



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Puji Lestari

**TANTANGAN PENGELOLAAN
KUALITAS UDARA DI INDONESIA
KARAKTERISTIK, DAMPAK, SUMBER
DAN PENGENDALIANNYA**

28 Oktober 2016
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
28 Oktober 2016

Profesor Puji Lestari

**TANTANGAN PENGELOLAAN
KUALITAS UDARA DI INDONESIA
KARAKTERISTIK, DAMPAK, SUMBER
DAN PENGENDALIANNYA**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: TANTANGAN PENGELOLAAN KUALITAS UDARA DI INDONESIA
KARAKTERISTIK, DAMPAK, SUMBER DAN PENGENDALIANNYA
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 28 Oktober 2016.

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

Puji Lestari

TANTANGAN PENGELOLAAN KUALITAS UDARA DI INDONESIA
KARAKTERISTIK, DAMPAK, SUMBER DAN PENGENDALIANNYA
Disunting oleh Puji Lestari

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2016

vi+54 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-8468-97-8

1. Pengelolaan Kualitas Udara 1. Puji Lestari

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Orasi ilmiah ini merupakan bentuk dan tanggung jawab akademis sebagai seorang Guru Besar di bidang Pengelolaan Kualitas Udara. Penghargaan dan rasa hormat serta terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah ini pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar, dengan judul:

**Tantangan Pengelolaan Kualitas Udara di Indonesia: Karakteristik,
Dampak, Sumber dan Pengendaliannya.**

Yang merupakan bentuk pertanggungjawaban akademis dan komitmen saya sebagai Guru Besar dibidang Pengelolaan Kualitas Udara yang telah saya tekuni sejak tahun 1993 ketika saya menempuh pendidikan program doctoral.

Pada orasi ilmiah ini akan disampaikan hasil hasil kajian dan penelitian di bidang pencemaran udara dan pengelolaan kualitas udara yang telah dilakukan selama ini. Naskah ini diawali dengan pengertian umum dan ruang lingkup bidang keilmuan Pengelolaan Kualitas Udara dan selanjutnya disampaikan mengenai hasil-hasil studi, kajian maupun seluruh kegiatan terkait dengan bidang pengelolaan kualitas udara di Indonesia termasuk konsentrasi dan karakteristik partikulat, dampaknya terhadap kesehatan dan lingkungan, sumber utamanya, dan pengelolaan

dan pengendaliannya. Bagian penutup merupakan upaya upaya dan rencana yang terus akan dilakukan terkait dengan pengembangan keilmuan dibidang Polusi udara serta kontribusinya dalam pengelolaan kualitas udara di Indonesia.

Semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan, dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembacanya.

Bandung, 28 Oktober 2016

Puji Lestari

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. PENCEMARAN UDARA DAN KARAKTERISTIK POLUTAN PARTIKULAT DI INDONESIA	4
3. DAMPAK POLUSI UDARA	17
4. SUMBER PENCEMAR PARTIKULAT	22
5. PENGELOLAAN DAN PENGENDALIAN PARTIKULAT	27
6. PENUTUP	32
7. UCAPAN TERIMA KASIH	33
8. DAFTAR PUSTAKA	35
CURRICULUM VITAE	39

TANTANGAN PENGELOLAAN KUALITAS UDARA DI INDONESIA: KARAKTERISTIK, DAMPAK, SUMBER, DAN PENGENDALIANNYA

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan masalah global yang dihadapi setiap Negara dan menjadi masalah yang serius khususnya dikota kota besar di dunia termasuk di Indonsia seperti Jakarta, Bandung, Surabaya, Medan dsb. Polusi udara akan terus meningkat sejalan dengan kenaikan jumlah penduduk, berkembangnya aktivitas ekonomi seperti produksi dan distribusi barang atau jasa, pemukiman padat dan transportasi. Aktivitas ini membutuhkan energi yang sangat besar, misalnya energi yang dibutuhkan untuk produksi industri dan kegiatan dalam rumah tangga, transportasi dan juga tenaga listrik yang dibutuhkan untuk berbagai kepentingan. Karena energi merupakan sumber yang sangat penting untuk pembangunan, laju konsumsi energi menunjukkan tingkat pembangunan ekonomi yang dicapai oleh suatu negara. Dengan meningkatnya kebutuhan energi yang digunakan maka akan secara langsung juga meningkatkan polusi udara jika tidak dibarengi dengan pengelolaan dan pengendalian yang benar.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 41 tahun 1999 atau PP41/1999, Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun

sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Dari definisi tersebut dapat digambarkan bahwa senyawa polutan dapat berupa padat, cair maupun gas. Namun dari tingkat emisi maupun bahaya yang dapat ditimbulkan, dalam pencemaran udara sebagian besar merujuk pada 2 tipe polutan, yaitu partikulat dan gas. Polutan gas maupun partikulat yang masuk dalam kriteria polutan dan diatur dalam baku mutu udara ambien adalah CO, SO₂, NO_x, dan O₃ untuk polutan gas dan PM_{2,5}, PM₁₀, TSP, dan Pb untuk polutan partikulat.

Partikulat merupakan salah satu polutan utama yang menjadi perhatian kita dalam pencemaran udara karena dampaknya terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia. Partikel yang tersuspensi di udara ambien mempunyai ukuran yang beragam yang dapat dikelompokkan menjadi TSP (Total suspended Partikel), PM₁₀ (partikel dengan ukuran < 10 mikron) dan PM_{2,5} (partikel dengan ukuran < 2,5 mikron). TSP, partikel ini berukuran hingga 100 mikron, sedangkan Partikulat dengan ukuran diameter dibawah 10 mikron yang disebut dengan PM₁₀ dapat masuk ke dalam sistem pernafasan kita dan dapat menyebabkan iritasi dan kerusakan pada sistem pernafasan kita. Sedangkan PM_{2,5} ini adalah partikel yang berukuran dibawah 2,5 mikron, partikel ini sangat berbahaya karena dapat masuk tidak hanya pada sistem pernafasan tapi bisa langsung ke dalam paru-paru dan dapat menyebabkan berbagai penyakit paru-paru seperti emphysema, pneumonia dsb. Disamping ukuran partikel, kandungan atau komposisi partikulat ini bisa sangat membahayakan kesehatan kita.

Partikulat yang berukuran lebih besar dari 10 mikron, tidak masuk ke dalam system pernafasan maupun paru-paru namun partikulat dengan ukuran ini dapat menjadi penyebab utama deposisi kering ke permukaan bumi dan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. (Lestari & Pradinya, 2007, Noll and Fang, 1989; Lestari, 1996; Noll at.all, 1997). Mengingat dampak pencemaran udara khususnya partikulat baik terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia yang cukup besar. Pengelolaan kualitas udara secara terpadu perlu dilakukan dengan baik. Dalam naskah orasi ilmiah ini saya akan menyampaikan secara lebih detail tentang polutan partikulat.

Polutan Partikulat khususnya PM_{2,5} atau partikel dengan ukuran <2,5 mikron atau juga disebut dengan partikel halus, belum begitu menjadi perhatian utama baik pemerintah Indonesia maupun peneliti. Masih sangat sedikit yang melakukan pemantaun terhadap polutan ini. Bahkan sistem AQMS di Indonesia hanya mengukur partikel dengan ukuran PM₁₀ (partikel dengan ukuran <10 mikron). Dan ini menjadi salah satu tantangan utama dalam pengelolaan kualitas udara di Indonesia.

Berdasarkan UUD 1945 pasal 28H ayat 1 (perubahan kedua), bahwa setiap warga negara Indonesia berhak untuk mendapatkan lingkungan hidup yang baik dan sehat. Hak-hak tersebut belum sepenuhnya terpenuhi secara terus menerus dan menyeluruh seperti halnya yang terjadi di kota kota besar di Indonesia dengan kualitas udara yang relatif belum sepenuhnya baik dan aman. Pertumbuhan aktivitas ekonomi, jumlah penduduk, transportasi, pemukiman padat serta faktor eksternal lainnya seperti kondisi meteorologi yang belum seimbang dengan

pengelolaan kualitas udara yang ada dapat menyebabkan kualitas udara di Indonesia akan terus memburuk. Dalam surveynya CAI Asia mendapatkan bahwa polutan seperti Partikulat, NO_x dan SO_2 di beberapa kota telah melebihi nilai baku mutu udara ambient. Pemantauan kualitas udara, menjadi salah satu faktor penting dalam melakukan upaya pengelolaan kualitas udara yang baik dan benar. Karakteristik polutan dan sumber pencemar perlu dikaji dan diidentifikasi agar upaya pengelolaan kualitas udara mencapai sasaran yang tepat. Hal-hal tersebut menjadi tantangan utama dalam pengelolaan kualitas udara di Indonesia.

2. PENCEMARAN UDARA DAN KARAKTERISTIK POLUTAN PARTIKULAT DI INDONESIA

Partikulat didefinisikan sebagai suatu senyawa, kecuali air, yang berbentuk padatan atau cair yang ada di atmosfer pada kondisi normal. Partikulat mempunyai ukuran lebih besar dari 2 Å (ukuran molekul). Partikulat tidak hanya diemisikan dalam bentuk partikulat (padat), tetapi juga dapat berbentuk cair yang terbentuk dari proses kondensasi gas secara langsung atau melalui reaksi kimia. Deskripsi tentang partikulat tidak hanya meliputi konsentrasinya, tetapi juga meliputi ukurannya, komposisi kimianya, fasenya, dan bentuk fisiknya.

Banyak cara yang dapat digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel, yang paling sering digunakan adalah diameter ekuivalen. Di samping itu untuk partikel nonsferik, dinyatakan dengan equivalent spheres, berdasarkan kesamaan volume, masa serta kecepatan yang biasa juga disebut dengan diameter aerodinamik. Ukuran partikulat secara

umum dikelompokkan dalam beberapa ukuran seperti $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} dan TSP.

Banyak cara atau metode yang dapat digunakan untuk mengukur partikulat khususnya $\text{PM}_{2,5}$, diantaranya adalah dengan Mini volume sampler, Harvard impactor, cascade impactor (untuk mengukur distribusi ukuran partikel), Nephelometer dan sebagainya.

Dalam studi yang pernah penulis lakukan selama bertahun-tahun untuk mempelajari intensitas (konsentrasi) dan karakteristik polutan $\text{PM}_{2,5}$ dan PM_{10} di Indonesia, alat minivolume sampler digunakan untuk mengukur konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ di berbagai wilayah di Indonesia. Namun kondisi pengukuran langsung ini menggunakan sumber daya yang sangat mahal, maka pada beberapa tahun terakhir, sejak tahun 2009, studi difokuskan di kota Bandung bekerjasama dengan berbagai institusi (Dalhousie University Canada dan US NASA) menggunakan berbagai alat ukur termasuk Minivolume sampler, Harvard Impactor, filter sampler dan Nephelometer (Dalhousie University) dan juga pengukuran secara kontinyu menggunakan Sun Photometer (bekerjasama dengan US NASA). Pemantauan Partikulat dengan ukuran $<2,5$ mikron maupun PM_{10} dapat dilakukan dengan menggunakan Minivolume sampler. Minivolume sampler ini digunakan untuk mengukur selama 24 jam dengan flow rate 5 l/min. Pada foto dibawah ini menggambarkan pengukuran $\text{PM}_{2,5}$ di berbagai wilayah di Indonesia.

Intensitas pencemaran udara (kualitas udara) dan juga komposisi dari partikulat akan berbeda disetiap kota atau wilayah tergantung dari banyak faktor diantaranya adalah sumber pencemar yang ada dan juga

kondisi meteorologinya. Untuk mengetahui baik konsentrasi maupun komposisi kimia serta karakteristik lainnya, penulis telah melakukan pengukuran $PM_{2.5}$ dan atau PM_{10} di berbagai kota di Indonesia dalam kurun waktu yang cukup lama antara lain di kota Bandung (2001-2007 dilakukan diberbagai lokasi penting yang mewakili daerah komersial, industri, residential, padat kendaraan dan daerah bersih/urban background serta background/remote area) dan pada tahun 2009-sekarang dilakukan di lokasi ITB), di Jakarta (2012), di Palangkaraya (2009), di Pekanbaru dan Bengkulu (2011&2013) dan di Makasar (2012). Disamping itu penelitian untuk $PM_{2.5}$ juga telah dilakukan langsung diberbagai sumber pencemar dengan potensi tinggi seperti lokasi kebakaran hutan, Industri dan juga transportasi (kendaraan bermotor).

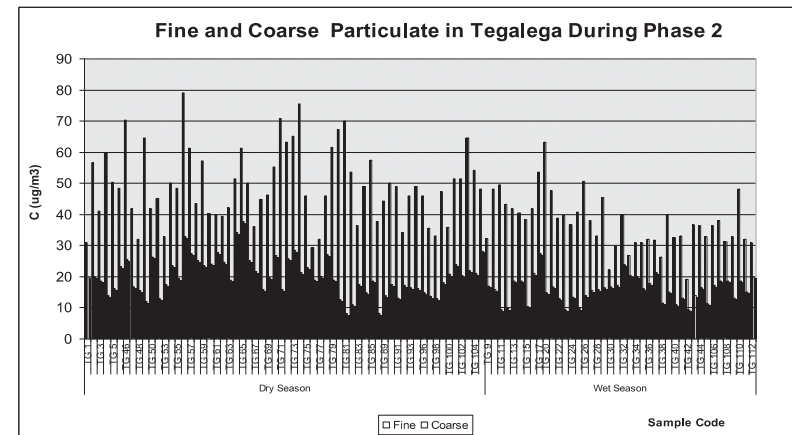


Gambar 1.: Minivolume Sampler

Kualitas udara di kota-kota besar di Indonesia sudah cukup mengkuatirkan kalau dilihat dari hasil pemantaun kualitas udara dari 34 stasiun pemantau milik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

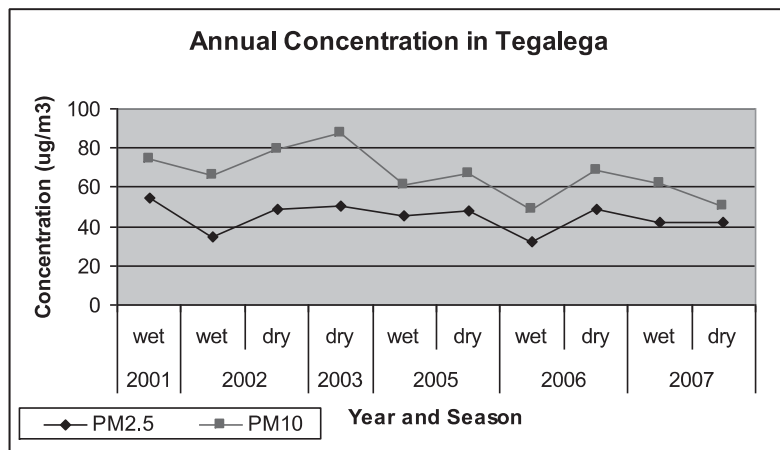
(KLHK) termasuk di Bandung. Hasil pemantauan kualitas udara dari AQMS (Air Quality Monitoring System) di sepuluh kota di Indonesia pada tahun 2008 menunjukkan bahwa beberapa kota besar di Indonesia kualitas udaranya pada kondisi atau kategori tidak sehat masing masing selama 18 hari, 9 hari, 8 hari, 1 hari dan 6 hari berturut-turut untuk Jakarta, Medan, Surabaya, Bandung dan Pontianak (CAI-Asia 2009).

Hasil pemantau kami selama kurang lebih 10 tahun dikota Bandung menunjukkan bahwa partikulat halus di kota Bandung mempunyai porsi yang cukup besar terhadap polutan partikulat yang berukuran 10 mikron (PM_{10}). Gambar 2. dibawah menunjukkan trend konsentrasi rata-rata harian partikulat halus ($PM_{2.5}$) dan partikulat kasar (coarse $PM_{10-2.5}$) di kota Bandung dari hasil penelitian dan pemantauan selama 7 tahun pada musim kemarau dan musim hujan. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan konsentrasi rata-rata tahunan pada musim kemarau dan musim hujan.

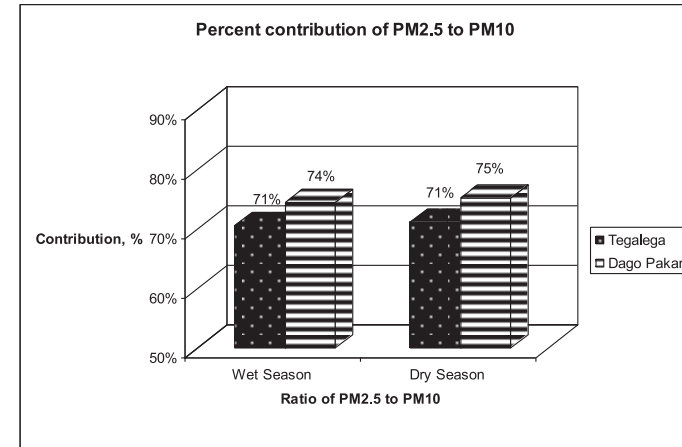


Gambar 2.: Trend Konsentrasi Partikel halus (<2,5micron) & kasar (2,5-10 mikron)

Dari hasil studi kami selama lebih dari 7 tahun dapat dikatakan bahwa, konsentrasi partikulat halus di kota Bandung sudah membahayakan. Konsentrasi rata-rata tahunan untuk $PM_{2.5}$ telah melewati baku mutu udara ambien ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) yang diatur dalam PP no 41 tahun 1999 seperti yang terlihat dalam gambar 3. Menurut saya kondisi ini sudah sangat berbahaya dan mengkuatirkan. Sayangnya dalam PP no 41/1999 tidak diatur baku mutu udara ambien rata-rata tahunan untuk PM_{10} . Selanjutnya hasil kajian ini juga menunjukkan bahwa polutan PM_{10} dan $PM_{2.5}$ telah mempunyai konsentrasi yang cukup tinggi di kota Bandung. Kontribusi partikel halus ($PM_{2.5}$) terhadap polutan PM_{10} mencapai hampir 70% (Gambar 4). Artinya bahwa polutan partikulat halus telah dominan di kota Bandung, namun demikian upaya pemantauan partikulat ukuran ini belum dilakukan pemerintah dengan baik.



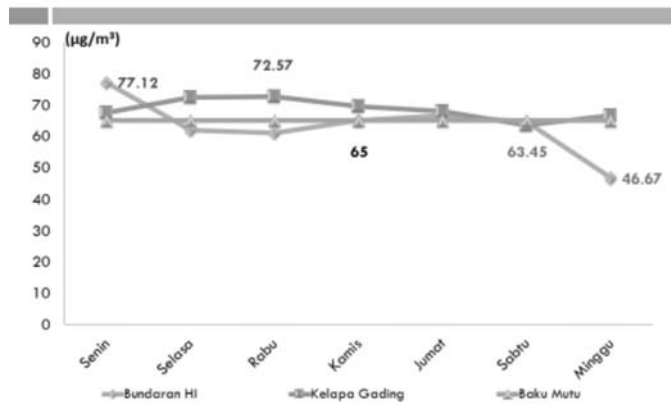
Gambar 3.: Konsentrasi $PM_{2.5}$ dan PM_{10} rata-rata tahunan (annual mean) di kota Bandung (Lestari et.al, 2014)



Gambar 4.: Kontribusi $PM_{2.5}$ terhadap PM_{10} di kota Bandung Pada Musim Kemarau dan Penghujan (Lestari, 2014).

Pengukuran yang dilakukan di kota Jakarta pada tahun 2012 di dua lokasi yaitu Bundaran HI dan Kelapa Gading juga menunjukkan tingginya konsentrasi partikulat halus ($PM_{2.5}$) di wilayah ibukota tsb. Konsentrasi rata-rata harian $PM_{2.5}$ telah melewati baku mutu udara ambien $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PP41/99) di daerah Kelapa Gading (6 hari dalam satu minggu) dan juga di Bundaran HI (3 hari dalam satu minggu). Kondisi ini sangat memprihatinkan dan sangat disayangkan bahwa sampai saat ini pemerintah belum melakukan pemantauan $PM_{2.5}$ secara intensif.

Konsentrasi PM_{2,5}



Gambar 5.: Konsentrasi rata-rata harian PM_{2,5} di Jakarta (Muliani & Lestari 2012).

Ringkasan hasil studi di beberapa kota besar lainnya termasuk Jakarta, Bandung, Pakan Baru, Palangkaraya dan Makasar seperti terlihat dalam Tabel 1 yang menggambarkan bahwa konsentrasi PM_{2,5} di beberapa kota di Indonesia sudah ada diambang batas aman. Bahkan di beberapa lokasi di Jakarta, Bandung dan Pekanbaru telah melewati nilai baku mutu udara ambien 65 µg/m³ dan 15 µg/m³ berturut-turut untuk rata-rata harian dan tahunan (PP41/99). Data hasil pengukuran ini jika dibandingkan dengan baku mutu udara ambient dari US EPA (United State Environmental Protection Agency) maupun WHO (World Health Organization) telah jauh melampaui batas baku mutu dan dapat dikatakan bahwa udara dikota-kota besar di Indonesia sudah sangat tidak sehat. Baku mutu udara ambient rata-rata harian untuk PM_{2,5} adalah 65, 35 dan 25 µg/m³ berturut-turut dari PP41/99, US EPA dan WHO. Perbedaan yang

begitu besar antara ketiga peraturan ini perlu dikaji ulang oleh pemerintah Indonesia untuk melakukan revisi Undang-Undang secara benar didasarkan pada kajian yang lebih faktual dan komprehensif. Sedangkan baku mutu rata-rata tahunan (annual mean) adalah 15 dan 10 µg/m³ untuk US EPA dan WHO. Jika mengacu pada kedua baku mutu tersebut (US EPA dan WHO) maka dapat dipastikan bahwa seluruh kota besar di Indonesia sudah tidak sehat.

Tabel 1: Ringkasan hasil Pemantauan PM_{2,5} dan PM₁₀ di Beberapa kota di Indonesia (Lestari, 2007,2008, 2009, 2014; M Rasyid et.al 2014, Febri J & Lestari 2010)

Lokasi Studi	PM _{2,5} , µg/m ³ average	PM ₁₀ , µg/m ³ Average	Baku Mutu, µg/m ³
Jakarta Bunderan HI (2012)	63,3	104,8	PP41/99: 24 hr avg PM _{2,5} 65; PM ₁₀ :150
Jakarta Kelapa Gading (2012) konst rata2harian	68,6	90,8	
Bandung Tegalega (2001-2007)	27-88 (48)	52-117 (81)	PM _{2,5} : US EPA 35, 24-hour avg
Bandung-Cisaranten (2001-2007)	29-100 (63)	50-138 (97)	15, annual mean
Bandung-Dago Pakar (2001-2007)	18-66 (36)	20-86 (47)	PM ₁₀ : (US EPA) 150, 24-hour avg
Bandung-ITB (2013-2015)	19-65 (39)	45-120 (68)	PM _{2,5} : (WHO, 2006) 10 , annual avg
Bandung-Rancabali (2004-2008) remote	4-22 (12)	6-58 (20)	25, 24-hour
Pakan Baru (2013)	59-90 (71)	-	PM ₁₀ : (WHO) 20, annual mean
Makasar (2012-2013)		13-63 (32,9)	50, 24-hour mean
Palangkaraya (2009)		81,24	

Disamping pengukuran partikulat diudara ambient juga dilakukan pengukuran pada sumbernya antara lain pada lokasi kebakaran hutan di Kalimantan maupun di Sumatera. Hasil pengukuran $PM_{2.5}$ di kedua lokasi ini menunjukkan konsentrasi yang amat tinggi masing-masing mencapai $4141 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $7120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berturut-turut untuk Pulau Pisau (Kalimantan Tengah) dan Bengkalis (Sumatra) (Febri juita & Lestari, 2010; Yusuke F et.al, 2014). Seperti yang kita lihat bahwa kondisi kualitas udara pada saat terjadi kebakaran lahan ini sangat buruk. (Gambar 5). Kejadian kebakaran hutan dan lahan gambut yang terjadi secara sistemik di Indonesia perlu menjadi perhatian khusus bagi pemerintah dan penduduk disekitar wilayah kebakaran.



Gambar 6: Monitoring pada kondisi kebakaran lahan.

Karakteristik Partikulat.

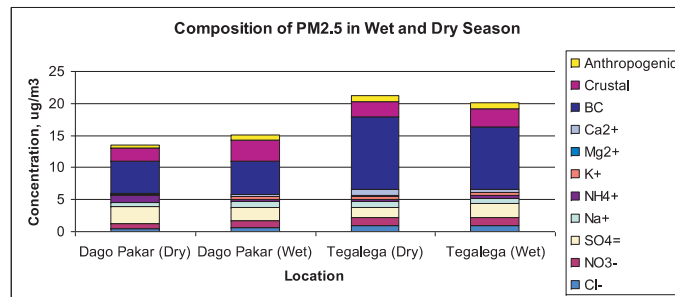
Komposisi kimia dari polutan partikulat ini menjadi ciri utama atau karakteristik partikulat yang disebabkan karena adanya perbedaan mekanisme pembentukannya maupun sumber polutan utamanya. Pada

umumnya partikulat halus akan mengandung Organic Carbon (OC), Black Carbon (BC), senyawa sulfat dan nitrat serta elemen-elemen logam. Proporsi dari komponen-komponen ini bervariasi di setiap lokasi atau kota tergantung dari sumber pencemar yang ada di wilayah tersebut. Komposisi dan karakteristik partikulat di daerah perkotaan seperti Bandung dan Jakarta akan banyak mengandung senyawa BC yang merupakan salah satu indikator dari sektor transportasi, dan juga senyawa sulfat dan nitrat yang sumbernya bisa primer maupun sekunder karena proses pembentukan dengan reaksi kimia. Gambar berikut menunjukkan komposisi partikulat halus di Bandung dan Jakarta.

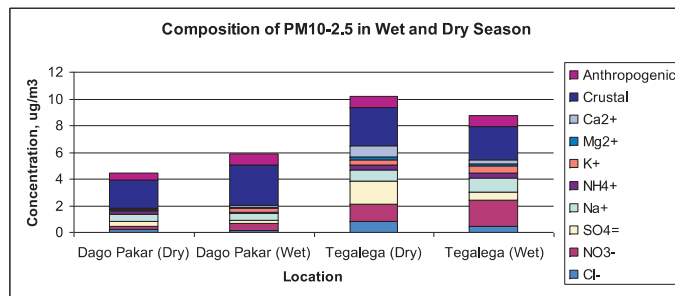
Untuk di kota Bandung, BC merupakan senyawa yang cukup dominan pada partikel halus, diikuti dengan senyawa sulfat dan crustal elemen yaitu elemen-elemen logam yang berasal dari unsur tanah seperti kalsium dan magnesium. Elemen *anthropogenic* termasuk didalamnya adalah Pb atau timah hitam merupakan salah satu unsur yang berbahaya pada anak-anak. BC merupakan indikator peran sektor transportasi pada pencemaran udara. Pb (timah hitam) yang berasal dari bensin yang mengandung timbal (bensin bertimbal) juga merupakan indikator dari sektor transportasi, yang mana pada saat studi ini lakukan bensin di Bandung masih mengandung timbal. Sedangkan komposisi partikulat kasar ($PM_{10-2.5}$) lebih didominasi oleh unsur crustal element.

Sementara untuk kota Jakarta, BC juga merupakan unsur dominan diikuti senyawa sulfat dan nitrat. Besarnya konsentrasi BC dalam partikulat halus ($PM_{2.5}$) menjadi indikator kontribusi dari sektor transportasi. Sedangkan senyawa sulfat dan Nitrat diduga berasal dari senyawa Ammonium Sulfat dan Ammonium Nitrat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan

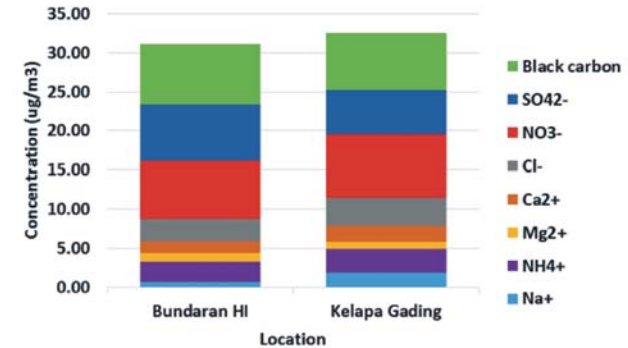
NH_4NO_3). Senyawa ini terbentuk diudara karena adanya reaksi kimia yang berasal dari polutan2 primer seperti SO_2 dan NO_x yang begitu besar di Jakarta. Unsur-unsur ini yang kemudian teroksidasi membentuk senyawa sulfat dan nitrat yang kemudian bereaksi dengan ammonium membentuk partikulat halus dari ammonium sulfat dan ammonium nitrat. Partikulat ini biasanya berukuran dibawah $< 0,5$ mikron. Adanya unsur Cl dan Na diduga berasal dari garam laut yang dekat di daerah Jakarta. Hal ini juga terlihat bahwa konsentrasi Na dan Cl lebih tinggi di daerah Kelapa Gading (Jakarta Utara) yang lokasinya lebih dekat ke arah laut di dibandingkan dengan lokasi sampling di Bundaran HI.



Gambar 7: Komposisi kimia partikulat halus di Bandung

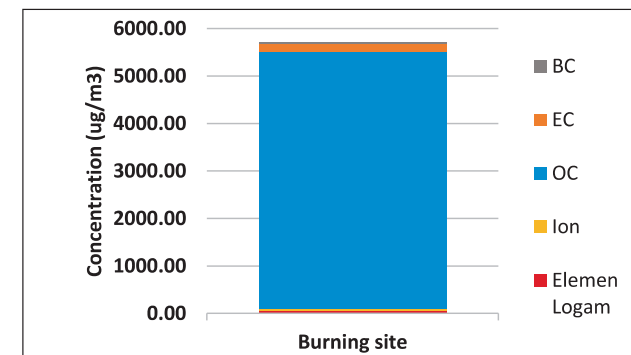


Gambar 8: Komposisi kimia partikulat kasar ($\text{PM}_{10-2.5}$) di Bandung



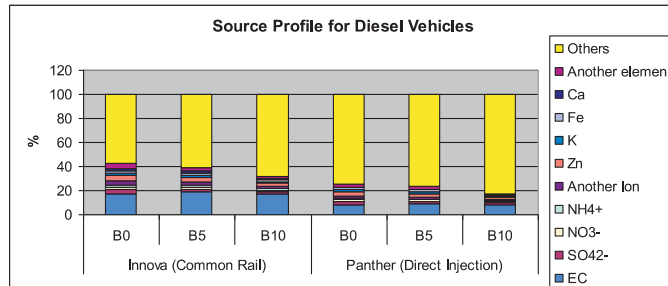
Gambar 9: Komposisi Partikulat halus ($\text{PM}_{2.5}$) di Jakarta

Berbeda dengan karakteristik partikulat di daerah perkotaan, karakteristik (*finger print*) Partikulat di sumber pencemar dari kebakaran hutan dan lahan gambut memberikan porsi yang sangat berbeda. Organic Carbon menjadi komponen utama partikel halus yang berasal dari emisi kebakaran hutan dan lahan gambut baik di Kalimantan maupun di Sumatera. Mengingat bahwa lahan gambut merupakan sumber carbon yang tinggi. Gambut mengandung carbon 50-60% (Setyawati et.al 2015)

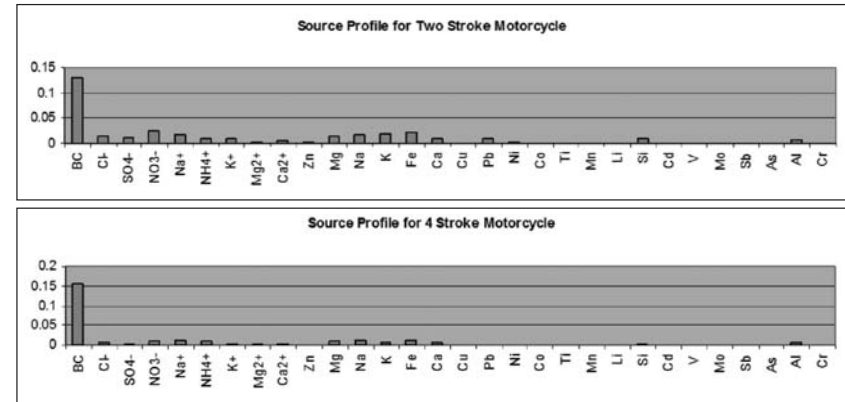


Gambar 10: Komposisi $\text{PM}_{2.5}$ dari emisi kebakaran lahan (Iriana & Lestari,2013 dan Yusuke Fuji et.al 2014)

Untuk partikulat yang berasal dari transportasi khususnya diesel (kendaraan berbahan bakar solar) mempunyai karakter atau profil sumber (finger print) yang berbeda. Black Carbon (BC) atau Elemental Carbon (EC) adalah unsur yang dominan. Karakteristik partikulat yang berasal dari emisi kendaraan bermotor yang diukur secara laboratorium menggunakan Chasis Dinamometer (bekerjasama dengan BTMP) juga menunjukkan komponen BC/EC yang tinggi (Gambar 10) (Lestari et.al, 2007). Karakteristik partikulat dari berbagai sumber ini dapat menjadi acuan dalam menentukan sumber partikulat di suatu daerah dengan menggunakan Model Reseptor. Profil sumber pencemar (Finger print) ini sangat berguna dan sangat jarang dilakukan di Indonesia karena tingkat kesulitan dan biaya yang mahal.



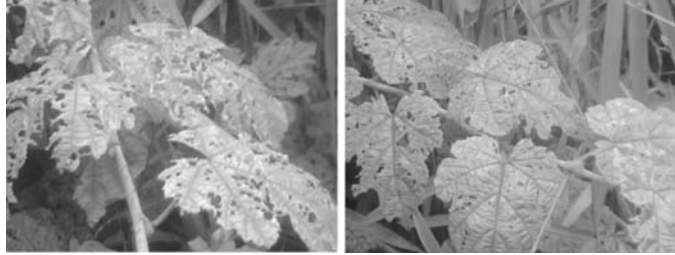
Gambar 11: Komposisi Partikulat dari emisi mobil dengan bahan bakar solar dan Biosolar. (Lestari 2007, Minarni & Lestari 2007)



Gambar 12: Komposisi Kimia (profil sumber) Partikulat dari emisi sepeda motor mesin 2 tak dan 4 tak.

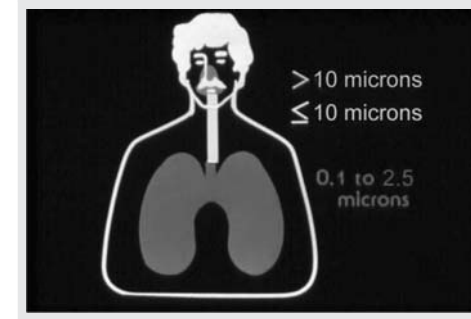
3. DAMPAK POLUSI UDARA

Pencemaran udara secara umum dapat menimbulkan dampak yang sangat besar, baik terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia. Secara umum polutan kriteria seperti CO, NO_x, SO₂ dan partikulat akan menyebabkan dampak yang negative terhadap Lingkungan dan Kesehatan. CO misalnya zat yang tidak berwarna dan tidak berbau ini pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kematian. CO dapat bereaksi dengan hemoglobin dan menghambat transfer oksigen dengan kecepatan reaksi 210 x lebih cepat dibanding oksigen. Sedangkan SO₂ maupun NO_x dapat merusak hijau daun. Tumbuh-tumbuhan yang terpapar SO₂ dalam konsentrasi yang tinggi dapat mengalami kerusakan pada hijau daunnya (Gambar 13), sedangkan untuk kesehatan SO₂ dan NO_x dapat menyebabkan iritasi mata dan hidung dan pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan bronchitis dan pneumonia.



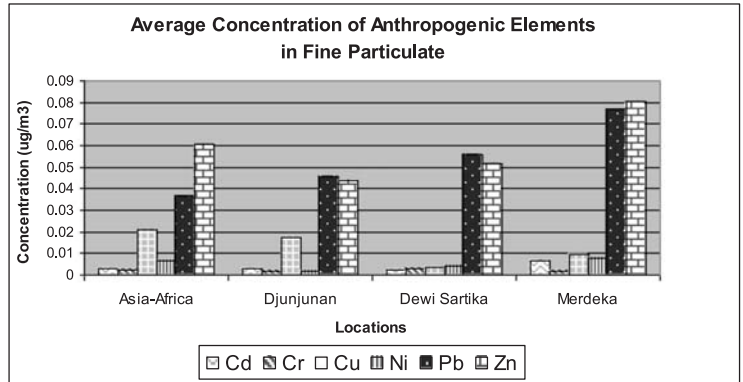
Gambar 13: Pengamatan Kerusakan hijau daun karena SO₂.

Polutan partikulat di udara ambien mempunyai dampak yang kurang baik terhadap lingkungan maupun kesehatan. Untuk dampak terhadap lingkungan diantaranya adalah menurunkan jarak pandang, menghambat pertumbuhan tanaman dan merusak material tergantung dari komposisi kimia yang ada didalamnya. Partikulat dengan ukuran >10 mikron tidak masuk ke dalam saluran pernafasan namun dapat mengotori tubuh dan mencemari lingkungan, sedangkan partikulat dengan ukuran <10 mikron akan masuk ke dalam system pernafasan dan dapat menyebabkan terjadinya iritasi saluran pernafasan sedangkan partikulat dengan ukuran <2,5 mikron dapat masuk ke dalam paru paru dan dapat menyebabkan berbagai penyakit paru termasuk bronkitis, kanker paru-paru, asma, infeksi saluran pernafasan, emfisema dan pneumonia.

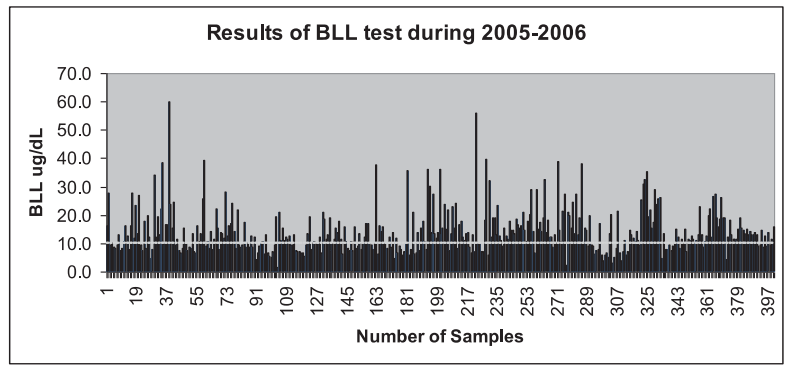


Gambar 14: Mekanisme Partikulat masuk kedalam tubuh manusia.

Partikel halus dapat menyebabkan dampak yang sangat beragam terhadap kesehatan tergantung pada komponen yang terkandung didalamnya. Dari hasil penelitian tahun 2005-2006 (Lestari et.al, 2006, Lestari 2012), partikulat halus dan juga PM₁₀ mengandung timah hitam (Pb) yang cukup tinggi (Gambar 15). Kadar Pb di udara yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan otak atau mental pada anak-anak dan menurunkan IQ. Pada tahun 2005 dari 400 siswa sekolah dikota Bandung yang diambil sampel darahnya, 264 siswa mempunyai kadar timbal dalam darah yang telah melewati standard WHO yaitu 10 mg/dL. Sedangkan kadar timbal dalam darah anak-anak sekolah di Bandung rata-rata adalah 14,13 ug/dL (Gambar 16 dan Tabel 2). Tingginya kadar timbal di udara disebabkan karena pada saat itu Indonesia dan khususnya kota Bandung masih menggunakan bensin bertimbal, sehingga partikulat halus yang diemisikan dari kendaraan bermotor mengandung timah hitam atau timbal. Tes IQ juga dilakukan terhadap 150 siswa dan hasilnya menunjukkan adanya korelasi positif antara kadar timbel didalam darah dengan penurunan IQ.



Gambar 15: Konsentrasi Elemen anthropogenik dalam Partikulat halus (PM2,5) di Bandung (Lestari, 2006)



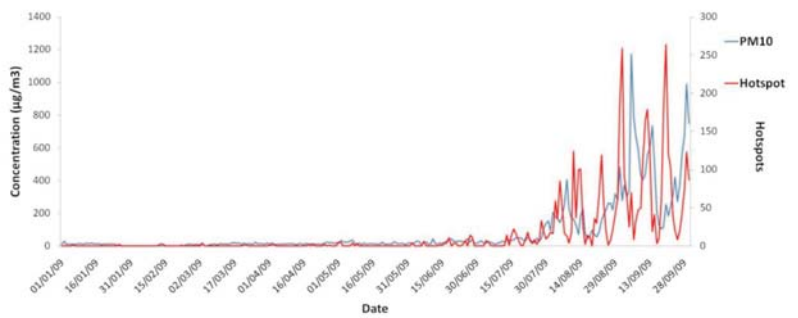
Gambar 16: Hasil tes kadar timbel dalam darah anak sekolah di Bandung (Lestari 2006, Lestari 2014)

Tabel 2:

Ringkasan hasil test kadar timbel darah anak sekolah di Bandung (Lestari 2014)

No	Summary of Activities	Unit	Note
1	Number of Schools	40	
2	Number of children/Samples	400	
3	BLL Average Value (mean)	14.13	ug/dL
4	WHO Standard	10	ug/dL
4	Number of students above standards	264	
5	% number of students with BLL above standard	65.5	
6	Standard deviation	7.7	

Selain itu dampak pencemar udara yang berasal dari sumber pencemar seperti kebakaran hutan dan lahan gambut juga mempunyai dampak yang besar terhadap lingkungan maupun kesehatan. Hasil kajian yang kami lakukan pada tahun 2009 membuktikan bahwa kebakaran lahan gambut telah meningkatkan konsentrasi polutan di Palangkaraya hingga lebih dari 100 kali dibandingkan pada kondisi normal. Meningkatnya jumlah titik api sejalan dengan kenaikan konsentrasi polutan khususnya Partikulat (Gambar 17) (Pradani & Lestari 2010)



Gambar 17: Jumlah Titik api dan pengaruhnya terhadap konsentrasi PM₁₀

Partikulat halus ($PM_{2.5}$) yang berasal dari emisi kebakaran lahan gambut sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia karena komposisinya. **Organic Carbon (OC)** dan elemental Carbon dan (**Brown Carbon**) merupakan komponen utama dari $PM_{2.5}$ dari emisi kebakaran hutan dan lahan gambut (80%). Selain itu *Major Carcinogenic metals* (Cr, Cd dan Ni) juga ditemukan dalam $PM_{2.5}$. Estimasi resiko hasil studi yang kami lakukan di Kalimantan adalah $4.7 \cdot 10^{-3}$ yang dihitung hanya berdasarkan dari *metal compounds* (kandungan senyawa logam) saja dan resiko ini jauh melewati standard WHO yaitu $1 \cdot 10^{-6}$. (Raghu et.al, 2012)

4. SUMBER PENCEMAR PARTIKULAT

Secara umum sumber utama polusi udara dan khususnya partikulat berasal dari berbagai aktivitas manusia seperti aktifitas transportasi, industri, pembangkit listrik, konstruksi, rumah tangga, pembakaran sampah dan aktivitas komersial lainnya. Seperti yang telah saya sampaikan diatas bahwa karakteristik atau komposisi partikulat juga mencerminkan mekanisme terbentuknya dan juga sumbernya. Transportasi termasuk salah satu sumber utama didaerah perkotaan mengingat jumlah kendaraan di Indonesia dan khususnya di kota kota besar seperti Bandung dan Jakarta meningkat hampir 10% setiap tahunnya (BPS, 2010). Total jumlah kendaraan di Indonesia pada tahun 2010 adalah 71,5 juta kendaraan dan jumlah kendaraan di Jakarta pada tahun yang sama adalah 12 juta kendaraan. Naiknya jumlah kendaraan setiap tahun yang begitu besar diduga memberikan kontribusi yang besar terhadap polusi udara. Polutan yang dihasilkan dari sektor ini adalah CO , NO_2 , VOC, dan PM dan SO_2 . Selain itu gas rumah kaca seperti CO_2 juga

dihasilkan dari sektor ini.

Sektor industri di Indonesia tumbuh begitu cepat, dan sejalan dengan pertumbuhan sektor industri ini maka emisi yang dihasilkan dari sektor ini juga meningkat. Industri-industri yang mempunyai kontribusi terhadap polusi udara di Indonesia diantaranya adalah industri yang memiliki (Boiler dan Furnace), industri semen, pupuk, dan besi & baja. Pada prinsipnya emisi dari industri ini berasal dari aktivitas Boiler, Furnace, proses pembakaran bahan bakar dan *material handling*. Sedangkan jumlah dan tipe polutan yang dihasilkan tergantung dari jenis dan jumlah bahan bakar yang digunakan. Dari proses boiler dan furnace ini biasanya dihasilkan emisi seperti SO_2 , PM, VOC dan NO_2 . Sementara untuk pembangkit listrik emisi yang dihasilkan biasanya adalah SO_2 , NO_2 dan Partikulat yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil.

Sumber lain dari polusi udara di Indonesia adalah dari kegiatan rumah tangga yang menggunakan bahan bakar untuk memasak. Emisi yang dikeluarkan juga tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan. Untuk penduduk perkotaan, sebagian besar telah menggunakan gas LPG sebagai bahan bakarnya, sedangkan untuk penduduk dipedesaan sebagian masih menggunakan minyak tanah maupun kayu bakar.

Banyak cara yang bisa dilakukan untuk mengidentifikasi sumber polutan baik partikulat maupun polutan kriteria lainnya di suatu kota atau wilayah. Berdasarkan karakteristik partikulat yang telah diidentifikasi baik dari reseptor maupun profil sumbernya, maka model reseptor bisa menjadi salah satu alat (tool) dalam menentukan sumber pencemar partikulat. Cara ini menggunakan usaha dan sumber daya yang

cukup besar, namun model reseptor ini dapat memprediksi potensi sumber pencemar partikulat yang ada di suatu wilayah.

Cara yang paling sering digunakan adalah dengan melakukan inventarisasi emisi untuk polutan jenis tertentu termasuk partikulat dan polutan kriteria lainnya. Inventarisasi emisi ini dapat dilakukan dengan cara yang sederhana dengan pendekatan menggunakan faktor emisi (metode tier 1) dan konsumsi bahan bakar (TOP Down approach), atau dengan metode yang perlu pendekatan lebih detail berdasarkan aktivitasnya (bottom up approach).

Total emisi yang dihasilkan dari berbagai sumber diatas terus meningkat setiap tahunnya. Hasil studi inventarisasi emisi yang dilakukan di kota Bandung menunjukkan adanya peningkatan beban emisi yang cukup tinggi dari tahun 1992 dan 2002. Kontribusi tiap sektor terhadap polutan CO, NO_x, SO₂, THC dan SPM menunjukkan bahwa sektor transportasi masih menjadi sumber utama pencemaran udara dikota Bandung khususnya untuk polutan CO, NO_x dan THC (Lestari 2014). Sedangkan untuk polutan partikulat, semua sektor mempunyai kontribusi yang hampir sama.

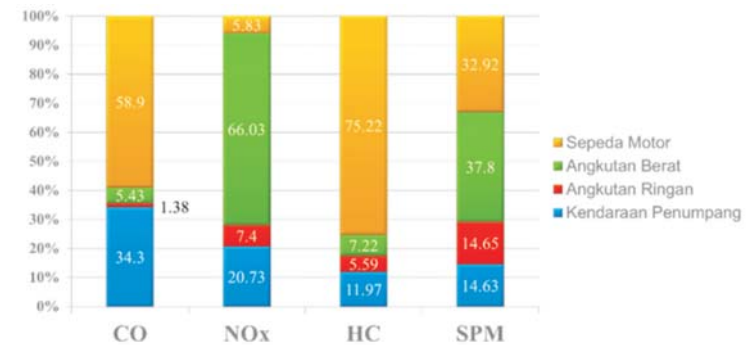
Tabel 3: Total Emisi dan kontribusi sektor di Bandung (Lestari 2014)

Sectors	Unit	Pollutants				
		CO	NO _x	SO _x	THC	SPM
Bandung (1990)*	Tones	48,110	2,707	2,093	2325	1,015
Share:						
Transportation	%	97.4	56.3	12.6	78.5	27.4
Households	%	0.1	11.1	18.8	2.2	33.2
Solid waste	%	2.4	3.0	0.7	17.5	19.4
Industry	%	0.1	29.6	68.0	1.8	20.0

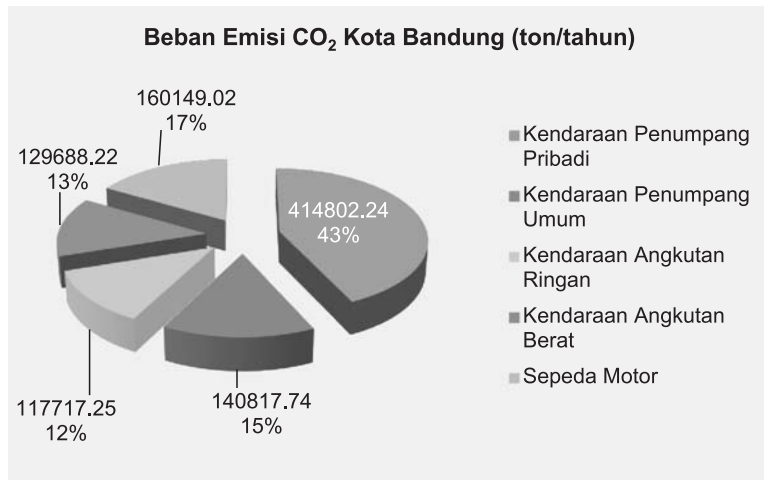
Bandung (2002)**	tones	72,243	11,000	n.a	8491	1,483
Share:						
Transportation	%	93.62	51.68		68.12	23.84
Households	%	0.37	22.55		5.08	30.54
Solid waste	%	2.97	1.39		9.03	20.68
Industry	%	3.04	24.38		17.78	24.94

Sumber: *LP-ITB, 1992 and **Lestari, 2004 (dalam Lestari 2014)

Inventarisasi emisi secara lebih detail dalam sektor transportasi bisa dilakukan dengan menghitung beban polutan dari jenis kendaraan yang berbeda. Hasil studi inventarisasi untuk polutan CO, NO_x, HC dan SPM di Jakarta khusus dari sektor transportasi yang dilakukan pada tahun 2011 menunjukkan bahwa sepeda motor mempunyai kontribusi terbesar untuk polutan CO dan HC, sedangkan untuk di Bandung kendaraan penumpang mempunyai kontribusi terbesar terhadap emisi CO₂.



Gambar 18: Kontribusi Jenis Kendaraan terhadap polutan CO, NO_x, HC and SPM di Jakarta.

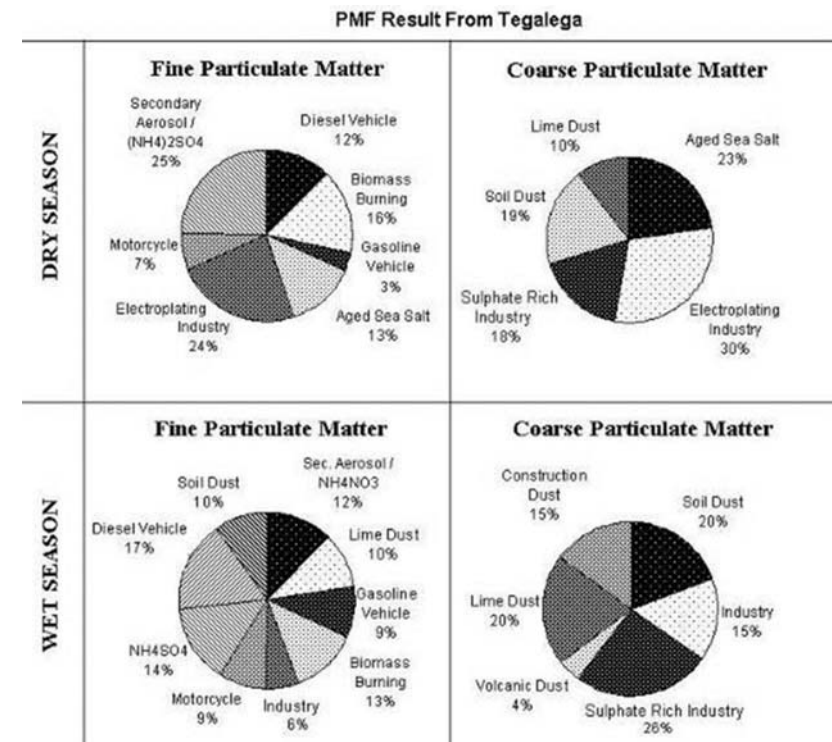


Gambar 19: Kontribusi Jenis kendaraan terhadap total emisi CO₂ di Bandung

Penyebab utama polutan partikulat adalah karena adanya proses *Material handling* seperti penggilingan, penghancuran, kegiatan loading dan unloading, proses pembakaran dan juga adanya reaksi kimia (konversi polutan gas dan reaksi heterogen dari fase gas dan cair). Polutan partikulat juga bisa diidentifikasi sumber pencemarnya dengan model reseptor. Dengan mengetahui karakteristik atau komposisi partikulat yang diukur dan dilakukan secara intensif disuatu wilayah tertentu, dan dengan mengetahui profil sumber partikulat maka asal atau sumber pencemar partikulat tersebut dapat diprediksi dengan menggunakan model reseptor baik itu dari CMB (Chemical Mass Balance) atau PMF (Positive Matrix Factorization).

Model PMF di gunakan untuk memprediksi sumber polutan partikulat dan telah diaplikasikan untuk kota Bandung, Pakanbaru dan

Makasar. Hasil kajian di kota Bandung yang dilakukan pada tahun 2009 mengindikasikan bahwa partikulat dengan ukuran PM_{2.5} yang ada di kota Bandung berasal dari sumber industri, sumber transportasi, dan terbentuk dari reaksi kimia senyawa NH₄NO₃ dan (NH₄)₂SO₄.



Gambar 20: Kontribusi sumber terhadap konsentrasi PM_{2.5} dan PM_{10-2.5} (Fine dan Coarse partikulat) di Bandung.

5. TANTANGAN DALAM PENGELOLAAN DAN PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI INDONESIA

Berdasarkan UUD 1945 pasal 28H ayat 1 (perubahan kedua), bahwa setiap warga negara Indonesia berhak untuk mendapatkan lingkungan hidup yang baik dan sehat. Hak-hak tersebut belum sepenuhnya terpenuhi secara terus menerus dan menyeluruh seperti halnya yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia dengan kualitas udara yang relatif belum sepenuhnya baik dan aman. Pertumbuhan aktivitas ekonomi, jumlah penduduk, transportasi, pemukiman padat serta faktor eksternal lainnya seperti kondisi meteorologi yang belum seimbang dengan pengelolaan kualitas udara yang ada dapat menyebabkan kualitas udara di Indonesia akan terus memburuk. Dalam surveynya CAI Asia mendapatkan bahwa polutan seperti Partikulat, NO_x dan SO_2 di beberapa kota telah melebihi nilai baku mutu udara ambient (CAI ASIA 2009). Sementara khusus untuk polutan partikulat, hasil pemantauan yang kami lakukan di beberapa kota juga menunjukkan konsentrasi partikulat khususnya $\text{PM}_{2.5}$ yang telah berada diambang batas aman seperti yang telah saya sampaikan diatas.

Dalam pengelolaan pencemaran udara, ada 5 hal penting yang perlu dilakukan termasuk pemantauan (monitoring) kualitas udara, analisa resiko, pengembangan strategi kebijakan untuk reduksi emisi, perencanaan strategi pengendalian dan pelaksanaan pengendalian.

Pemantauan kualitas udara menjadi faktor penting untuk mengetahui dengan benar status kualitas udara disuatu wilayah sebelum upaya pengelolaan dan pengendalian dapat dilakukan. Sistem AQMS yang ada

di 10 kota dengan 34 monitoring stations yang beroperasi sejak tahun 2001 tidak sepenuhnya berjalan dengan baik bahkan beberapa diantaranya sama sekali tidak berfungsi. Pemantauan polutan partikulat $\text{PM}_{2.5}$ di Indonesia belum dilakukan dan bahkan belum menjadi perhatian dalam sistem AQMS di Indonesia, dan ini menjadi salah satu tantangan dalam pengelolaan kualitas udara di Indonesia. Analisa resiko, perlu dikaji dari hasil pemantauan kualitas udara yang komprehensif dan terus menerus. Jika status kualitas udara telah sampai pada kondisi yang kurang baik, maka kebijakan untuk menurunkan emisi dan memperbaiki kualitas udara harus segera dilakukan oleh Pemerintah. Rencana aksi dan Strategi pengendalian dan implementasinya harus dicanangkan. Komitmen dari semua pihak diperlukan untuk berhasilnya suatu program pengendalian pencemaran udara yang lebih baik.

Faktor lain adalah estimasi perhitungan beban polutan dan kontributornya perlu dilakukan sebagai bagian dari kewajiban untuk setiap wilayah melakukan inventarisasi emisi. Upaya ini telah dilakukan oleh pemerintah dalam hal ini KLHK bahwa setiap kota untuk melakukan emission inventori (inventarisasi emisi), namun karena database pada umumnya di Indonesia kurang baik atau sangat lemah maka kegiatan ini pun saya nilai tidak sepenuhnya berhasil dengan baik. Disamping hal tersebut kapasitas pemerintah untuk melakukan kegiatan ini masih sangat terbatas. Beberapa kota besar menggunakan jasa konsultan untuk kegiatan inventarisasi emisi ini atau bekerjasama dengan pihak lain. Dengan melakukan inventarisasi emisi, kontributor utama dari polutan tertentu dapat diketahui sehingga prioritas kebijakan dan pengendalian

pencemaran dari sektor terkait dapat dilakukan dan dapat diidentifikasi sektor mana yang akan menjadi prioritas. Tantangan utama dalam melakukan inventarisasi emisi adalah lemahnya database dan belum adanya Faktor Emisi (FE) lokal yang dapat menggambarkan kondisi aktual di Indonesia. Inventarisasi emisi yang pernah kami lakukan di kota Bandung tahun 2003, dan 2005, juga di kota Jakarta pada tahun 2002 dan 2009 mengindikasikan bahwa polutan partikulat di Bandung berasal dari sumber2 dengan kontribusi yang hampir sama antara sektor transportasi, industri, rumah tangga dan pembakaran sampah. Sedangkan untuk polutan CO dan HC sumber utamanya adalah dari sektor transportasi.

Distribusi peta emisi disuatu wilayah juga penting untuk dapat memberikan gambaran tentang lokasi sumber pencemar udara, sehingga prioritas pengendalian bisa dilakukan (Gambar 22). Upaya kebijakan pemerintah untuk mereduksi emisi yang telah dilakukan antara lain Program Langit Biru, program bensin bebas timbal yang bertujuan untuk mengurangi emisi Pb dari sektor transportasi. Namun demikian untuk segera mengurangi emisi dari sektor transportasi, standar Euro 4 perlu segera dilaksanakan di Indonesia. Kebijakan dan pelaksanaan Euro 4 ini juga akan menjadi tantangan tersendiri dalam pengelolaan kualitas udara di Indonesia.

Dalam UU no23 tahun 1997 tentang pengelolaan Lingkungan Hidup. Setiap orang berkewajiban memelihara kelestarian fungsi lingkungan hidup serta mencegah dan menanggulangi pencemaran dan perusakan (Pasal 6 ayat1). Untuk menjamin pelestarian fungsi lingkungan hidup, setiap usaha dan/atau kegiatan dilarang melanggar baku mutu dan

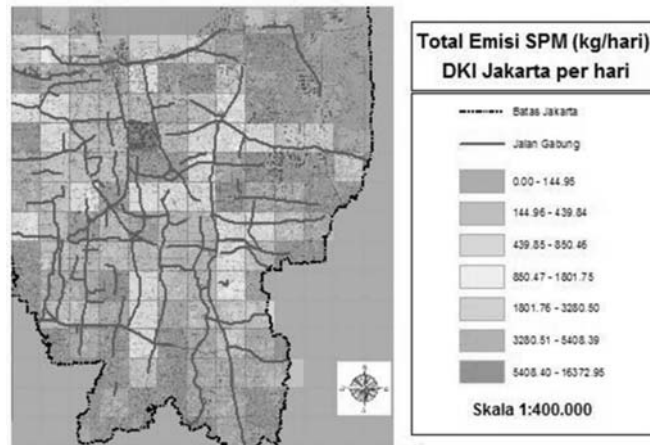
kriteria baku kerusakan lingkungan hidup (pasal 14, ayat 1).

Dalam UUD ini jelas bahwa setiap usaha dan atau kegiatan dilarang melanggar baku mutu dan kriteria baku kerusakan lingkungan yang berarti bahwa setiap usaha yang menghasilkan emisi polutan tertentu wajib melakukan upaya pengendaliannya. Baku mutu emisi pada setiap sumber pencemar telah di atur dalam Permen LH. Penulis telah berperan aktif dalam pengembangan baku mutu emisi di beberapa sektor. Misalnya PermenLH 07 tahun 2007 mengatur bakumutu emisi untuk Ketel uap untuk industri gula dan sawit. Dengan adanya PermenLH tersebut maka setiap usaha tersebut wajib melakukan pengendalian pencemaran udara untuk polutan partikulat dan polutan lainnya yang diatur dalam permen tersebut sehingga emisinya tidak melewati baku mutunya. Untuk ini setiap usaha atau industri yang menghasilkan emisi wajib melakukan pemantaun emisi dan melaporkannya kepada Kementerian terkait. Tantangan dalam hal ini adalah komitmen dan kejujuran pihak-pihak pelaku usaha untuk melaporkan hasil pemantauan emisi secara benar. Upaya kebijakan pemerintah ini belum sepenuhnya diikuti dengan upaya pemerintah untuk melakukan pemantauan langsung ke pihak terkait.

Usaha yang bisa dilakukan pihak palaku usaha atau industri diantaranya adalah dengan melakukan efisiensi pemakaian sumber daya, penggantian bahan baku, dan pemasangan alat pengendali pencemaran udara/partikulat. Untuk hal ini penulis bekerjasama dengan industri-industri terkait telah melakukan pengendalian pertikulat dengan memasang alat pengendali partikulat *Wet scrubber* dan atau *cyclone* sehingga emisi partikulatnya memenuhi baku mutu emisi.



Gambar 21: Design Cyclone dan Wet Scrubber untuk Industri Gula



Gambar 22: Peta distribusi emisi dari sektor transportasi di Jakarta

Upaya pengelolaan kualitas udara di Indonesia akan berhasil dengan baik jika seluruh stake holders (Pemerintah, Pelaku usaha yang menghasilkan sumber emisi, akademisi, LSM maupun Masyarakat) bekerjasama secara terpadu dengan tanggung jawab dan kesadaran penuh untuk mengatasi masalah pencemaran udara di Indonesia.

6. PENUTUP

Pengelolaan Kualitas Udara di Indonesia harus dilakukan secara terpadu dengan melibatkan berbagai pihak yang terkait termasuk institusi pemerintah, masyarakat industri, akademisi dan juga LSM. Pemantauan kualitas udara, karakteristik polutan dan sumber pencemar, Faktor Emisi perlu terus dikaji agar pengelolaan dan pengendalian pencemaran udara di Indonesia dapat dilakukan secara tepat. Pemantauan polutan partikulat ukuran halus harus terus dilakukan secara intensif agar status kualitas udara dari polutan partikulat ini dapat diketahui. Sistem AQMS di Indonesia perlu menambahkan parameter partikulat $PM_{2.5}$ menjadi salah satu polutan utama yang dipantau. Dari hasil kajian panjang yang kami lakukan, peraturan pemerintah PP41 sudah perlu direvisi khususnya untuk baku mutu udara ambienya.

Saya menyadari, masih perlunya kajian yang panjang terkait dengan bidang yang saya tekuni agar dapat memberikan kontribusi yang lebih besar dalam pengembangan ilmu pengetahuan, penelitian, pengabdian masyarakat dan juga berperan aktif dalam memberikan masukan kepada pemerintah untuk mengatasi kesenjangan bidang polusi udara dan kebijakan yang ada untuk pengelolaan kualitas udara di Indonesia. Untuk itu saya ingin terus berkomitmen dan mengabdikan diri saya untuk terus berkarya dan mengembangkan penelitian dan studi-studi terkait dengan isu-isu yang ada di Indonesia agar terus bisa bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan pengelolaan kualitas udara di Indonesia.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, bahwasannya atas segala karuniaNya yang telah dilimpahkan hingga saat ini. Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah saya menyampaikan kepada yang terhormat Rektor dan Pimpinan ITB, Pimpinan dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi tingginya saya sampaikan kepada pihak-pihak yang telah mempromosikan dan mendukung saya dengan memberikan rekomendasi dalam proses kenaikan jabatan fungsional Guru Besar, yaitu Prof. Dr. Ir Enri Damanhuri, Prof. Dr. Ir. Prayatni Soewondo, Prof. Dr. Ir. Ofyar Tamin, dan Prof. Dr. Ir. Tjandra Setiadi dari Institut Teknologi Bandung, Prof. Kenneth E Noll, Ph.D dari Illinois Institute of Technology, Chicago, USA, dan Prof. Dr. Kim Oanh dari Asian Institute of Technology, AIT - Bangkok.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan pada saat pengusulan dan pada saat kelanjutan proses Guru Besar yaitu Prof. Ir. Suprihanto Noto Darmojo, Ph.D dan Prof. Ir. Ade Sjafruddin, Ph.D beserta seluruh jajarannya yang telah sangat membantu, mendukung, memberi semangat yang tinggi dalam proses pengusulan penulis. Terima kasih juga saya ucapkan untuk seluruh komunitas Teknik Lingkungan dan seluruh anggota Kelompok Keahlian Pengelolaan Udara dan Limbah (PUL) atas kerjasamanya selama ini dalam mengembangkan keilmuan maupun menjalankan tugas-tugas

akademik.

Ucapan Terima kasih ini juga saya sampaikan pada seluruh mahasiswa dibawah bimbingan saya baik S1, S2 maupun S3 yang telah banyak membantu dalam pengembangan keilmuan dan mewujudkan penelitian yang berkualitas. Juga rekan-rekan di berbagai industri dan kementerian yang telah memberi kesempatan maupun dukungan untuk kegiatan pengembangan keilmuan.

Ucapan terimakasih saya sampaikan untuk keluarga saya tercinta, suami Budhy Mitra Shah dan putri kami Gitta Melati atas kasih sayang, pengertian, dukungan, kesabaran dan doa yang telah diberikan kepada saya dalam meniti karir saya sebagai staf pengajar di Teknik Lingkungan ITB hingga memperoleh jabatan Guru Besar. Juga terima kasih disampaikan untuk keluarga besar saya, Bapak dan Ibu saya almarhum, Kakak-kakak saya, adik saya dan adik-adik ipar saya atas dukungannya selama ini.

Akhir kata, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada seluruh handai-taulan, rekan, dan sahabat khususnya yang hadir pada hari ini untuk mendengarkan pidato saya hingga selesai. Doa dan dukungan saya mohonkan juga agar saya dapat melaksanakan amanah sebagai Guru Besar dengan sebaik-baiknya dan bisa memberi kontribusi yang positif pada kemajuan ilmu pengetahuan di Indonesia. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas semua kebaikan dengan RahmatNya.

DAFTAR PUSTAKA

- Astiti Puriwigati¹ dan Puji Lestari² " Konsentrasi dan kesetimbangan ion partikel aerosol dari emisi kebakaran lahan Gambut di Bengkalis" seminar thesis S2, Institut Teknologi Bandung, tahun 2013
- Noll K.E and Fang K.Y (1989) Development of a dry deposition model for atmospheric coarse particles. *Atmospheric Environment* 23, 585-594
- Noll K.E., Fang K.Y. and Watkins L.A. (1988) Characterization of the deposition of particles from the atmosphere to a flat plate. *Atmospheric Environment* 22, 1461-1468.
- Noll, K.E, Lestari, P, and Holsen, T.M., 1997. Dry deposition of atmospheric sulfate and nitrate in Chicago. *Proceeding of the Air and Waste Management Association annual meeting*,. Toronto, June 19- 23, 1997.
- Puji Lestari, 1996. Atmospheric Particulate Sulfate and Nitrate: Size distribution, Dry deposition, and Formation. Ph.D thesis, Illinois Institute of Technology, USA.
- CAI-Asia. Ambient Air Quality Standards in Asia Survey Report. Clean Air Initiative for Asian Cities (CAI-Asia) Center; Asian Development Bank through RETA 6291: Rolling out Air Quality in Asia (Sustainable Urban Mobility in Asia (SUMA) Program, 2009.
- Mohd Rashid 1, Sattar Yunus 1, Ramli Mat 2, Sabariah Baharun 1, Puji Lestari, "PM10 black carbon and ionic species concentration of urban atmosphere in Makassar of South Sulawesi Province, Indonesia" *Atmospheric Pollution Research* 5 (2014) 610-615.
- Puji Lestari, Yulia Hendra, Yandinur D Mauliadi, M Irsyad (2012), "Monitoring Particulate Matter Levels and Composition for Source

Apportionment study in Indonesia ", a Book Chapter in a book of "Improving Air Quality in Asian Developing Countries", Vietnam.

- Puji Lestari, (2012), "Integrated Air Quality Management to Reduce Traffic emission in Bandung city ", a Book Chapter in a book of "Integrated Air Quality Management: Asian Case Studies", CRC Press, Taylor and Francais Group, USA, Chapter IV.15, ISBN: 978-1-4398-6225-4, Published in 2012.
- Puji Lestari & Yandinur Dwi Mauliadi. "Source Apportionment of Fine and Coarse Particulate Matter at Urban Mixed Site in Indonesia Using PMF" *Journal of Atmospheric Environment*, 43 (2009), pp. 1760-1770
- WHO (2005). 'Air Quality Guideline for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide » update 2005.
- Raghu Betha a, Maharani Pradani b, Puji Lestari b, Umid Man Joshi c, Jeffrey S. Reid d, Rajasekhar Balasubramanian. "Chemical speciation of trace metals emitted from Indonesia peatfire for health risk assessment. *Journal of Atmospheric Research*, 122 (March 2013), Page 571-578, Elsevier.
- Windy Iriana & Puji Lestari" Karakteristik aerosol carbon PM_{2,5} dari emisi kebakaran lahan gambut di Sumatera" Makalah seminar S2 tahun 2013
- Yusuke fujii, Windy iriana, Masafumi Oda, Astiti Puriwigati, Susumu Tohno, Puji Lestari, Akira Misohata and Haryono Huboyo " Characteristic of carbonaceous aerosols emitted from Peatland fire n Riau, Sumatra, Indonesia" *Atmospheric Environment*, 87 (2014), P 164-169. Elsevier

- Yusuke fujii, Windy iriana, Masafumi Oda, Astiti Puriwigati, Susumu Tohno, Puji Lestari, Akira Misohata and Haryono Huboyo "Characteristic of carbonaceous aerosols emitted from Peatland fire n Riau, Sumatra, Indonesia (2): Identification of organic compounds" *Atmospheric Environment*, 110 (2015), P 1-7. Elsevier
- Lestari, P. (2004b). Lead in the air and lead in the school children's blood: case study in Bandung. *Presented at the KPBB workshop, Borobudur Hotel-Jakarta, December 15, 2004.*
- Lestari, Puji. (2006) Factor affecting BLL on school Children in Bandung, *Jurnal Purifikasi* Vol 7. No 2, Desember 06
- Lestari, P. and Leopold, A. (2008). Emission inventory of GHGs (CO₂ and CH₄) from transportation sector using VKT and fuel consumption approaches in Bandung city. *BAQ conference*, Bangkok, November 2008.
- Lestari, P., Kurniawan, E. and Dewi, K. (2006a). Emission inventory of pollutant CO, NO_x and SPM from transportation sector in Bandung basin. *Proceeding at the Environmental Technology & Management Conference, Bandung 6-7 September 2006.*
- Lestari, P., Minarni, D. and Mahalana, A. (2006b). Study of blood lead level test for school children in Bandung, *BAQ conference*, Yogyakarta December 2006.
- LP-ITB. (1992). Ambient air quality monitoring in Jakarta and Bandung. Bandung, Indonesia: Research Institute, Bandung Institute of Technology (LP-ITB) and BAPEDAL

CURRICULUM VITAE



Nama : **Puji Lestari, Ir, Ph.D**
 Tmpt. & tgl. lhr. : Sragen, 27 Mei 1960
 Kel. Keahlian : Pengelolaan Kualitas Udara
 Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung
 Nama Suami : Budhy Mitra, Ir, MM
 Nama Anak : 1. Gitta Melati, S.Mn, M.Fin

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Doctor of Philosophy (Ph.D.), bidang Polusi Udara, Illinois Institute of Technology, Chicago, USA, 1996
- Sarjana Teknik Kimia (Ir), Universitas Gadjah Mada (UGM), 1986.

II. RIWAYAT KERJA di ITB:

- Staf Pengajar Department Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITB, 1998-2005.
- Staf Pengajar Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan (FTSL), ITB, tahun 2005- sekarang.
- Auditor Non-keuangan Satuan Pengawas Internal (SPI), 2015-sekarang.
- Sekretaris GKM Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, 2013-2015
- Ketua GKM Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, 2016-sekarang.
- Wakil kepala CRECPI-ITB (Center for Resource Efficient and Cleaner Production Indonesia) 2014-sekarang.

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- CPNS, III/A, 1 Maret 1988
- Penata Muda, III/A, 1 Maret 1988
- Penata Muda TK 1, III/B, 1 April 1992
- Penata, III/C, 1 Oktober 1997
- Penata TK 1, III/D, 1 April 2005
- Pembina, IV/A, 1 April 2007
- Pembina Tingkat 1, IV/B, 1 April 2009

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Asisten Ahli Madya, 1 Juli 1988
- Asisten Ahli, 1 April 1989
- Lektor Muda, 1 Juli 1989
- Lektor Madya, 1 April 1998
- Lektor (Impassing), 1 April 1998
- Lektor Kepala, 1 Desember 2004
- Profesor/Guru Besar, 1 Juni 2016

V. KERJASAMA LUAR NEGERI:

- Asian Institute of Technology (2001-2008)
- US NASA Goddard: Brent Holben (2009-sekarang)
- Kyoto University (2011-2013)
- National Research Laboratory (NRL) di bawah 7SEAS (2009-2014)
- National University of Singapore (NUS) (2009-2012)
- Dalhousie University, SPARTAN PROJECT (2014-sekarang)

VI. KEGIATAN KEANGGOTAAN INTERNATIONAL

- Anggota - Asian Aerosol Research Assembly (AAAR) Board of

Director (2015-2017)

- Anggota - Scientific Steering Committee (SSC) for IBBI (Interdisciplinary Biomass Burning Initiative) 2016-2018
- Scientific Steering Committee (SSC) for IGAC-Mango (2016-2019)
- Member of Local Organizing Committee for 3rd Atmospheric Composition Asian Moonsoon (ACAM) workshop, 2016

VII. KEGIATAN PENELITIAN:

- **Puji Lestari** dan M Irsyad.; "Improving Air Quality in Indonesia" yang mencakup pemantauan Kualitas Udara untuk PM_{2,5} dan PM₁₀ dan karakteristiknya, control technology, pemodelan kualitas udara dan dampaknya, didanai oleh SIDA (Swedish International cooperation and Development Agency) melalui kerma AIT Bangkok - LPPMITB, **Airpet Phase 1 tahun 2001-2003**
- **Puji Lestari** dan M Irsyad.; "Improving Air Quality in Indonesia" yang mencakup pemantauan Kualitas Udara untuk PM_{2,5} dan PM₁₀ dan karakteristiknya, control technology, pemodelan kualitas udara dan dampaknya, dan Receptor Modeling. didanai oleh SIDA (Swedish International cooperation and Development Agency) melalui kerma AIT Bangkok - LPPMITB, **Airpet Phase 2 tahun 2004-2008**
- **Puji Lestari** dan Iman Rekso Wardoyo: Pengaruh penggunaan bahan bakar Biodiesel terhadap emisi gas buang kendaraan bermotor. Program riset unggulan ITB bidang energi, **tahun 2005 -LPPMITB**
- **Puji Lestari** dan Iman Rekso Wardoyo: Pengaruh penggunaan bahan bakar bioethanol terhadap emisi gas buang kendaraan bermotor dan performan mesin kendaraan. Program riset

unggulan ITB bidang energi, **tahun 2006 –LPPMITB**

- **Puji Lestari:** Dampak sistem transportasi kota terhadap pencemaran udara dan Gas Rumah Kaca di Jakarta. **Program riset unggulan DIKTI tahun 2009 Tahap I – DIKTI**
- **Puji Lestari & Haryo Satriotomo :** Dampak sistem transportasi kota terhadap pencemaran udara dan Gas Rumah Kaca di Jakarta. **Program Riset Unggulan DIKTI tahun 2010 tahap II –DIKTI**
- **Puji Lestari & Brent Holben:** Measurement of ground level Particulate Matter (PM2.5 &PM10) using Sun Photometer in Bandung City” Kerjasama Penelitian dengan US NASA dalam rangka 7SEAS studies, 2009-sekarang
- **Puji Lestari, Bala Subramanian dan Jeff Reid:** Characterization of Particulate emission from Peat land burning in Kalimantan. Join Research, funded between Nasional University of Singapore (NUS) and Naval Research Laboratory (NRL) USA, dalam rangka 7SEAS study, 2009-2010
- **Puji Lestari and Tohno Susumu (Kyoto University):** Characterization of Particulate emission from indoor air pollution in mountaneous and coastal area in Indonesia. **Januari 2011- December 2011**
- **Puji Lestari and Tohno Susumu (Kyoto University):** Characterization Determination of particulate composition emitted from peatland fires in Bengkalis, Sumatra Indonesia” In cooperation with Kyoto University, Japan. **Januari 2012- Januari 2013**
- **Puji Lestari :** Analysis of Waste Recovery Potential toward GHGs

reduction in Cement Industries. February-October 2013, funded by GIZ Germany

- **Puji Lestari** and Randal Martin (Dalhousie University), SPARTAN Net work (Particulate matter measurement) in Bandung. **Januari 2013-sekarang**
- **Puji Lestari, Wiwiek Setyawati, & Fatti Maharani:** Pengembangan Faktor Emisi PM, BC dan CO2 dari Pembakaran gambut di Indonesia. **Osaka Gas (Japan). Oktober 2015-Oktober 2016**
- **Puji Lestari dan Hafidawati:** Pengembangan factor emisi untuk BC dan PM2.5 dari pembakaran bimassa limbah pertanian di Jawa Barat. **Riset ITB 2016**
- **Puji Lestari dan Ucoc WR Siagiaan:** Emission Inventory for GHGs and Pollutant PM, CO, NOx, SO2, HC, and NMVOC in Jakarta City (funded by Toyota Corp, Japan). **Juni 2016- Maret 2018.**

VIII. PUBLIKASI

a. Dalam Jurnal International

1. **Puji Lestari, and Savitri,** “Atmospheric Particulate Concentration Measured in an Urban Area Bandung” publication in the Journal of PAGEOPH, 160 (January 2003) p.107-116, Basel, Switzerland.
2. **Puji Lestari, Ali Oskui, and Kenneth E Noll.”** Size Distribution and dry depositions of particulate mass, sulfate and nitrate in an Urban area “, publication in the Journal of Atmospheric Environment, 37 (June 2003) P.2507-2516
3. Kim Oanh, N, Uphadayay, Y-P Zuang, Z.P- Hao, **Puji Lestari ,”** Particulate Air Pollution in Six Asian Cities: Spatial and Temporal Distribution and Associated Sources” Journal of Atmospheric

- Environment, 40 (June 2006) p. 3367-3380
4. **Puji Lestari** & Yandinur Dwi Mauliadi. "Source Apportionment of Fine and Coarse Particulate Matter at Urban Mixed Site in Indonesia Using PMF" *Journal of Atmospheric Environment*, 43 (2009), pp. 1760-1770
 5. Jeffrey S. Reid, Edward J. Hyer, Randall Johnson, Brent N. Holben, Robert J. Yokelson, Jianguang Zhang,, **Puji Lestari**, Neng-Huei Lin, Mastura Mahmud, Anh X. Nguyen, Bethany Norris, Nguyen T.K. Oahn, Min Oo, Santo Salinas, E. Judd Welton, Soo Chin Liew: *Observing and understanding the Southeast Asian aerosol system by remote sensing: An initial review and analysis for the Seven Southeast Asian Studies (7SEAS) program*. *Journal of Atmospheric Research*, doi: 10.1016/j.atmosres.2012.06.005. Elsevier, June 2012
 6. Sattar, M Rashid, R Mat and **Puji Lestari** : *A Preliminary Survey of Air Quality in Makassar City, South Sulawesi*. *Journal of Jurnal Teknologi*, No. 57 (Sciences and Engineering.) vol (1), Mac 2012: 123–13, Penerbit UTM Press, Universiti Teknologi Malaysia (2012)
 7. Haryono S Huboyo, Susumu Tohno, **Puji Lestari**, Akira Misohata, Motonori Okumura and Prianti Utami "Comparison between Jatropha curcas seed stove and woodstove: Performance and effect on Indoor Air quality" *Journal of Energy for Sustainable Development*, 17 (2013) P. 337-346. Elsevier, USA
 8. Raghu Betha a, Maharani Pradani b, **Puji Lestari** b, Umid Man Joshi c, Jeffrey S. Reid d, Rajasekhar Balasubramanian. "Chemical speciation of trace metals emitted from Indonesia peatfire for health risk assessment. *Journal of Atmospheric Research*, 122 (March 2013), Page 571-578, Elsevier
 9. Mohd Rashid 1, Sattar Yunus 1, Ramli Mat 2, Sabariah Baharun 1, **Puji Lestari**, "PM10 black carbon and ionic species concentration of urban atmosphere in Makassar of South Sulawesi Province, Indonesia" *Atmospheric Pollution Research* 5 (2014) 610-615
 10. Haryono S Huboyo, Susumu Tohno, **Puji Lestari**, Akira Misohata, Motonori Okumura "Characteristics of Indoor air pollution in rural mountainous and rural coastal communities in Indonesia" *Journal of Atmospheric Environment*, 82 (2014) P. 343-350. Elsevier, USA
 11. Yusuke Fujii, Windy Iriana, Masafumi Oda, Astiti Puriwigati, Susumu Tohno, **Puji Lestari**, Akira Misohata and Haryono Huboyo "Characteristic of carbonaceous aerosols emitted from Peatland fire in Riau, Sumatra, Indonesia" *Atmospheric Environment*, 87 (2014), P164-169. Elsevier
 12. Yusuke Fujii, Windy Iriana, Masafumi Oda, Astiti Puriwigati, Susumu Tohno, **Puji Lestari**, Akira Misohata and Haryono Huboyo "Characteristic of carbonaceous aerosols emitted from Peatland fire in Riau, Sumatra, Indonesia (2): Identification of organic compounds" *Atmospheric Environment*, 110 (2015), P1-7. Elsevier
 13. G. Snider¹, C. L. Weagle², R. V. Martin³, A. van Donkelaar¹, K. Conrad¹, D. Cunningham¹, C. Gordon¹, M. Zwicker¹, C. Akoshile⁴, P. Artaxo⁵, N. X. Anh⁶, J. Brook⁷, J. Dong⁸, R. M. Garland⁹, R. Greenwald¹⁰, D. Griffith¹¹, K. He⁸, B. N. Holben¹², R. Kahn, I. Koren¹³, N. Lagrosas¹⁴, **P. Lestari**, Z. Ma¹⁰, J. Vanderlei Martins¹⁶, E. J. Quélé¹⁷, Y. Rudich¹³, A. Salam¹⁸, S. N. Tripathi, C. Yu¹⁰, Q. Zhang⁸, Y. Zhang⁸, M. Brauer, A. Cohen²¹, M. D. Gibson²², and Y. Liu¹⁰ "SPARTAN: a global network to evaluate

and enhance satellite-based estimates of ground-level particulate matter for global health applications” *Journal of Atmospheric Measurement Techniques*. Vol 8 vol 8, tahun 2015, P 505-521

14. Graydon Snider, Crystal L. Weagle, Kalaivani K. Murdymootoo, Amanda Ring, Yvonne Ritchie, Emily Stone, Ainsley Walsh, Clement Akoshile, Nguyen Xuan Anh, Rajasekhar Balasubramanian, Jeff Brook, Fatimah D. Qonitan, Jinlu Dong, Derek Griffith, Kebin He, Brent N. Holben, Ralph Kahn, Nofel Lagrosas, **Puji Lestari**, Zongwei Ma, Amit Misra, Leslie K. Norford, Eduardo J. Quel, Abdus Salam, Bret Schichtel, Lior Segev, Sachchida Tripathi, Chien Wang, Chao Yu, Qiang Zhang, Yuxuan Zhang, Michael Brauer, Aaron Cohen, Mark D. Gibson, Yang Liu, J. Vanderlei Martins, Yinon Rudich, and Randall V. Martin “*Variation in Global Chemical Composition of PM_{2.5}: Emerging Results from SPARTAN*” *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 9629-9653, doi:10.5194/acp-16-9629-2016, 2016.

b. Dalam Jurnal Nasional

1. **Puji Lestari** et.al, “ The effect of using bio-ethanol fuel to vehicles emission on gasoline vehicles during urban and extra urban cycles” *Journal of Purifikasi (Indonesia)*, volume 7 No.2, December 2007.
2. **Puji Lestari**. “ Factors Affecting Blood Lead Level for School Children in Bandung” *Journal of Purifikasi (Indonesia)* vol 6.No2, December 2006
3. Sardi & **Puji Lestari**: Penyisihan NOX Dengan Proses Fotokatalitik Menggunakan Katalis Campuran TiO₂ – Karbon Aktif dan Fe₂O₃ Dalam Reaktor Multiplate. *Jurnal Teknik*

Lingkungan-ITB, vol 12, no 2, 2006, ISSN 0854 – 1957

4. Endang Kurniawan dan **Puji Lestari** Inventori emisi polutan CO, NO_x, HC dan SPM di Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknik Lingkungan-ITB (Environmental Engineering Journal)*, Vol. 11, No. 2, November 2005, p. 11-16, Bandung, ISSN 0854 – 1957.

c. Dalam International Book’s Chapter

1. **Puji Lestari**, (2012), “*Integrated Air Quality Management to Reduce Traffic emission in Bandung city*”, a Book Chapter in a book of “*Integrated Air Quality Management: Asian Case Studies*”, CRC Press, Taylor and Francais Group, USA, Chapter IV.15, ISBN: 978-1-4398-6225-4, Published in 2012
2. Nguyen Thi Kim Oanh, Prapat Pongkiatkul, Melliza Templonuevo Cruz, Zhuang Guoshun, Ligy Phillip, Nghiem Trung Dung and **Puji Lestari**, (2012), “*Monitoring and Source Apportionment of Particulate Matter in Six Asian Cities*”, a Book Chapter from *Integrated Air Quality Management: Asian Case studies*, CRS Press, Taylor and Francais Group, USA, Chapter I.3 ISBN: 978-1-4398-6225-4, Published in 2012
3. **Puji Lestari**, Yulia Hendra, Yandinur D Mauliadi, M Irsyad (2012), “*Monitoring Particulate Matter Levels and Composition for Source Apportionment study in Indonesia*”, a Book Chapter in a book of “*Improving Air Quality in Asian Developing Countries*”, Vietnam Publishing House of Natural Resources, Environment and Cartography (NARECA) Duong Dong, Vietnam, Chapter 12, ISBN: 978-604-904-4106-6, Published in 2014
4. **Puji Lestari** and Didin Agustian Permadi (2014), “ Air Quality

Management in Bandung City”, a Book Chapter in a book of “Improving Air Quality in Asian Developing Countries”, Vietnam Publishing House of Natural Resources, Environment and Cartography (NARECA) Duong Dong, Vietnam, Chapter 5, ISBN: 978-604-904-4106-6, Published in 2014

5. **Puji Lestari.** “Air Pollution Control Technology for Gaseous and Particulate Emissions” Student Manual for CAI Asia Training in Bangkok, 2009.

d. Dalam Prosiding dan Seminar International (10tahun Terakhir)

1. **Puji Lestari** and Yulia Hendra, (2006), “Atmospheric Polycyclic Hydrocarbon (PAHs) in The Gas and Particulate Phases at Bandung Urban Area, Indonesia”, Environmental Technology and Management Conference, September 6-7, 2006, ISBN 979-8456-21-1
2. **Puji Lestari**, Endang Kurniawan¹ and Kania Dewi¹, (2006), “Emission Inventory of Pollutant Co, NOX, HC and SPM From Transportation in Bandung Basin”, Environmental Technology and Management Conference, September 6-7, 2006. ISBN 979-8456-21-1.
3. **Puji Lestari** and Haryono Huboyo, “ Source Apportionment of Fine and Coarse Particles in Bandung during Dry Season Using Chemical Mass Balance” Better Air Quality (BAQ) conference,” Yogyakarta December 13-15, 2006
4. **Puji Lestari**, “ Study of Fine and Coarse Particles in an Urban Area Bandung, West Java-Indonesia” International Aerosol Conference (IAC) Taiwan, June 2006
5. **Puji Lestari & Alin Pradiniya**, (2007), “Measurement of Downward and

Upward Fluxes of PM in an Urban Area Bandung”, AWMA Association Annual Conference, Pittsburgh, USA, June 26-29, 2007

6. **Puji Lestari**, (2008), “The Measurement of Black Carbon and Sulfate Concentrations in the Aerosol Fine Particles in the Urban Area in Indonesia” International Aerosol Symposium 2008, Univ of Kanazawa (Japan), August 20-22, 2008 (Invited Speaker).
7. **Puji Lestari** and Adolf Leopold, “Emission Inventory of GHGs (CO₂ and CH₄) from transportation sector in Bandung city Using VKT and Fuel Consumption Approaches. Di presentasikan pada seminar internasional Better Air Quality (BAQ), Bangkok, Nov 12-14, 2008
8. **Puji Lestari**, “Vehicle’s Emission Testing in Bandung: Progress on Indonesian AIRPET Project “ Di presentasikan pada seminar internasional gTKP –Pre-event BAQ 2008 Bangkok, November 10, 2008
9. **Puji Lestari**, (2009), “ Air Quality Research in Indonesia: Opportunity and Challenge” 7SEAS workshop, Singapore May 7-8, 2009
10. **Puji Lestari**, (2009), “Compositions and Sources of Aerosol Fine and Coarse Particle during dry and wet seasons in Urban Area Bandung, West Java - Indonesia”, Second, International Conferences of Science and Global Change Hang Zou, China, August 17-20, 2009.
11. **Puji Lestari** and Yandinur D Mauliadi, (2009), “Application of PMF Model for Source Apportionment of Aerosol Fine & Coarse During Wet & Dry Season in Rural Area Bandung -Indonesia”, Presented at SIBE, Bandung Nov 2-3, 2009 (ISBN 978-979-98278-2-1) Hal. 133-138
12. **Puji Lestari**, (2010), “Emission Inventory of GHGs (CO₂ and CH₄)

- From Transportation Sector in Jakarta City Using VKT and Fuel Consumption Approaches*", International Conference on Global Atmospheric Watch (GAW), Jakarta, 6-7 October 2010 (invited speaker)
13. **Puji Lestari**, " *Measurement of Fine Coarse Particle in Bandung* ", Di Presentasikan pada "Fourth Planning Woorkshop on 7 SEAS (Seven South East Asian Studies), Chung Li, Taiwan June 14-19, 2010
 14. Haryono Huboyo, **Puji Lestari**, Akira Mizohata and Susumu Tohno, " *Method for determining size segregated carbonaceous indoor aerosol of PM2.5 related to Jatropa Curcas Seed Stove and Traditional Wood stove emission through water boiling test*" presented at the international conference The 186th Symposium on Sustainable Humanosphere, Kyoto 8-10, 2011. ISSN: 1884-8850
 15. Windy Iriana, Haryono Huboyo and **Puji Lestari**, (2011), " *Measureent of PM2.5 and Carbon Monoxide Concentrations Emitted from Cooking Activities Using Wood Fuel in Desa Suntenjaya, Lembang Suring Rainy Season*", Presented at the Conference of ETMC, Bandung, Nov 3-5, 2011. ISBN 979-8456-21-1
 16. **Puji Lestari** and Sara Catelya, (2011), " *Emission Inventory of Air Pollutants From Transportation Sector in Jakarta*", Presented at the Conference of ETMC, Bandung, Nov 3-5, 2011. ISBN 979-8456-21-1
 17. Haryono Huboyo, **Puji Lestari**, and Susumu Tohno, " *Comparison of Traditional and Alternative fuels for cooking in Indonesian rural households in terms of energy use and indoor airpollution* " Energy science in the age of Global Warming-toward CO2 zero emission" Suwon, Korea 18-19 August 2011.

18. Haryono S Huboyo¹, **Puji Lestari** and Susumu Tohno¹, (2012), " *The Basic Performance of Jatropa Curcas Seed Stove and its Indoor Air Pollution Over Traditional Wood Stove*", Presented at EAC Conference, Mancester, September 4-9 2011
19. Haryono S Huboyo^{1*}, Susumu Tohno¹, and **Puji Lestari**, (2012), : " *Biomass fuel use in Indonesian Rural Households: The Indoor Aerosol of Ultrafine (and its BC), Fine, Coarse Particles Related to Cooking Emission and a Rough Estimate of its Biomass Fuel Consumption at Nationwide*", Presented at the Conference on Energy Science in the Age of Global Warming – Toward CO2 Zero-Emission –" 22 – 23 May 2012, Bangkok, Thailand
20. **Puji Lestari**, " *Particulate Matter Measurement and Research at ITB Bandung*" 7SEAS (7 South East Asian Study) workshop, Citeko, Septmber 2-4, 2014
21. **Puji Lestari**, Febri Juwita, Jeff Reid, and Bala Subramanian " *Chemical Speciation of PM10 emission from Peat Burning in Central Kalimantan Indonesia*" Atmospheric Composition and Asian Moonsoon Seminar, Bangkok June 6-13, 2015
22. **Puji Lestari**, Windy Iriana, Yusuke Fujii, Susumu Tohno, " *PM2,5 Carbonaceous Species and BC emitted from Peat Land Burning in Riau Sumatera*", International Conference on Biomass Burning, Bogor 4-7 August 2015.
23. **Puji Lestari**, Dinan Conitan, Asri Indrawati and Haryo tomo, 2015, " *Monitoring of PM2,5 in Bandung Area*" Global Atmospheric Watch (GAW) International Conference, Jakarta 19-20 Agust 2015
24. Wiwiek Setiawati, Enri Damanhuri, Kania Dewi and **Puji Lestari**.

“ Correlation equation to predict HHV of Tropical peat based on its ultimate analysis” *Procedia Engineering*, 125, pp298-303, doi 10.1016/j.proeng.2015.11.048.

25. Hafidawati, Asep Sofyan and **Puji Lestari**, “*Contribution of Black Carbon (BC) in PM2.5 from Rice straw burning in District West Java*”, conference proceeding at 4th Asian Academic Society International Conference (AASIC), Thailand 12-13 May 2016.
26. **Puji Lestari**, “*Peat Fire: Field Measurement and Lab Scale Observation*” International workshop on Forecasting Emissions from Vegetation Fires and their Impacts on Human Health and Security in South East Asia, Jakarta 29 August-1 Sept 2016.

e. Dalam Prosiding dan Seminar Nasional

1. **Puji Lestari**, (2008), "Application of Nuclear Technique in Environmental Monitoring", Seminar Nasional "The role of NAA Nuclear Technique in Industries, Health and Environment" Batan, Keynote Speaker 22 Oktober, 2008. ISSN 2085-2797
2. **Puji Lestari**, (2008), "*Faktor Emisi dan Metodologi Perkiraan GRK dari sektor Transportasi, Industri, Komersial dan Rumah Tangga. Workshop pembuatan Document untuk" GHG national Emission factor*", Bogor, 13 Maret 2008. Diselenggarakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup
3. **Puji Lestari**, (2008), "*Pengendalian Pencemaran Udara dan Sinerginya Dengan Mitigasi Perubahan Iklim Pada Industri Manufaktur*", Di presentasikan dalam Seminar Nasional tentang "Clean Mechanism Development (CDM) untuk Industri Manufaktur, Invited Speaker, Jakarta 30 Juni 2008.
4. **Puji Lestari**, Nicholas Simanjuntak, Iman Reksowardojo,

Marshal, Prawoto, (2008), "*Pengembangan Faktor Emisi Kendaraan Bermotor yang Menggunakan Bahan Bakar Bioetanol*" Dipresentasikan dalam Seminar Hasil-hasil Penelitian FTSL ITB, Bandung 9 Januari 2008

5. **Puji Lestari**, (2008), "*Karakteristik Pencemaran Udara di Kota Bandung*", Seminar Nasional tentang "Diseminasi penelitian polusi udara dan ozon" LAPAN, Invited Speaker, Bandung, 22 Oktober 2008
6. Wiwiek Setiawati, Enri Damanhuri, Kania Dewi and **Puji Lestari**. "Development of Emission Factor from Peat-land Fire to support GHG emission inventory in Indonesia". Conference Proceeding, National Sains Atmosphere Seminar, 24 June 2014, pp499-507.

IX. PENGHARGAAN

- Tanda Jasa Penghargaan Pengabdian 20 Tahun
- AWMA Pembina, student chapter terbaik 2004

X. SERTIFIKASI

- Sertifikasi Dosen, 2010. Kementerian Pendidikan Nasional.

