DDT dan turunannya yaitu *pp'*-DDT, *op'*-DDT, *pp'*-DDD, *pp'*-DDE. POPs yang tidak terdeteksi adalah heptachlor, endosulfan I, α -HCH γ -HCH (lindane), β -HCH, δ -HCH, *oxychlordane*, *cis-nonachlor*, aldrin, endrin, dieldrin. Pengambilan sampel POPs di udara Citeko dan Jakarta secara pasif selama 63 hari menunjukkan keberadaan beberapa senyawa POPs pada kisaran konsentrasi 0.001-0.167 ng/m³. **Gambar 2** menunjukkan konsentrasi HCB, *trans-chlordane*, *cis-chlordane* dan *trans-nonachlor* yang terdeteksi di udara ambien Citeko Bogor dan Cawang Jakarta.

HCB terdeteksi di daerah urban Jakarta dengan konsentrasi 0.028 ng/m³ sedangkan di daerah rural Citeko Puncak Bogor terdeteksi dengan konsentrasi 0.018 ng/m³. Konsentrasi HCB tersebut masih berada dalam kisaran konsentrasi HCB yang dideteksi Asia (China, Philipina, Thailand, Vietnam, Malaysia, Srilanka, India) dengan nilai antara 0.010 - 0.520 ng/m³ dan masih berada jauh dibawah nilai maksimum yang ditemukan⁽⁶⁾. Penggunaan HCB untuk fungisida telah dilarang demikian juga untuk penggunaan lain seperti produksi karet, aluminium, pencelupan serta pengawetan kayu. Saat ini HCB dapat terlepas ke lingkungan dari kegiatan industri atau cerobong emisi sebagai produk samping selama proses industri bahan kimia (pelarut) dan juga sebagai pengotor dalam beberapa produk pestisida. Sejumlah HCB juga terbentuk selama proses pembakaran sampah perkotaan, pembakaran semen, batubara, limbah lumpur, biomasa, limbah medis, pembakaran semen⁽¹¹⁾. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil pengukuran yang menunjukkan konsentrasi HCB di perkotaan lebih tinggi dibandingkan dengan

di pedesaan. HCB bersifat persisten dan jika terlepas ke udara HCB akan ada dalam bentuk fase uap dan dengradasinya berlangsung sangat lama dan mudah ditransportasikan jarak jauh di udara⁽¹¹⁾. Karena sifat HCB yang persisten dan mudah ditransportasikan secara global maka HCB bisa berada dimana saja termasuk di daerah yang terisolir. Rasio HCB di daerah urban Jakarta dan di daerah rural Citeko-Bogor yang relatif kecil sebesar 1.5 jika dibandingkan dengan rasio senyawa POP lainnya dan sifat persistennya di udara memberikan indikasi bahwa HCB di udara ambien mayoritas berasal dari global transportasi. Konsentrasi HCB yang terdeteksi lebih tinggi di Jakarta dimungkinkan adanya tambahan sumber pencemar lokal yang berasal dari produk samping dari proses industri yang ada di perkotaan.

Total chlordane yang terdeteksi di rural Citeko Bogor sebesar 0.003 ng/m³ sedangkan di urban Jakarta 0.024ng/m³. Konsentrasi *total chlordane* tersebut juga berada dalam kisaran konsentrasi *total chlordane* yang terdeteksi di Asia dengan kisaran 0.001 – 0.273 ng/m³ ⁽⁶⁾. Secara teknis *chlordane* bukan komponen kimia tunggal tetapi dari berbagai bahan kimia terkait, dengan komponen utama seperti *trans chlordane*, *cis chlordane*, *beta chlordane heptachlor* dan *trans nonachlor*⁽¹²⁾. *Chlordane* yang terdeteksi di udara ambien Cawang Jakarta meliputi senyawa *trans-chlordane*, *cis-chlordane* dan *trans-nonachlor* dengan konsentrasi secara berurutan 0.011 ng/m³, 0.008 mg/m³ dan 0.006 mg/m³ sedangkan di daerah rural Citeko Puncak Bogor *trans-nonachlor* tidak ditemukan hanya senyawa *trans chlordane* dan *cis chlordane* yang terdeteksi dengan

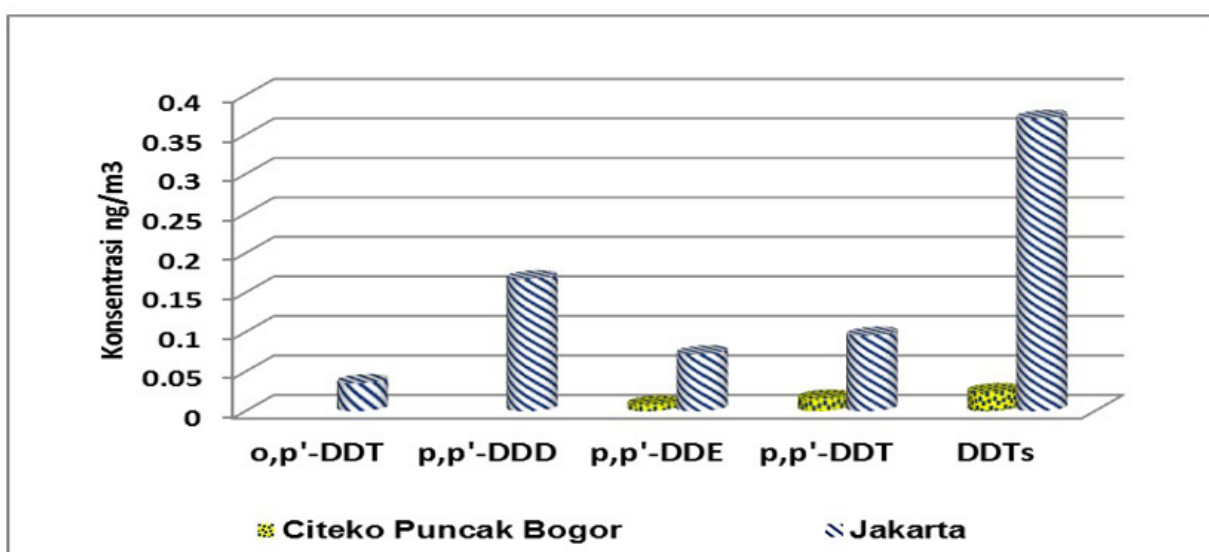
konsentrasi secara berurutan 0.002 mg/m³ dan 0.001 mg/m³ (**Gambar 2**). Konsentrasi *trans* dan *cis chlordane* tersebut juga masih jauh berada dibawah konsentrasi maksimum *trans* dan *cis chlordane* di Asia yang berada pada kisaran nilai 0.001-0.134 ng/m³ ⁽⁶⁾. *Chlordane* merupakan bahan kimia buatan pabrik yang pertama kali digunakan di Amerika serikat pada tahun 1948 sebagai pestisida untuk pertanian dan kebun dan tahun 1978 dihentikan penggunaan untuk pestisida pertanian karena sifatnya yang persisten di lingkungan dan berbahaya terhadap makhluk hidup serta menimbulkan resiko kanker. *Chlordane* kemudian digunakan untuk pengendalian rayap di gedung gedung atau bangunan perumahan dari tahun 1983-1988. Tahun 1988, EPA menghapus penggunaan untuk pengendalian rayap. Keberadaan *chlordane* di atmosfer cepat terpecah oleh cahaya dan bahan kimia lain di atmosfer, dan dapat bertahan lama serta dapat ditransportasikan secara global dengan jarak yang jauh. Hal ini digambarkan dengan terdeteksinya senyawa *trans chlordane cis chlordane* dan *trans nonachlor* sebagai beberapa komponen *chlordane* yang masih terdeteksi di udara. Keberadaan *chlordane* di daerah perkotaan juga lebih tinggi dibandingkan di daerah urban dimungkinkan dari sisa penggunaan *chlordane* untuk pengendalian rayap di perkotaan sedangkan penggunaan *chlordane* untuk pertanian sudah dilarang jauh lebih lama dibandingkan untuk termisida ⁽¹²⁾.

Komponen yang paling melimpah dalam tehnikal *chlordane* adalah *trans chlordane* dan *cis chlordane* (TC:CC) dengan rasio 1.2 ⁽¹³⁾. Rasio TC:CC menunjukkan umur *chlordane*, dimana rasi TC:CC > 1.2 menunjukkan

masuk baru chlordane ke udara. Di daerah rural Citeko Bogor rasio TT:CC sebesar 1.2 sedangkan di daerah urban rasio TC:CC adalah 1.4 telah lebih besar dari 1.2 sehingga di urban dimungkinkan adanya masukan baru dari *chlordane*.

Total DDTs terdeteksi di rural Citeko Bogor dengan konsentrasi 0.024 ng/m^3 dan di urban dengan konsentrasi 0.370 ng/m^3 . Konsentrasi total DDTs tersebut berada dibawah nilai maksimum DDTs yang terdeteksi di Asia dengan kisaran $0.028\text{-}1.586 \text{ ng/m}^3$ ⁽⁶⁾. Di lingkungan, senyawa induk DDT akan terdegradasi menjadi DDD dan DDE. Hasil pengukuran dengan pasif air sampler di udara ambien daerah urban Jakarta menunjukkan bahwa senyawa induk pp-DDT masih terdeteksi dengan konsentrasi 0.096 ng/m^3 dan tiga senyawa turunan DDT yaitu op-DDT, pp-DDD dan pp DDE terdeteksi secara berutan sebesar 0.036 ng/m^3 , 0.167 ng/m^3 dan 0.072 ng/m^3 . Di daerah pedesaan hanya terdeteksi senyawa induk pp-DDT sebesar 0.016 ng/m^3 dan satu turunannya yaitu pp-DDE sebesar 0.008 ng/m^3 . Di daerah urban Jakarta

senyawa induk pp-DDT terdeteksi lebih rendah dibandingkan dengan turunannya DDE dan DDD namun untuk daerah rural Citeko Bogor, senyawa induk DDT terdeteksi lebih tinggi dibandingkan turunannya meskipun keberadaan pp-DDT di rural lebih rendah dibandingkan di Jakarta. Rasio pp-DDT dan pp DDE dapat menggambarkan umur DDT tersebut apakah merupakan penggunaan baru atau sisa penggunaan masa lalu. Rasio pp-DDT/pp-DDE > 1 menunjukkan adanya masukan baru DDT ke lingkungan sedangkan rasio DDT/DDE < 1 menunjukkan keberadaan DDT tersebut merupakan sisa menggunakan masa lalu. Rasio DDT/DDE di urban Jakarta terlihat < 1 sedangkan di rural Bogor rasio DDT/DDE > 1 menunjukkan pp-DDT terdeteksi lebih tinggi dibandingkan dengan turunannya. Keberadaan senyawa induk pp-DDT yang lebih tinggi dibandingkan dengan turunannya memberikan indikasi bahwa dimungkinkan di lokasi pedesaan senyawa DDT masing digunakan secara ilegal untuk pemberantasan hama tanaman pertanian. Hal tersebut juga sejalan dengan hasil pemantauan

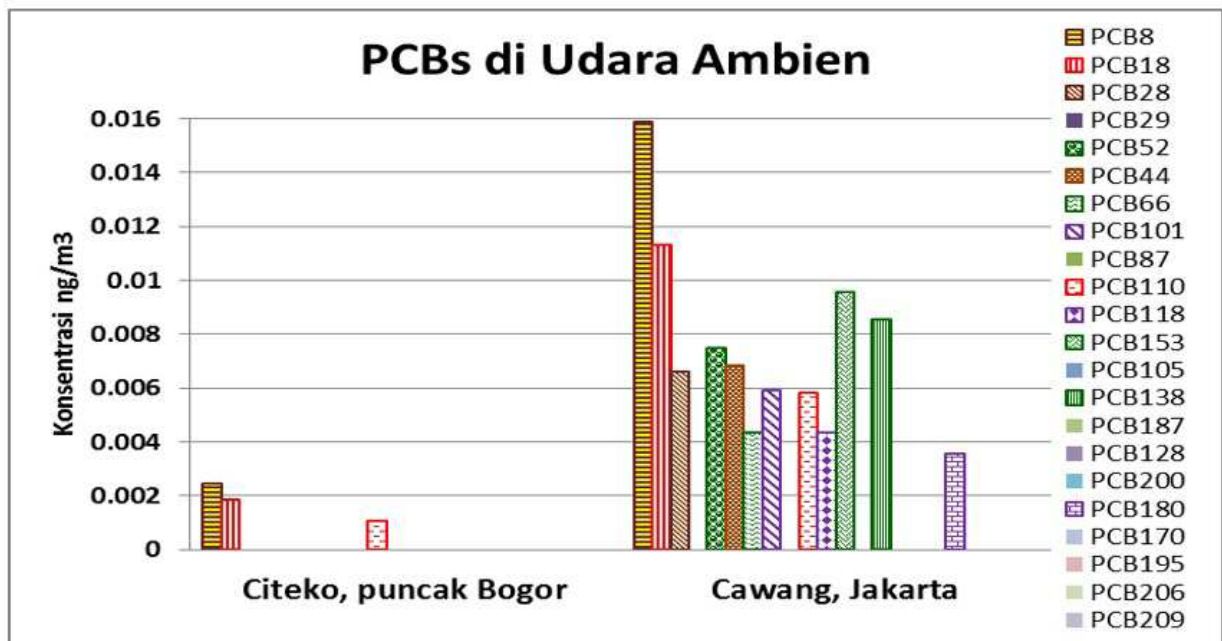


Gambar 3. DDT dan turunannya di udara ambien.

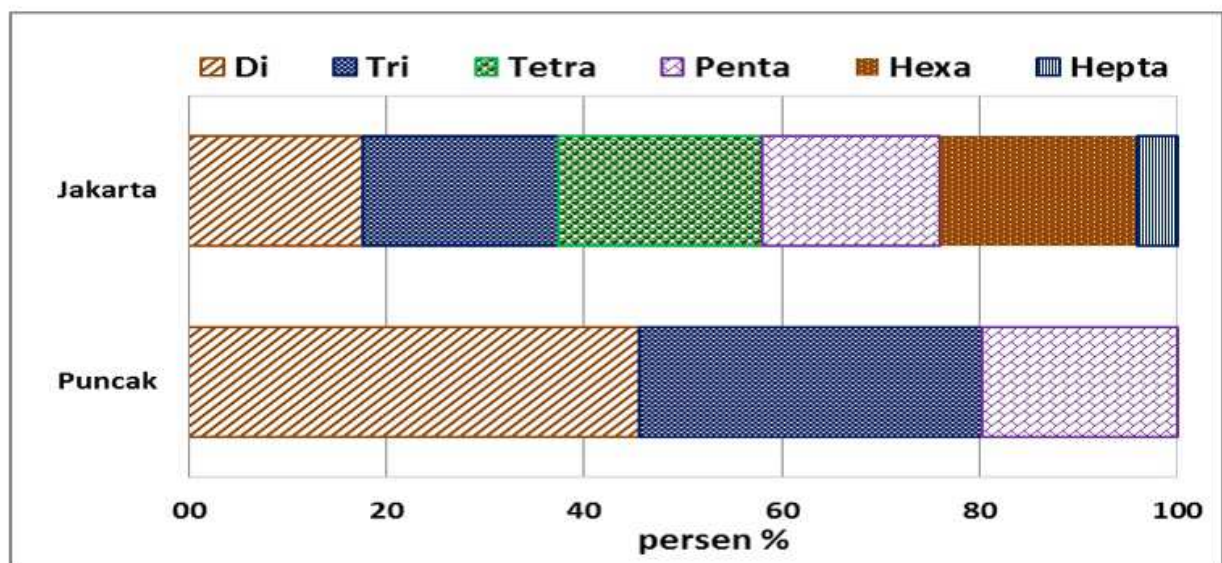
yang dilakukan oleh Pusarpedal bahwa di tanah pertanian pp DDT terdeteksi lebih tinggi dibandingkan dengan turunannya. Secara umum konsentrasi total DDT di titik pantau Cawang Jakarta lebih tinggi daripada di Citeko Cisarua Puncak Bogor (**Gambar 3**).

PCBs juga terdeteksi di udara ambien dengan jenis dan konsentrasi yang berbeda antara

daerah rural dan urban. Konsentrasi total PCBs di daerah urban Cawang Jakarta jauh lebih tinggi dibandingkan dengan di daerah rural Citeko Bogor, demikian juga dengan jenis PCB di Jakarta lebih banyak terdeteksi (**Gambar 4**). PCBs di udara ambien terdeteksi pada kisaran konsentrasi 0.001 – 0.016 ng/m³. PCBs di Citeko Bogor hanya terdeteksi untuk PCB8, PCB 18 dan PCB



Gambar 4. Konsentrasi PCBs di rural dan urban area.



Gambar 5. Profil PCB homologs.

110 yang merupakan homolog dari Di-PCBs, Tri-PCBs dan Penta-PCBs dengan konsentrasi secara berurutan adalah 0.003 ng/m³, 0.002 ng/m³ dan 0.001 ng/m³. Konsentrasi \sum_{12} PCBs di udara Cawang Jakarta yang terdiri dari PCB8, PCB18, PCB28, PCB52, PCB44, PCB66, PCB101, PCB110, PCB118, PCB153, PCB138, PCB180 berada pada kisaran 0.003 – 0.016 ng/m³. Total PCBs sebesar 0.09 ng/m³. Konsentrasi tertinggi terdeteksi untuk PCB8 yang merupakan Di-PCBs.

Gambar 5. menunjukkan PCB homolog yang diambil dari lokasi di Jakarta sebagai daerah urban dan PCB homolog di daerah rural Citeko Puncak Bogor. PCB homolog di Jakarta lebih bervariasi dibandingkan dengan PCB homolog di Citeko Bogor. Berdasarkan homolog PCBs maka setiap PCB homolog mempunyai sifat fisik dan kimia yang sangat bervariasi sehingga dapat menentukan keberadaan dilingkungan maupun transportasinya di atmosfer⁽¹³⁾. PCB kongener yang ringan akan mudah menguap dan ditransportasikan melalui atmosfer ke daerah remote lainnya, sedangkan kongener yang berat akan cenderung mengendap. Profil PCB yang diambil di wilayah Puncak hanya terdiri dari tiga PCB homolog yaitu Di-PCBs, Tri-PCBs dan penta-PCBs, dengan dominasi oleh PCB homolog yang ringan yaitu Di-PCBs sebesar 45.6 % sedangkan untuk Tri-PCBs dan penta-PCBs secara berurutan sebesar 34.7 dan 19.7 %. Kongener PCB yang lebih berat yaitu Hexa sampai deca-PCB tidak ditemukan di daerah rural yang berada di Citeko-Bogor pada ketinggian 1144 m dpl. Hal tersebut memberikan indikasi bahwa PCBs yang terdapat di daerah Puncak dimungkinkan bukan berasal dari sumber pencemar lokal namun dimungkinkan

ditransportasikan dari daerah urban sehingga hanya PCBs yang ringan yang ditemukan di daerah rural Citeko Bogor. PCBs yang terdeteksi di daerah perkotaan yaitu di Cawang Jakarta lebih bervariasi dari di-PCB sampai hepta-PCB terdeteksi di Jakarta. Octa dan deca-PCB tidak ditemukan di udaram ambien Jakarta. Sebaran homolog PCB di Jakarta tersebut relatif serupa kurang lebih 20 % kecuali untuk Hepta PCB yang hanya 3 %. Keberadaan PCB yang lebih bervariasi di Jakarta sangat dimungkinkan karena beragam dan banyaknya aktivitas di Jakarta yang memungkinkan sebagai sumber lokal pelepasan PCBs ke udara ambien disamping adanya sumber pencemaran dari global transportasi.

Terdeteksinya beberapa senyawa POPs di udara ambien dan adanya potensi rasio yang mengindikasikan adanya masukan baru beberapa senyawa POPs ke lingkungan memberikan indikasi adanya kemungkinan penggunaan POPs secara ilegal. Keberadaan POPs dilingkungan perlu diidentifikasi lebih lanjut untuk mendukung upaya pengawasan dan pengendalian penggunaan POPs secara ilegal.

SIMPULAN

PAS sangat bermanfaat untuk pengambilan sampel POPs di udara ambien karena sederhana dan tidak membutuhkan tenaga listrik sehingga dapat ditempatkan di daerah urban, rural maupun daerah terisolir. POPS yang dilarang penggunaannya masih terdeteksi diudara ambien baik di urban Cawang-jakarta maupun di rural Citeko Puncak-Bogor. POPs didaerah urban Jakarta terdeteksi lebih tinggi dibandingkan dengan di daerah

rural Citeko Puncak Bogor namun potensi terjadinya masukan baru senyawa POPs ke lingkungan bisa terjadi di daerah urban dan rural. HCB didaerah rural bukan berasal dari sumber pencemar lokal namun dari transportasi global. Rasio trans chlordan dan cis chlordan (TC:CC) > 1.2 di daerah urban menunjukkan masih terjadi masukan baru senyawa tersebut di udara ambien. DDT dan turunannya terdeteksi dengan konsentrasi senyawa induk lebih tinggi dibandingkan dengan turunannya di daerah rural. PCBs di urban terdeteksi lebih tinggi dengan variasi yang lebih beragam dibandingkan di daerah rural.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Dr Won Joon Shim, Dr Sang Hee Hong dan semua personil *Oil and POP Laboratory, Korean Ocean Research and Development Institute (KORDI)* melalui program AMETEC-UNU di Geoje Korea Selatan yang telah menyediakan dana, sarana dan prasarana maupun transfer ilmu dan pengetahuan dalam kegiatan ini dan serta semua pihak yang telah membantu terselenggaranya kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Shoeib M and T harner 2002. Characterization and comparison of three passive Air sampler for persistent organicpollutants. *Environmental Science technology* 36 (94142-4151)
- (2) Harner T., K Pozo, T Gouin, Am Macdonald, H Hung, J Cainey, A Peters. 2005. Global pilot study for persistent organic pollutants (POPs) using PUF disk passive air samplers. *Environ. Poll.* 144. 445-452
- (3) Pozo K, harnerT, Wania F, Muir DCG, Jones KC barrie LA.2006 Toward a global network for persistent organic pollutants in air; result from the GAPsstudy. *Environ Sci Technol* 40(4867-4873)
- (4) Harner T, M Shoeib, M diamond, G Stern, B rosenberg 2004. Using Passive Air Samplers to Asses Urban-rural Trends for Persistent Organic Pollutants.PCB adn organochlorine Pesticides. *Environmental Science technology* 38 (4474-4486)
- (5) Kennedy K, DWhawker, ME bartkow, S Carter, Y ishikawa, JF Mueller, 2010. Theferential ambient and deployment chamber temperatures on PRC derived sampling rates with polyurethane foam(PUF) passive air sampler*Environmental Pollution* 158 (142-147)
- (6) EPA, 2015. Persistent Organic Pollutants: A Global Issue, A Global Response diakses 23 januari2016 (<http://www.epa.gov/international-cooperation/persistent-organic-pollutants-global-issue-global-response>)
- (7) AMETEC-UNU training workhop. 2011. Passive air sampling : Long range transport of Persistent Organic Pollutants (POPs), KORDI Geoje
- (8) Pozo K., Tom Harner, M Shoeib, Roberto U, Ricardo B, Oscar P., and Silvano F.2004. Passive-Sampler derived Air Concentration of Persistent Organic Pollutants on a North-South Transect in Chile. *Environ. Sci. Technol.* 38,6529-6537.
- (9) Tuduri,L, T Harner, Hung 2006. Polyurethane fpam(PUF) disk passive air samplers:Wind effect ons ampling rate. *Environ.Pollution* 144,377-383

- (10) KORDI, 2011. Passive Air sampler assembly and Development, Standard Operation Procedure. Geoje Korea.
- (11)ASTDR. Toxicological Profile for Hexachlorobenzene. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=627&tid=115> diakses 24 januari 2016)
- (12)ASTDR. Public Health Statement Chlordane (<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp31-c1-b.pdf>, diakses 26 januari 2016)
- (13) Jantunen, L.M.M., Bidleman, T.F., Harner, T. and Parkhurst, W.J. (2000). Toxaphene, Chlordane, Andother Organochlorine Pesticides in Alabama Air. Environ. Sci. Technol . 34: 5097–5105.
- (14) Li YM, Geng D W, Hu Y B, et al. 2012. Levels and distribution of polychlorinated biphenils in the atmosphere close to chinese great Wall Station, Antartica: result from XAD-resin passive airs ampling. Chin Sci Bull 57: 1499 1503