

**PENGUKURAN KONSENTRASI PM_{10} PADA UDARA DALAM RUANG
(STUDI KASUS: DAPUR RUMAH TANGGA
BERBAHAN BAKAR KAYU DAN MINYAK TANAH)**

**PM_{10} CONCENTRATION MEASUREMENTS WITHIN INDOOR AIR
(CASE STUDY: HOUSEHOLD KITCHENS
USING SOLID FUEL AND KEROSENE)**

Haryono S. Huboyo¹⁾ dan M. Arief Budihardjo²⁾

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Diponegoro

Jalan Soedarto, Kampus Tembalang Semarang

Email: ¹⁾huboyo@gmail.com; ²⁾pak_ariief@yahoo.com

dikirim 27 Januari 2009, perbaikan sejak 1 Maret 2009, diterima 1 Juni 2010

Abstrak: Pencemaran udara dalam ruang akibat penggunaan bahan bakar untuk kegiatan memasak pada rumah tangga menjadi penyebab permasalahan kesehatan di sejumlah negara berkembang di dunia. Penelitian ini mengukur konsentrasi PM_{10} yang timbul pada saat memasak dan tidak memasak. Selanjutnya hasil konsentrasi ini akan dikorelasikan dengan ventilasi dan volume dapur. Pengambilan sampel dilakukan di sepuluh titik, lima titik pada dapur kayu bakar dan lima titik pada dapur minyak tanah. Metode gravimetri digunakan dimana alat yang digunakan untuk mengukur PM_{10} adalah Dust sampler model DS 600-03. Rata-rata konsentrasi PM_{10} pada saat memasak dengan kayu bakar adalah $1379,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan pada penggunaan minyak tanah hanya $188,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan pada waktu tidak memasak nilai PM_{10} mencapai $217,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kayu bakar) dan $65,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (minyak tanah). Pada waktu memasak, nilai ini jauh melebihi (terutama untuk kayu bakar) standar PM_{10} dalam ruang yang ditetapkan US EPA yaitu $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Namun nilai PM_{10} ini setara dengan berbagai penelitian di negara berkembang di luar negeri. Dari penelitian ini, berdasar perhitungan statistik dapat disimpulkan bahwa penggunaan jenis bahan bakar sangat berpengaruh terhadap besaran konsentrasi PM_{10} yang dihasilkan. Sebaliknya, ventilasi (termasuk pintu dan jendela) di dapur dalam penelitian ini tidak terlalu signifikan pengaruhnya. Meski demikian, perlu diteliti lebih jauh tentang pengaruh sebenarnya dari ventilasi terhadap pencemaran udara dalam ruang.

Kata kunci: pencemaran udara dalam ruang, PM_{10} , bahan bakar, dan memasak.

Abstract: Indoor air pollution arising from fuels burning in households cooking of the developing countries is expected to be one of the main health burden in developing countries worldwide. This study is aimed at measuring PM_{10} concentration in the kitchen households during on-cooking and off-cooking. Furthermore its concentration would be correlated to ventilation and kitchen volume. Sampling was taken in ten locations, five samples located in kitchen using woods and other in kitchen using kerosene. Gravimetric analysis was used, and for collection airborne particle the dust sampler DS 600-03 was used to measure PM_{10} concentration. On average, PM_{10} concentration in wood cooking was $1379,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, while in kerosene cooking was $188,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. While during off-cooking, this PM_{10} concentration reached $217,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (wood fuel) and $65,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kerosene). During cooking, these results extremely exceeded EPA standard for PM_{10} indoor, i.e $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nevertheless, mirror to previous studies conducted in other developing countries, these values are somewhat comparable. From this study based on statistical analysis we can concluded that the type of fuels used have great influence to the magnitude of indoor PM_{10} concentration. On contrary, the ventilation (including doors and windows) do not give much significant influence. Nevertheless, the ventilation factor should be studied deeply in order to know the truth impact to indoor air pollution.

Keywords: indoor air pollution, PM_{10} , fuels, and cooking.

PENDAHULUAN

Sebagian besar orang menghabiskan 80-90% dari hidup mereka di dalam ruangan. Tingginya tingkat polutan udara dalam ruangan meningkatkan paparan secara perorangan sehingga berpengaruh pada kesehatan, yang kemungkinan mempunyai pengaruh yang lebih banyak daripada paparan udara ambien. Berdasar data penelitian sebelumnya nilai mortalitas global akibat polusi udara dalam ruang mencapai 1.5 juta – 2 juta kematian/tahun atau sekitar 4-5% total kematian seluruh dunia (Ezzati and Kammen, 2002).

Polutan udara dalam ruangan umumnya diemisikan dari berbagai sumber yang ada dalam ruangan seperti, kompor, pemanas, rokok, material gedung, obat pembasmi serangga, serta produk-produk rumah tangga lainnya. Polutan ini juga dapat berasal dari luar ruangan seperti gas yang berasal dari tanah, polutan udara luar yang masuk melalui intake udara bersih yang tidak didesain secara tidak tepat (sistem ventilasi). Partikulat merupakan bahan pencemar/polutan udara yang digolongkan ke dalam kelompok pencemar primer (primary pollutant) yaitu bahan pencemar yang diemisikan langsung ke udara dari sumber cemaran dan memiliki rentang ukuran yang lebar. Debu yang berukuran 0,1 – 10 μm berbahaya bagi kesehatan apabila terhirup oleh manusia dan akan mengganggu aktivitas manusia. Debu yang terhirup oleh manusia akan masuk ke dalam paru-paru dan karena bentuknya yang berupa padatan, dapat mengiritasi paru-paru. Debu yang terdispersi dalam udara akan membentuk aerosol. Aerosol baik yang primer maupun yang sekunder inilah yang menjadi pusat perhatian karena dampak yang ditimbulkannya. Umumnya pencemar udara diluar ruang didominasi oleh isu emisi, sedangkan pencemaran di dalam ruang didominasi oleh pajanan/*exposures* (Desai *et al.*, 2004).

US Environmental Protection Agency menyebutkan bahwa standar kualitas udara ruang rata-rata untuk konsentrasi PM_{10} harian haruslah berada di bawah $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan rata-rata tahunan di bawah $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kilabuko *et al.*, 2007).

Akses menuju sumber energi modern telah digambarkan sebagai sebuah kebutuhan untuk perkembangan ekonomi dan sosial, walaupun belum sepenuhnya mencukupi (Bruce *et al.*, 2006). Hal ini dikarenakan hampir separuh populasi dunia masih menggunakan kebutuhan energi tiap harinya dengan bahan bakar padat (*solid fuels*) yang kurang efisien dan berpolusi tinggi, yaitu biomassa (kayu, kotoran hewan, dan sisa panen) dan batu bara. Sebagian besar rumah tangga yang menggunakan bahan bakar padat ini membakarnya di udara terbuka atau kompor sederhana yang melepaskan banyak asap ke dalam rumah. Hasil dari pencemaran udara dalam ruang ini menjadi ancaman bagi kesehatan, terutama bagi wanita dan anak yang masih kecil yang banyak menghabiskan waktunya dekat dengan sumber api.

Smith (2002) telah mengumpulkan data dari beberapa polutan utama pada berbagai studi penggunaan bahan bakar pada rumah tangga di beberapa negara berkembang di dunia. Baku mutu dari US EPA diatas relatif sangat rendah bila dibandingkan dengan konsentrasi rata-rata PM_{10} pada rumah yang menggunakan bahan bakar biomassa untuk pengukuran selama 24 jam yang berada pada kisaran antara 200 – 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bahkan lebih setiap tahunnya, bergantung pada tipe bahan bakar, kompor, dan rumah. Secara keseluruhan, diperkirakan 80% dari total populasi global terpapar partikulat udara dalam ruang terutama pada negara berkembang (Kilabuko, *et al.*, 2007). Rata-rata tahunan sebenarnya tidak dapat diukur, tetapi karena tingkat ini terukur hampir tiap hari selama satu tahun, maka konsentrasi 24 jam dapat diambil dari estimasi tersebut. Selama memasak, ketika wanita dan anak-anak yang masih kecil menghabiskan waktunya di dapur dan di dekat perapian, sebagian besar tingkat PM_{10} yang terukur cukup tinggi yaitu mencapai $30.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau lebih (Bruce *et al.*, 2006). Isu ini sangat berhubungan dengan kemiskinan, karena biomassa dianggap tidak mahal dan mudah didapat. Kasus India, secara nasional pada tahun 1991 jumlah rumah yang

menggunakan bahan bakar biomassa mencapai 78% dan hanya 3% yang menggunakan batubara (Saiyed *et al.*, 2001).

Faktor lain yang berhubungan dengan kualitas udara dalam ruang yaitu suhu dan kelembaban sudah dikenal sebagai faktor yang diindikasikan berpengaruh terhadap *fate* aerosol di dalam ruang. Sejauh ini, pengaruh langsung temperatur dan kelembaban pada kualitas udara dalam ruangan belum ditemukan, beberapa penelitian menunjukkan hubungan temperatur serta kelembaban dengan kenyamanan (*comfort*) orang di dalam ruang (Fanger, 2000). Suhu normal ruangan berkisar antara 18 – 28°C, sedangkan kelembaban relatif udara dalam ruang normal berkisar antara 30% - 70% R.H, tetapi idealnya berkisar antara 45% - 60% R.H. (Fang *et al.*, 2004). Sangat dianjurkan untuk menjaga kelembaban ruangan di bawah 70%, karena jika melebihi akan mempercepat pertumbuhan jamur dan debu tungau, serta dapat menyebabkan penyakit pernapasan seperti asma. Dan jika kelembaban berada di bawah 30% juga dapat mengganggu kesehatan, pada beberapa orang dapat mengakibatkan sakit tenggorokan dan kulit kering (GreenFacts, 2005). Pada dapur, terutama pada saat terjadi proses memasak, temperatur rata-rata bisa mencapai lebih dari 30°C (Kosonen, 2004). Menurut American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), suhu udara dalam ruang yang aman adalah 26 °C dengan kelembaban relatif 30 – 70% (Tantasavasdi *et al.*, 2001).

Dengan mempertimbangkan pentingnya kualitas udara dalam ruang yang bersih dan tidak tercemar, maka dilakukan penelitian untuk melihat besarnya konsentrasi PM_{10} yang terdapat dalam dapur rumah tangga karena kegiatan memasak yang menggunakan kayu bakar dan minyak tanah. Penelitian ini juga ditujukan untuk mengetahui pengaruh volume dan luas ventilasi ruangan terhadap konsentrasi PM_{10} dalam dapur.

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu penelitian adalah 27 Juni 2008 sampai 4 Juli 2008 dengan lokasi penelitian ini berada di 10 dapur rumah tangga kawasan perumahan Bukit Kencana, Tembalang Semarang. Ada 5 titik sampling pada dapur yang menggunakan bahan bakar minyak tanah dan 5 titik sampling pada dapur yang menggunakan bahan bakar kayu. Pada tiap-tiap dapur dilakukan sampling selama 1 jam pada saat aktivitas memasak dan 1 jam pada saat tidak terjadi aktivitas memasak. Alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi PM_{10} adalah Dust Sampler DS 600-03. Setting alat sesuai dengan petunjuk di manual DS Sampler adalah pada flowrate 10 (setara dengan 296 L/menit). Untuk mengkoleksi debu PM_{10} digunakan Kertas saring khusus debu dengan pori tertentu/*glass microfiber filter* produk Whatman EPM 2000. Alat Dust Sampler diletakkan pada tingkat pernapasan (*breathing level*), yaitu pada posisi sekitar tinggi orang dewasa (wanita) yang biasanya memasak. Pada penelitian ini alat diletakkan setinggi 1,2 m dan alat diletakkan sekitar 1 m dari sumber api, sesuai dengan kemungkinan ibu rumah tangga memasak tanpa mengganggu pergerakan normal orang memasak. Setiap pengukuran disertai dengan filter blanko sebagai kontrol. Filter dan blanko kemudian distabilkan kurang lebih 24 jam di desikator untuk ditimbang dengan timbangan digital - 5 digit (Mettler Toledo AG 245) di Laboratorium Teknik Analisis Radiometri BATAN Bandung. Suhu dan kelembaban ruangan diukur dengan menggunakan Hygrometer (Hanna HI-9565). Untuk tekanan barometrik yang ada di lapangan digunakan data konversi ketinggian terhadap perubahan tekanan barometrik. Interview juga dilakukan dengan penghuni rumah dengan tujuan untuk mengetahui kaitan debu atau asap yang muncul selama aktivitas memasak di dalam rumah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu dan Kelembaban di Tempat Sampling

Pada penelitian ini, pengukuran suhu dan kelembaban dilakukan masing-masing pada pengambilan sampel saat memasak dan tidak memasak. Data suhu dan kelembaban hasil sampling pada saat memasak dan tidak dapat dilihat pada tabel 1 di bawah. Dari data di atas, terlihat bahwa suhu dan kelembaban pada dapur yang menggunakan bahan bakar kayu dan minyak tanah tidak berbeda jauh, baik pada saat memasak maupun tidak. Pada dapur kayu bakar, suhu dapur berkisar antara 26,4 – 34,8 °C dengan kelembaban 37,1 – 74,9% R.H.

Suhu dan kelembaban pada dapur minyak tanah tidak berbeda jauh dengan suhu dan kelembaban pada dapur kayu bakar, yaitu berkisar antara 28,1 – 32,75 °C dengan kelembaban 41,75 – 62,2% R.H. Dari suhu dan kelembaban yang terukur, terlihat bahwa suhu dan kelembaban pada dapur kayu bakar lebih bervariasi daripada dapur minyak tanah, hal ini dapat disebabkan panas dari pembakaran kayu tidak stabil sehingga mempengaruhi suhu dan kelembaban ruangan di sekitarnya. Sedangkan pada pembakaran dengan minyak tanah lebih stabil sehingga suhu dan kelembaban disekitarnya tidak terlalu berbeda jauh.

Tabel 1. Suhu dan kelembaban di dapur selama sampling.

	Rumah	Suhu (°C)	Kelembaban (%R.H.)
Kayu Bakar			
Memasak	1	28,8	74,9
	2	31,9	62
	3	26,4	74,5
	4	34,2	44,95
	5	28,1	70,05
Tidak Memasak	1	30,1	67,4
	2	32,8	37,1
	3	26,7	67,5
	4	34,8	44,4
	5	33	51
Minyak Tanah			
Memasak	6	28,1	61,2
	7	31,3	61,1
	8	30,55	51,55
	9	28,9	54,3
	10	32,75	41,75
Tidak Memasak	6	29,4	54,6
	7	30,3	56,4
	8	28,6	62,2
	9	29,3	54,5
	10	32,4	42,8

Jika dibandingkan dengan suhu normal ruangan 18 – 28 °C, beberapa dapur suhunya melebihi batas suhu normal ruangan, yaitu berada di atas 30°C. Akan tetapi suhu ini menurut Kosonen (2004) masih sesuai temperatur normal ruangan saat terjadi aktivitas memasak.

Kelembaban dapur yang terukur baik pada dapur kayu bakar juga lebih bervariasi daripada kelembaban pada dapur minyak tanah. Jika dibandingkan dengan kelembaban normal ruangan 30 – 70% R.H. (GreenFacts, 2005), maka kelembaban pada dapur kayu bakar, yaitu rumah 1, 3, dan 5 (saat memasak) melebihi batas kelembaban normal. Hal ini

kurang baik karena dapat mengganggu pernapasan dan mempercepat tumbuhnya jamur dan bakteri dalam dapur. Sedangkan pada dapur minyak tanah kelembabannya lebih stabil dan masih berada pada batas kelembaban normal dalam ruangan. Berdasar studi penelitian sebelumnya untuk daerah beriklim tropis, kondisi yang aman adalah berada pada suhu 27 – 36,3 °C dengan kelembaban 30 – 80%. Karena Indonesia beriklim tropis, maka suhu dan kelembaban yang terukur pada saat sampling masih dalam rentang yang dapat ditolerir oleh manusia. Ventilasi ruangan juga berpengaruh terhadap temperatur di dalam ruangan. Jika udara tidak tercampur sempurna akibat sistem ventilasi yang kurang baik, maka udara di dekat dinding akan lebih hangat daripada di permukaan lantai. Beberapa dapur yang suhu dan kelembabannya melebihi batas normal tersebut dapat juga diakibatkan kurang baiknya sistem ventilasi yang ada, sehingga pertukaran udara dari dan ke luar ruangan terhambat.

Analisis Konsentrasi PM₁₀ Berdasarkan Jenis Bahan Bakar

Secara umum berdasarkan jenis bahan bakar, dapat dilihat bahwa konsentrasi PM₁₀ pada dapur yang menggunakan bahan bakar kayu jauh lebih tinggi daripada dapur minyak tanah baik pada kondisi memasak maupun tidak memasak sekalipun. Hal ini disebabkan pembakaran dengan menggunakan minyak tanah akan menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi sehingga PM₁₀ yang dihasilkan lebih sedikit.

Tabel 2. Perbandingan konsentrasi PM₁₀ hasil pembakaran kayu bakar pada waktu memasak dan tidak memasak.

Rumah	Konsentrasi PM ₁₀ (µg/m ³) Kayu Bakar	
	Tidak Memasak	Memasak
1	239,524	486,156
2	155,051	3990,013
3	213,192	487,640
4	51,660	531,485
5	430,090	1402,521
Rata-rata	217,903	1379,563

Tabel 3. Perbandingan konsentrasi PM₁₀ hasil pembakaran minyak tanah pada waktu memasak dan tidak memasak.

Rumah	Konsentrasi PM ₁₀ (µg/m ³) Minyak Tanah	
	Tidak Memasak	Memasak
6	26,927	429,825
7	41,105	92,166
8	83,668	155,563
9	66,423	126,756
10	107,082	137,874
Rata-rata	65,041	188,437

Pada saat tidak memasak, konsentrasi PM₁₀ dari dapur yang berbahan bakar kayu lebih tinggi dibanding dapur yang berbahan bakar minyak tanah. Hal ini disebabkan sisa

emisi di dapur berbahan kayu bakar masih terukur ketika aktivitas memasak sudah selesai. Keberadaan sisa kayu/arang yang tetap mengemisikan asap menjadi penyebab tingginya PM_{10} selama aktivitas tidak memasak di dapur berbahan bakar kayu bakar.

Jika dibandingkan dengan baku mutu U.S. E.P.A. untuk konsentrasi PM_{10} dalam ruang $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, maka konsentrasi yang terukur pada dapur kayu bakar jauh melebihi baku mutu, karena berada pada kisaran $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan pada dapur minyak tanah rata-rata berada di bawah baku mutu, kecuali pada rumah ke-6. Namun demikian mengingat pada penelitian ini, sampel diambil tidak selama 24 jam, maka konsentrasi terukur yang cukup tinggi. Seiring berjalannya waktu, bila tidak ada aktivitas memasak, konsentrasi PM_{10} ini akan terus menurun karena pengenceran (dilution) tergantung dari tinggi rendahnya nilai *air exchange ratio* (AER). Dalam hal ini, ventilasi dan ukuran ruangan (dapur) berpengaruh terhadap proses pengenceran/penurunan nilai konsentrasi PM_{10} .

Faktor lain yang perlu diperhitungkan adalah kontribusi konsentrasi polutan dari luar ruang (*outdoor particulate*). Terutama pada rumah yang dekat dengan jalan atau rumah yang saling berdekatan dimana emisi dari suatu rumah akan menginfiltrasi rumah disebelahnya. Namun hal ini tidak dicakup dalam penelitian ini. Faktor minor lain yang berpengaruh terhadap konsentrasi partikel udara dalam ruang adalah aktivitas penghuni dan karakteristik bangunan (Herring, 2006), namun hal ini juga diluar fokus penelitian ini.

Pada tabel 4 berikut disajikan perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian di berbagai negara berkembang lain. Ternyata hasil penelitian menunjukkan kisaran yang sepadan dengan penelitian di Bolivia, Mozambique, Zimbabwe, Kenya dan Nepal namun lebih rendah dibanding di India yang pengukurannya selama 15 menit.

Tabel 4. Pengukuran konsentrasi PM_{10} dari pembakaran kayu bakar di beberapa negara berkembang.

No.	Wilayah	Waktu Pengukuran	Konsentrasi PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	India	15 menit	15800 – 18300
2.	Bolivia	1 jam	1830 (Dalam ruang) 430 (Luar ruang)
3.	Mozambique	Selama memasak	1200
4.	Zimbabwe	Selama memasak	1998
5.	Kenya	Selama memasak	300 – 1500
6.	Nepal	Selama memasak	1000 – 3000
7.	Maputo, Mozambique Dan Lusaka, Zambia	24 jam	531 – 1034
8.	Suh Saharan, Afrika	24 jam	4300
9.	Tami-Nadu, India	2 jam 24 jam	1500 – 2000 1300 – 1500
10.	Penelitian ini	Selama memasak (1 jam)	486 - 3990

Sumber: No.1-9 Kilabuko, et al.,2007; Bruce, et al.,2006).

Volume dan Luas Bukaannya (Ventilasi)

Pada 10 lokasi sampling (dapur) ini, tiap lokasi mempunyai karakteristik ruang yang berbeda-beda, baik peletakan ventilasinya maupun ukuran ruangnya. Walaupun demikian, semua lokasi menggunakan tipe ventilasi alami (natural ventilation). Kinerja ventilasi alami ini dipengaruhi dua faktor, yaitu perbedaan tekanan akibat perbedaan temperatur (*thermal buoyancy*), dan kecepatan angin yang masuk ke dalam ruangan (Tantasavasdi et al., 2001). Pergerakan dalam ruangan (orang/barang/alat) juga mempengaruhi karakteristik sirkulasi udara di dalam ruang.

Tabel 5. Volume dan luas bukaan (ventilasi).

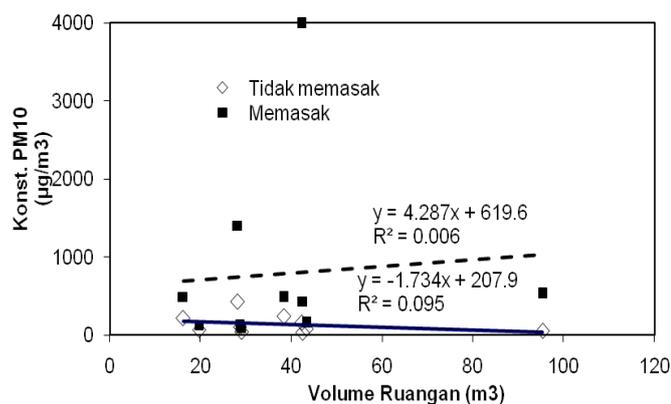
Jenis Bahan Bakar	Rumah	Luas Bukaan m ²	Volume m ³	Persen Bukaan (%)
Kayu Bakar	1	1,612	38,334	4,2
	2	2,584	42,307	6,1
	3	2,245	16,121	13,9
	4	2,363	95,328	2,25
	5	3,008	28,196	10,7
Minyak Tanah	6	3,672	42,522	8,6
	7	3,458	29,091	11,8
	8	2,6	43,329	6,0
	9	1,638	19,638	8,3
	10	3,877	28,608	13,5

Tabel 5 diatas menunjukkan bahwa tidak serta merta dapur yang memiliki volume besar memiliki ventilasi yang besar. Hal ini akan berakibat pada kecilnya laju sirkulasi udara (termasuk polutan) keluar ruang. Pada penelitian di Bangladesh menunjukkan bahwa ventilasi yang cukup akan mempengaruhi rendahnya konsentrasi PM₁₀ dalam rumah. Namun demikian, sangat tingginya asap/emisi dari pembakaran biomassa (kayu bakar) ini mengakibatkan ventilasi alami yang ada tidak handal dalam mengatasi masalah polusi udara dalam ruang. Menurut Still and McArty (2007) peningkatan luas ventilasi memang dapat menurunkan sebagian polutan dalam ruang, akan tetapi pada kondisi yang berbeda juga mempunyai hasil yang berbeda pula. Oleh sebab itu, penelitian-penelitian tersebut tidak dapat dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan penulis karena kondisi dapur pada setiap rumah berbeda, baik dari luas, letak ventilasi serta ukuran ruangan, sehingga hanya bisa dilihat pendekatan mengenai kecenderungan hubungan ventilasi dengan konsentrasi polutan dalam ruang.

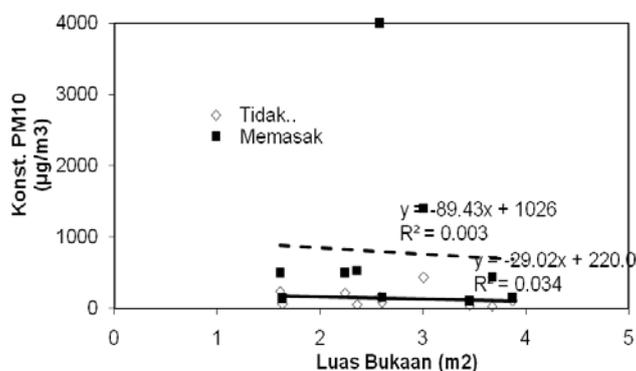
Peletakan kompor juga sangat berpengaruh dalam persebaran PM₁₀ dalam dapur. Semakin dekat letak kompor dengan bukaan / ventilasi, maka asap dari hasil memasak akan semakin banyak yang terdistribusi ke luar, sehingga kemungkinan hanya sedikit asap yang tersebar ke dalam ruangan. Pada kondisi di lapangan, peletakan kompor pada sebagian besar dapur berjauhan dengan bukaan yang ada, sehingga kemungkinan asap keluar ruangan dengan cepat akan kecil, bahkan akan lebih kecil lagi jika arah angin tidak sesuai dengan letak bukaan. Akan tetapi pada penelitian ini, variabel arah aliran udara tidak diteliti sehingga tidak dapat melihat pengaruhnya terhadap persebaran PM₁₀ dalam ruangan dan pengaruhnya dengan adanya letak dan jumlah bukaan serta letak kompor terhadap bukaan dan arah aliran udara yang masuk dan ke luar ruangan.

Analisis Konsentrasi PM₁₀ Berdasarkan Volume dan Luas Bukaan (ventilasi, pintu, jendela)

Menurut teori Box Model untuk Indoor Air Quality Well-Mixed (Cornwell & Davis, 2000), volume ruangan dan konsentrasi partikel berbanding terbalik, demikian pula luas bukaan dan konsentrasi partikel. Volume ruangan yang diteliti disini diestimasi dari dimensi ruang (panjang, lebar, dan tinggi ruang) dengan menisbikan keberadaan barang-barang di dalam ruang yang bisa jadi berpengaruh terhadap sirkulasi udara. Variabel luas bukaan yang diteliti ini akan menjadi kompleks ketika kita memasukkan bukaan yang bersifat aktif (pintu) dan non aktif (kisi jendela). Dengan menyederhanakan analisis variabelnya, hubungan volume dan luas bukaan pada dapur dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2 berikut:



Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi PM₁₀ dengan volume ruangan dapur.



Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi PM₁₀ dengan luas bukaan ventilasi dapur.

Dari diatas, pada kondisi memasak maupun tidak memasak, hubungan antara konsentrasi PM₁₀ dengan volume dan luas bukaan sangat tidak stabil. Hal ini dapat dilihat dari titik-titik pada kedua grafik yang tidak beraturan sehingga ketika dihubungkan tidak membentuk persamaan yang linear, dan nilai R² yang dihasilkan tidak mendekati 1. Dari data-data tersebut menunjukkan hubungan antara konsentrasi partikel dengan volume dan luas bukaan sangat kecil, bahkan hampir tidak ada. Namun demikian tidak serta merta ini menjadi kesimpulan dari penelitian ini karena secara teoretik ada hubungan yang jelas antara ventilasi dan konsentrasi polutan dalam ruang. Diperlukan penelitian yang lebih intensif dan terkontrol untuk melihat hubungan sebenarnya

Mengingat dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif tentang keberadaan volume ruang dan luas bukaan terhadap konsentrasi PM₁₀ di dapur sebenarnya, nampaknya variabel emisi dari bahan bakar lebih dominan dalam menentukan besaran polutan PM₁₀. Hubungan kausalitas yang jelas antara volume ruang serta luas bukaan akan nampak manakala kita menggunakan dapur artifisial dengan rancang kontrol variabel yang jelas.

Beberapa penelitian sebelumnya diindikasikan bahwa letak ventilasi yang paling efisien adalah ventilasi ganda yang terletak diagonal antara satu ventilasi dengan ventilasi yang lainnya. Peletakan jendela, pintu dan ventilasi yang kurang baik juga menghambat keluar masuknya udara, sehingga polutan tidak dapat keluar ruangan dan konsentrasi bertambah besar seiring dengan lamanya proses memasak. Karena pada penelitian ini tidak

mengukur besarnya laju udara yang masuk dan keluar ruangan, sehingga tidak dapat diketahui besarnya PM_{10} yang masuk dari udara luar dan yang terbawa keluar dapur. Untuk mengetahui sirkulasi udara di dalam dapur dapat dilakukan penelitian tentang modeling emisi polutan dalam ruang. Dalam penelitian ini juga tidak diketahui banyaknya PM_{10} dari emisi pembakaran kayu dan minyak tanah, untuk itu penelitian tentang emisi dari bahan bakar tersebut perlu dilakukan. Tersedia banyak data sekunder tentang emisi polutan (partikulat maupun gas) dari aktivitas memasak dengan bahan bakar yang berbeda-beda. Namun untuk menggunakan data tersebut untuk diterapkan dalam skala rumah tangga dengan lokasi yang berbeda perlu dilakukan dengan hati-hati mengingat variabilitas datanya yang sangat tinggi (Morawska et.al, 2002).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, terjadi peningkatan konsentrasi PM_{10} pada saat tidak adanya aktivitas memasak dan setelah dilakukan aktivitas memasak. Konsentrasi PM_{10} pada dapur yang menggunakan kayu bakar saat tidak memasak berkisar antara $51,660 - 430,090 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan pada saat memasak meningkat menjadi $486,156 - 3990,013 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan pada dapur yang menggunakan minyak tanah, konsentrasi PM_{10} jauh lebih kecil, yaitu pada saat tidak memasak sebesar $26,927 - 107,082 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan pada saat memasak meningkat menjadi $92,166 - 429,825 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar sangat berpengaruh terhadap konsentrasi PM_{10} yang dihasilkan. Rata-rata konsentrasi PM_{10} dari penggunaan kayu bakar melebihi baku mutu US EPA yaitu $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Walaupun dalam penelitian ini pengaruh ventilasi kurang begitu terlihat, faktor ini perlu dirancang dengan baik (meskipun ventilasi natural) untuk mendapatkan sirkulasi udara yang cukup. Namun demikian rancang ventilasi saja tidak cukup untuk meningkatkan kualitas udara ruang yang baik, banyak faktor lain yang diperhatikan yaitu efisiensi kompor, infiltrasi *outdoor*, durasi memasak, metode memasak, lokasi dapur dan jenis material konstruksi dapur.

Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih terukur perlu dilakukan pengukuran selama 24 jam. Hal ini berkaitan dengan pajanan polutan terhadap penghuni rumah/dapur. Penelitian terkontrol perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar polutan akan tersebar atau hilang dengan variasi volume, ventilasi dan bahan bakar. Penelitian terhadap polutan yang lebih halus ($PM_{2.5}$) akan lebih bermakna dilihat dari sisi dampak kesehatan, mengingat untuk ukuran aerodinamis ini banyak dihasilkan dari aktivitas pembakaran.

Diperlukan desain rumah (dapur) yang baik, terutama mencakup ukuran, luas dan letak ventilasi, jendela, maupun pintu agar sirkulasi udara dalam ruangan lancar. Adanya sistem ventilasi baru seperti exhaust ventilation ataupun exhaust pembakaran (*hoods*) juga sangat baik untuk meningkatkan kualitas udara di dalam ruangan meskipun perlu diteliti lebih jauh tentang efektivitasnya dalam proses penghilangan polutan dalam ruang.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Anggrika Riyanti atas bantuan pengambilan data di lokasi sampling. Terimakasih juga kepada Bu Diah, Bu Muhayatun dan Pak Dedi yang sudah sangat banyak membantu dalam analisis gravimetri di BATAN Bandung.

Daftar Pustaka

- Bruce, Nigel Eva Rehfuess, Sumi Mehta, Guy Hutton, and Kirk Smith. "Indoor Air Pollution." *Disease Control Priorities in Developing Countries*. 2nd ed., 793-816. New York: Oxford University Press. DOI: 10.1596/978-0-821-36179-5/Chpt-42, (2006)
- D.A., Cornwell and Davis, M.L. Introduction to Environmental Engineering. Singapore: Mc. Graw-Hill Book Co., 2000.
- M.A., Desai, Mehta S., and Smith K.R. "Indoor Smoke from Solid Fuels: Assessing The Environmental Burden of Disease at National and Local Levels." W.H.O. Environmental Burden of Disease Series, No. 4. Geneva: World Health Organization, (2004)
- Ezzati, M. and Daniel M. Kammen. "The Health Impacts of Exposure to Indoor Air Pollution from Solid Fuels in Developing Countries: Knowledge, Gaps, and Data Needs, Environmental Health Perspectives." Journal 110 11 (2002).
- Fang, L., G. Clausen, and P.O. Fanger. "Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality During Immediate and Longer Whole-Body Exposures." Indoor Air Journal 8 4 (2004): 276–284.
- Fanger, P.O. "IAQ in the 21st century: Search for Excellence." Indoor Air 10 2 (2000): 68-73.
- GreenFacts. "Scientific Facts on Air Pollution Particulate Matter." www.greenfacts.org. 2005.
- Herring, Peter. "Mitigating The Adverse Impact of Particulates on Indoor Air." Report of Views and Conclusions from the FINE Particles Technology, Environment and Health Technology Programme. Tekes ISBN 952-457-247-8, 2006.
- Kilabuko, J.H., H. Matsuki, and S. Nakai. "Air Quality and Acute Respiratory Illness in Biomass Fuel Using Homes in Bagamoyo, Tanzania." www.ijerph.org. 2007
- Kosonen, Risto. "Commercial Kitchen Ventilation: More to Deliver than Fresh Air." Halton Oy, (2004)
- Morawska, Lidia, A.P Mitra, Chhemendra Sharma, Jim Zhang (2002). Chapter two: methodologies for characterisation of combustion sources and for quantification of their emissions. *Chemosphere* 49 (2002) 903–922
- Still, Dean and Mc. Carty, Nordica. "The Effect of Ventilation on Carbon Monoxide and Particulate Level in a Test Kitchen." *Boiling Point Issue 52 (2006) Health, Safety and Household Energy*, 2007.
- Saiyed, H.N., T.S. Patel and V.N. Gokani, ICMR Bulletin, ISSN 0377-4910, Vol.31, No.5 Institute of Occupational Health, Ahmedabad, 2001.
- Smith, Kirk R. "Indoor Air Pollution in Developing Countries: Recommendations for Research." Indoor Air Journal 12 (2002): 198–207.
- Tantasavasdi, C., J. Srebric, and Q. Chen. "Natural Ventilation Design for Houses in Thailand." Energy and Buildings 33 8 (2001): 815-824.