

ANALISIS KONSENTRASI FORMALDEHIDA DI DAERAH PERKOTAAN PADAT LALU LINTAS *CONCENTRATION ANALYSIS IN HIGH TRAFFIC URBAN AREA*

Kandu Jiwandono¹, R. Driejana², dan Moh. Irsyad³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹kandu.jiwandono@students.itb.ac.id, ²driejana@tl.itb.ac.id, dan ³mohirsyad@tl.ac.itb.ac.id

Abstrak: *Formaldehida memiliki rumus molekul HCHO dan memiliki berat molekul sebesar 30 g/mol. Formaldehida diproduksi secara tidak langsung oleh oksidasi fotokimia dari hidrokarbon atau dari prekursor formaldehida yang lain yang dihasilkan dari proses pembakaran. Pada penelitian ini pemantauan menggunakan metode aktif dengan metode Colorimetri. Prinsip dari metode ini adalah formaldehida diudara dialirkan kedalam sebuah tabung yang berisi larutan asam kromotopik. Formaldehida diudara akan bereaksi dengan asam kromotopik dan akan membentuk larutan monokationik kromogen yang berwarna ungu. Selanjutnya intensitas warna akan diukur pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 580nm. Pengukuran formaldehida dilakukan untuk menganalisa hubungan konsentrasi formaldehida dengan oksidan, ozon, dan faktor meteorologi. Pengukuran konsentrasi formaldehida di Jakarta dilakukan di Bundaran Hotel Indonesia di Jl. M.H. Thamrin, Jakarta Pusat. Dari penelitian ini didapatkan bahwa ketika konsentrasi oksidan naik, maka konsentrasi formaldehida akan cenderung naik juga dengan angka Pearson Correlation 0,678 ($p = 0,000$). Konsentrasi ozon pada udara ambien juga berpengaruh dalam konsentrasi formaldehida di udara ambien. Rasio rata-rata dari konsentrasi formaldehida dalam oksidan didapatkan sebesar 21,22%. Selain dari gas oksidan dan ozon, pembentukan formaldehida juga dipengaruhi oleh beberapa faktor meteorologi seperti intensitas sinar matahari. Menurut Haagen-Smit (1952) sinar matahari akan membantu hidrokarbon untuk bereaksi dengan No_x untuk membentuk ozon dan formaldehida melalui reaksi fotokimia. Hasil Pearson Correlation menunjukkan bahwa ada hubungan yang cukup kuat antara intensitas matahari dengan formaldehida dengan $R = 0,648$ ($p = 0,000$).*

Kata kunci: *Colorimetri, faktor meteorologi, formaldehida, oksidan, ozon*

Abstract : *Formaldehyde has formula HCHO and has a molecular weight 30 g / mol. Formaldehyde was indirectly produced by hydrocarbon photochemical oxidation or other formaldehyde precursors which is produced by combustion process. In this research, measurement of formaldehyde was done by Colorimetri method . The principle of this method is formaldehyde in the air flowed into a tube containing chromotopic acid solution . Formaldehyde in the air will react with chromotopic acid to form a purple monocationic chromogen solution. After then, color intensity will be measured on a spectrophotometer at wavelength of 580nm. Formaldehyde measurement was done to analyze the correlation between formaldehyde with oxidant, ozone, and meteorological. Measurement of formaldehyde in Jakarta was done at the Bundaran Hotel Indonesia on Jl . M.H. Thamrin , Central Jakarta . From this study, found that when oxidant concentration increases, the formaldehyde concentration will tend to rise as well with Pearson Correlation value 0,678 ($p = 0,000$). Ozone concentration in ambient airalso has an effect to formaldehyde concentration. The average ratio of formaldehyde concentration in oxidant obtained at 21,22%. Aside from oxidant and ozone, formaldehyde formation was also influenced by some of meteorological such as the intensity of sunlight. According to Haagen-smit (1952) sunlight will help hydrocarbons to react with No_x to form ozone and formaldehyde through photochemical reactions. The pearson correlation shows that there is a very strong relationship between sunlight intensity and formaldehyde with $R = 0,648$ ($p = 0,000$).*

Key words: *Colorimetri, formaldehyde, meteorological, oxidant, ozone*

PENDAHULUAN

Formaldehida adalah polutan karsinogenik yang menonjol di atmosfer dan berperan penting dalam kimia atmosfer. Ada beberapa sumber dari formaldehida yang terdapat di atmosfer. Formaldehida dihasilkan dari proses fotokimia yang dibentuk dari proses oksidasi dari sebagian besar biogenik dan antropogenik hidrokarbon. Formaldehida juga diketahui sebagai produk emisi utama dari pembakaran hidrokarbon yang tidak sempurna. Produksi langsung formaldehida oleh sumber-sumber antropogenik terutama dari kendaraan bermotor adalah sumber utama di daerah perkotaan (Lawson et al, 1990).

Formaldehida adalah senyawa karbonil yang paling sederhana, penting, dan berlimpah di atmosfer. Formaldehida adalah senyawa yang terdapat di banyak tempat karena dihasilkan dari proses oksidasi fotokimia, tetapi sering terdapat dalam konsentrasi yang rendah karena dapat dihilangkan dengan waktu yang cukup singkat melalui fotolisis dan oksidasi lebih lanjut. Pada daerah perkotaan, sumber utama emisi berasal dari pembakaran (Anderson et al, 1996).

Formaldehida diproduksi secara tidak langsung oleh oksidasi fotokimia dari hidrokarbon atau dari prekursor formaldehida yang lain yang dihasilkan dari proses pembakaran. Saat fasa asap, produksi tidak langsung dari formaldehida mungkin lebih besar dibandingkan emisi langsung (Fishbein 1992). Oksidasi dari metana adalah sumber dominan dari emisi hidrokarbon. (Staffelbach et al. 1991). Sumber antropogenik lainnya dari formaldehida di lingkungan berasal dari knalpot diesel dan kendaraan bermotor berbahan bakar bensin; emisi penggunaan formaldehida sebagai fumigan, disinfektan tanah, dan cairan pembalsaman; emisi dari resin di papan partikel dan kayu lapis (EPA 1976; Kleindienst et al. 1986; NRC 1981). Sumber alami dari formaldehida meliputi kebakaran hutan, kotoran hewan, produk mikrobiologi dari sistem biologi.

Pengukuran formaldehida di udara ambient dapat dilakukan dengan dua cara, yakni metode pasif dan metode aktif. Untuk metode pasif hal yang perlu diperhatikan adalah pemilihan tipe sampler dan absorben yang digunakan. Kedua hal ini menjadi kunci utama dalam melakukan pengukuran konsentrasi formaldehida dengan metode pasif karena dalam metode pasif prinsip yang digunakan adalah prinsip difusi gas, maka kedua elemen ini yang akan menentukan apakah data kita dapat diterima atau tidak.

Untuk metode aktif, dilakukan metode Colorimetri. Prinsip dari metode ini adalah formaldehida diudara dialirkan kedalam sebuah tabung yang berisi larutan asam kromotopik. Formaldehida diudara akan bereaksi dengan asam kromotopik dan akan membentuk larutan monokationik kromogen yang berwarna ungu yang selanjutnya intensitas warna akan diukur pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 580nm (Katz, 1977).

METODOLOGI

Formaldehida memiliki rumus molekul HCHO dan memiliki berat molekul sebesar 30 g/mol. Pada temperatur ruangan, formaldehida berbentuk gas yang tidak berwarna. Formaldehida juga dapat larut dalam air. Saat larut dalam air, formaldehida membentuk methandiol hidrat dengan rumus molekul $H_2C(OH)_2$. Dalam larutan formaldehida yang jenuh, terdapat 40% formaldehida dari total volume larutan atau 37% formaldehida dari total berat larutan. Larutan ini dinamakan "100% formalin".

Metodologi dalam penelitian ini dimulai dari penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian serta studi literatur mengenai teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan melalui berbagai buku referensi dan jurnal sesuai dengan ruang lingkup dan tujuan yang telah ditentukan sebelumnya. Studi ini akan dijadikan dasar teori untuk tahapan-tahapan berikutnya. Selanjutnya melakukan persiapan alat dan bahan yang diperlukan untuk sampling seperti pompa, flow meter, larutan standar A dan B untuk kurva kalibrasi, larutan penyerap, larutan asam kromatopik, termometer, dan gps.

Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan setelah pembuatan larutan asam kromatopik dan pembuatan larutan untuk membuat kurva kalibrasi. Prinsip dari pembuatan kurva kalibrasi dengan memipet larutan standar ke dalam larutan penyerap sebanyak 0 mL; 0,1 mL; 0,3 mL; 0,5 mL; 0,7 mL; 1 mL; dan 2 mL ke dalam tabung reaksi yang kemudian diencerkan dengan aquades hingga volumenya 4 mL. Kemudian tambahkan asam kromatopik sebanyak 0,1 mL dan larutan asam sulfat pekat ke dalam masing-masing larutan hingga volumenya menjadi 10 mL. Biarkan hingga suhu larutan turun kemudian ukur pada spektrofotometer pada panjang gelombang 585 nm.

Sampling dilakukan dengan metode *colorimetri*. Prinsipnya udara dengan debit 1 L/menit, dialirkan kedalam tabung *impinger* yang telah berisi larutan penyerap 20 mL. Formaldehida yang terdapat di udara ambien akan larut dalam larutan penyerap. Setelah 120 menit, tabung tabung *impinger* diganti dengan tabung yang baru yang telah berisi larutan penyerap. Hasil sampling dipindah ke tabung uji lalu dan segera dilakukan analisis sampel. Proses ini terus dilakukan hingga total waktu sampling 8 jam. Selain melakukan sampling gas, dilakukan juga pengukuran faktor meteorologi seperti temperatur, tekanan udara, kelembapan udara, intensitas sinar matahari, dan kecepatan angin.

Sampel yang telah diamati di spektrofotometer, selanjutnya akan dihitung konsentrasinya pada kondisi normal. Hasil yang diambil di lapangan adalah konsentrasi pada kondisi temperatur dan tekanan udara saat di lapangan, bukan pada kondisi normal. Hal ini membuat perhitungan volume harus dikonversi terlebih dahulu kedalam kondisi normal dengan menggunakan **Persamaan (1)**.

$$V = V_s \times t \times \frac{P_a}{T_a} \times \frac{298}{760} \quad (1)$$

dimana:

- V : volume udara yang dihisap dikoreksi pada kondisi normal 25°C, 760 mmHg
- V_s : debit udara dihisap pompa di lapangan (L/menit)
- T : durasi pengambilan contoh uji (menit)
- P_a : tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh uji (mmHg)
- T_a : temperature rata-rata selama pengambilan contoh uji (Kelvin)
- 298 : Konversi temperatur pada kondisi normal dalam Kelvin
- 760 : Tekanan udara standar (mmHg)

Untuk perhitungan konsentrasi formaldehida dalam sampel pun harus kembali dikonversi menjadi konsentrasi formaldehida di udara ambien dengan menggunakan **Persamaan (2)**.

$$ppm (volume) = \frac{C \times A \times 24,47}{V \times MW} \quad (2)$$

dimana:

- V : volume udara yang disampling (L)
- C : µg dari formaldehida
- A : factor aliquot $\frac{\text{volume larutan sampling (ml)}}{\text{ml dalam aliquot}}$
- MW : berat molekul dari formaldehida (30,03)
- 24,47 : ml dari gas formaldehida dalam satu milimol pada 760 Torr dan 25°C

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran di Jakarta

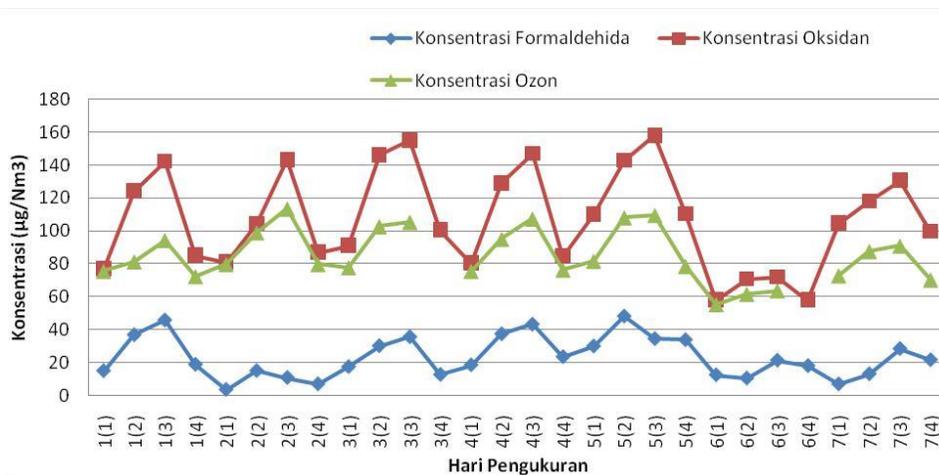
Pengukuran konsentrasi formaldehida di Jakarta dilakukan di Bundaran Hotel Indonesia di Jl. M.H. Thamrin, Jakarta Pusat. Lokasi ini berada di tengah-tengah kawasan perkantoran Jakarta Pusat yang merupakan pertemuan dari beberapa jalan besar seperti Jalan M.H. Thamrin, Jalan Imam Bonjol, dan Jalan Sudirman. Sampling sebanyak tujuh hari pada lima hari kerja dan 2 hari akhir minggu. Sampling di Jakarta dilakukan pada tanggal 4,5,6,7,13,15, dan 16 Februari 2014. Konsentrasi formaldehida diukur selama delapan jam, dan setiap dua jam *impinger* yang berisi larutan penyerap diganti. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pola konsentrasi formaldehida pada setiap dua jam.

Ketika melakukan pengukuran konsentrasi formaldehida di Jakarta, dilakukan pula pengukuran konsentrasi oksidan (Anggara, 2014). Tujuan dilakukan pengukuran oksidan untuk dapat menganalisa komposisi formaldehida didalam oksidan yang terukur. Data pengukuran ozon, diperoleh dari pengukuran

otomatis dari AQMS (*Air Quality Monitoring System*). Pada AQMS, data didapatkan pada setiap 30 menit. Untuk dibandingkan dengan data baku mutu, data yang didapatkan dari AQMS dikonversikan menjadi konsentrasi dalam satuan 2 jam sehingga dapat dibandingkan dengan data formaldehida dan ozon. Data AQMS yang didapatkan rata-rata dari 4 buah data dalam 2 jam (Anggara, 2014). Hasil dari pengukuran ketiga gas tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1**. Angka pertama pada sumbu x menunjukkan hari pengukuran dengan rentang angka 1-7 sesuai dengan jumlah total hari pengukuran. Angka kedua mempunyai rentang 1-4, dengan ketentuan angka 1 berarti sampling dilakukan pada pukul 08.00 – 10.00, angka 2 berarti sampling dilakukan pada pukul 10.00 – 12.00, angka 3 berarti sampling dilakukan pada pukul 12.00 – 14.00, dan angka 4 menunjukkan pukul 14.00 – 16.00.

Pada **Gambar 1** dapat dilihat pola persebaran konsentrasi formaldehida, oksidan, dan ozon setiap hari. Untuk formaldehida nilai maksimum dari konsentrasi selalu terdapat pada (2) atau (3) atau pada pukul 10.00 – 14.00, sedangkan untuk nilai konsentrasi minimum di grafik memiliki kecenderungan terdapat pada (1) atau pada pukul 08.00-10.00 hanya pada sampling hari ke 3 konsentrasi minimum terdapat pada (4) atau pada pukul 14.00 – 16.00. Hasil pengukuran konsentrasi formaldehida maksimum didapatkan pada sampling kelima yaitu pada tanggal 13 Februari 2014 dengan konsentrasi 48,1 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan konsentrasi formaldehida minimum didapatkan pada sampling kedua pada tanggal 5 Februari 2014 dengan konsentrasi 3,65 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Untuk oksidan, konsentrasi maksimum selalu pada (3) atau pada pukul 12:00-14:00. Akan tetapi konsentrasi minimum tidak selalu terdapat pada (1) atau pada pukul 08:00-10:00, karena pada sampling kelima, keenam, dan ketujuh konsentrasi oksidan minimum didapatkan pada pukul 14:00-16:00. Hasil pengukuran oksidan maksimum didapatkan pada sampling kelima yaitu pada tanggal 13 Februari dengan konsentrasi 157,9 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Sedangkan pada sampling keenam didapatkan hasil minimum konsentrasi oksidan yaitu 57,9 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (Anggara, 2014).



Gambar 1. Grafik konsentrasi formaldehida, oksidan, dan ozon pada saat pengukuran di Jakarta

Konsentrasi maksimum ozon pada tiap harinya selalu terdapat pada periode (3) yang artinya data tersebut didapatkan pada pengukuran pukul 12.00 – 14.00. Berbeda dengan konsentrasi ozon minimum perhari yang didapatkan antara dua periode yakni pada periode (1) atau pukul 08.00 – 10.00 dan periode (4) atau pukul 14.00 – 16.00.

Hubungan Antara Konsentrasi Formaldehida dan Oksidan

Keberadaan oksidan di udara ambien, berperan penting dalam pembentukan formaldehida. Meski didalam oksidan tersendiri terdapat kandungan formaldehida, namun masih ada beberapa senyawa yang dapat bereaksi secara fotokimia dan pada akhirnya membentuk formaldehida. Selain itu, didalam oksidan sendiri terdapat gas ozon. Ozon merupakan gas yang paling dominan yang terkandung didalam oksidan.

Dari **Gambar 1** dapat dilihat fluktuasi dari konsentrasi formaldehida dan oksidan. Konsentrasi oksidan yang terukur jauh lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi formaldehida yang terukur, hal ini karena formaldehida termasuk dalam kandungan oksidan. Oleh karena itu, konsentrasi formaldehida pasti akan selalu lebih kecil jika dibandingkan dengan konsentrasi oksidan di udara ambient. Selain itu, konsentrasi formaldehida juga cenderung akan meningkat jika konsentrasi oksidan meningkat dan sebaliknya.

Konsentrasi formaldehida tidak selalu naik ketika konsentrasi ozon juga naik, namun konsentrasi formaldehida memiliki kecenderungan untuk naik ketika konsentrasi ozon naik. Pada pengukuran hari kedua, konsentrasi ozon yang didapatkan selalu naik pada pukul 08.00 – 14.00, dan turun kembali pada pukul 14.00 - 16.00. Sedangkan konsentrasi formaldehida yang terukur, hanya naik pada pukul 08.00 – 12.00 dan kembali turun pada pukul 12.00 – 14.00. Akan tetapi, hal ini tidak terjadi pada hari keempat pengukuran yang dimana konsentrasi formaldehida dan ozon sama-sama naik pada pukul 08.00 – 14.00 dan kembali turun pada pukul 14.00 – 16.00.

Fluktuasi konsentrasi formaldehida terjadi akibat reaksi pembentukan formaldehida di udara ambien perkotaan sangat dipengaruhi oleh polusi langsung dari kendaraan dan sinar matahari. Jumlah kendaraan yang cukup banyak di lokasi sampling menghasilkan gas hidrokarbon sebagai buangnya dan dengan adanya sinar matahari maka akan membantu hidrokarbon untuk bereaksi dengan NO_x untuk membentuk ozon dan formaldehida (Haagen-Smit, 1952).

Dengan melihat fluktuasi pada **Gambar 1**, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi formaldehida berbanding lurus dengan konsentrasi oksidan. Akan tetapi, peningkatan konsentrasi formaldehida tidak selalu sebanding dengan peningkatan oksidan. Hal ini makin diperkuat dengan analisis statistik yang diperlihatkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai korelasi konsentrasi formaldehida, oksidan
Correlations

		Konsentrasi Formaldehida	Konsentrasi Oksidan	Konsentrasi Ozon
Konsentrasi Formaldehida	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	1	.678** .000	.527** .006
Konsentrasi Oksidan	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	.678** .000	1	.906** .000
Konsentrasi Ozon	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	.527** .006	.906** .000	1

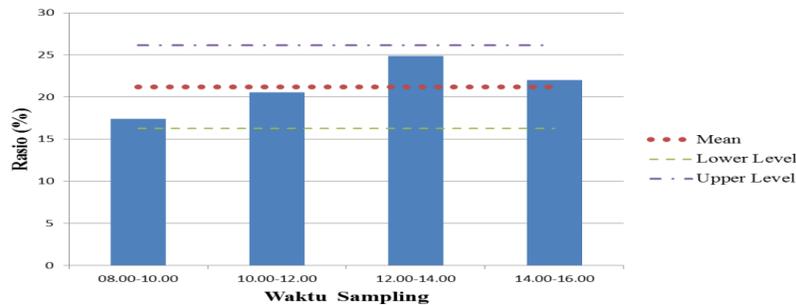
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari **Tabel 1** didapatkan nilai *Pearson Correlation* antara konsentrasi formaldehida dan oksidan sebesar 0,678 (P = 0,000), sedangkan untuk nilai *Pearson Correlation* antara konsentrasi formaldehida dengan ozon sebesar 0,527 (P = 0,000). Dengan nilai *Pearson Correlation* > 0,500 (Sarwono,2009), maka dapat disimpulkan bahwa korelasi antara konsentrasi formaldehida dan konsentrasi oksidan memiliki hubungan yang kuat. Nilai *Pearson Correlation* yang semakin mendekati angka satu mempunyai arti bahwa hubungan antara kedua variabel sangatlah kuat. Dengan nilai *Pearson Correlation* konsentrasi formaldehida dengan oksidan lebih besar dibandingkan dengan ozon dapat disimpulkan bahwa konsentrasi oksidan di udara ambien lebih berpengaruh terhadap konsentrasi formaldehida di udara ambien dibandingkan dengan konsentrasi ozon. Nilai *Pearson Correlation* untuk keseluruhan variabel yang terukur juga tidak bernilai negatif, artinya hubungan antar parameter adalah hubungan berbanding lurus. Nilai signifikansi yang didapat adalah sebesar 0 dan 0,006. Nilai tersebut berarti hasil yang didapatkan dari nilai *Pearson Correlation* signifikan untuk semua parameter yang diukur.

Rasio Formaldehida dalam Oksidan

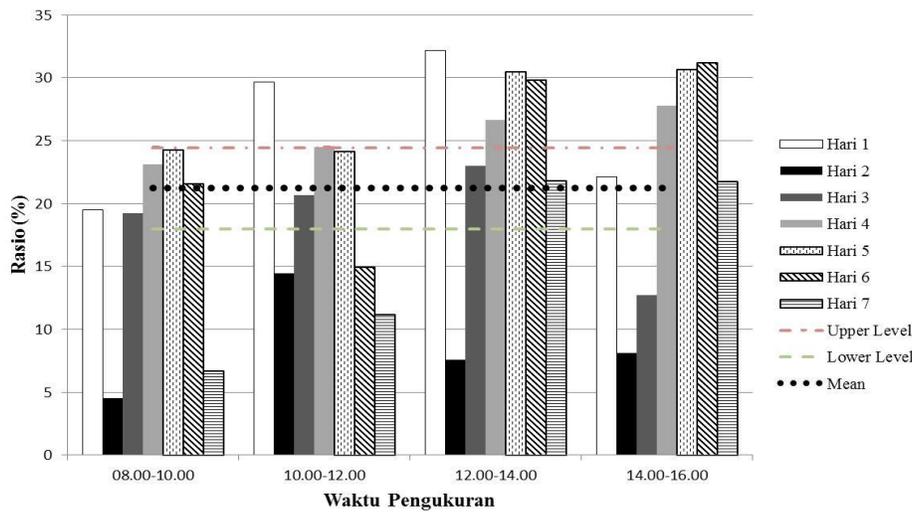
Dalam pengukuran konsentrasi formaldehida, besarnya konsentrasi oksidan memiliki pengaruh yang cukup kuat. Menurut Saltzman (1959) dan Duenas (2002) konsentrasi ozon pada oksidan berkisar 80-90% dan sisanya adalah senyawa lain seperti formaldehida dan PAN. Nilai dari keseluruhan rasio formaldehida dalam oksidan ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pada **Gambar 2** dapat dilihat bahwa nilai rata-rata maksimum dari rasio formaldehida dalam oksidan dicapai pada pukul 12.00 – 14.00 dengan nilai rata-rata rasio sebesar 24,89% dan nilai minimum dari rasio formaldehida dalam oksidan dicapai pada pukul 08.00 – 10.00 dengan nilai rata-rata rasio sebesar 17,4%. Sedangkan untuk nilai rata-rata untuk keseluruhan rasio pada saat sampling adalah sebesar 21,22%.

Gambar 2 menunjukkan garis *Upper Level*, dan *Lower Level*. Nilai *Upper Level* dan *Lower Level* menunjukkan interval dari data rata-rata rasio yang diperoleh dengan kepercayaan sebesar 95%. Hal ini berarti, dengan tingkat kepercayaan 95%, rata-rata rasio formaldehida dalam oksidan diperoleh akan berada diantara nilai tersebut. Dari data rata-rata rasio yang diperoleh, semua data yang ada terdapat diantara dua nilai tersebut. Menurut Hiroshi Tago et al (2005), rasio konsentrasi formaldehida dalam oksidan pada daerah urban berkisar 18-23%. Jika dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dapat dikatakan sesuai dengan literatur tersebut.



Gambar 2. Grafik rata-rata rasio konsentrasi formaldehida dalam oksidan

Pada **Gambar 3** dapat dilihat variasi rasio formaldehida dalam oksidan pada setiap dua jam pengukuran. Variasi yang terbentuk cukup banyak mulai dari nilai rasio dibawah 5% hingga nilai rasio diatas 30%. Pada gambar tersebut juga terdapat garis *Mean*, *Lower Level*, dan *Upper Level*. Akan tetapi untuk variasi data yang ada, tidak semua data yang diperoleh berada diantara nilai *Upper Level* dan *Lower Level*.



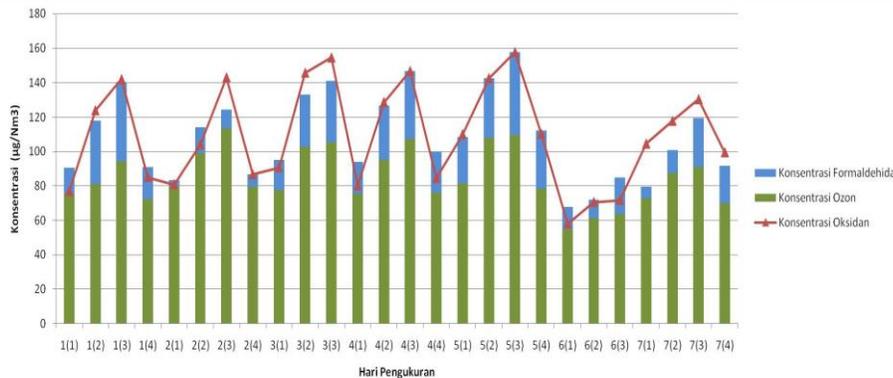
Gambar 3. Grafik rasio formaldehida dalam oksidan

Jika data pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** dibandingkan dengan teori yang dikemukakan oleh Saltzman dan Duenas, maka hanya ada beberapa data rasio yang memungkinkan untuk sesuai dengan teori tersebut. Akan tetapi, rasio formaldehida dalam oksidan sangatlah mungkin berubah. Hal ini dapat disebabkan oleh reaksi fotokimia yang terjadi di udara ambien sehingga memungkinkan untuk terbentuknya formaldehida lebih banyak dari 20% dari total oksidan yang ada di udara ambien.

Perbandingan Konsentrasi Formaldehida dengan Ozon

Menurut literatur, oksidan terdiri dari 80%-90% ozon, dan sisanya adalah gas lain seperti formaldehida dan PAN. Saat melakukan pengukuran di Jakarta, dilakukan pula pengukuran gas ozon secara otomatis dengan metode AQMS. Perbandingan konsentrasi ozon dan formaldehida dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pada **Gambar 4** terlihat fluktuasi dari perbandingan konsentrasi formaldehida dengan ozon. Pada kenyataannya, konsentrasi ozon tidak selalu berbanding lurus dengan konsentrasi formaldehida. Akan tetapi keduanya cenderung menunjukkan hubungan berbanding lurus. Dari data yang didapat, terdapat data konsentrasi ozon yang tidak ada. Hal ini dikarenakan tidak terbacanya data yang terukur pada alat ukur otomatis sehingga ada dua periode waktu yang tidak bisa ditentukan perbandingan konsentrasi formaldehida dan ozon.

Dari **Gambar 4** dapat dilihat bahwa terdapat 15 dari 26 atau sekitar 57,69% dari total data yang menunjukkan bahwa total oksidan yang diukur lebih besar dibandingkan dengan total formaldehida dan ozon yang terukur dan seluruh data tersebut konsentrasi ozon dan formaldehida sangat dominan. Hal ini diduga karena banyaknya prekursor dari formaldehida yang terdapat di sekitar lokasi sampling. Keberadaan prekursor formaldehida yang cukup besar akan mengakibatkan reaksi fotokimia yang akan membentuk formaldehida dalam jumlah yang besar. Namun, dugaan mengenai keberadaan prekursor formaldehida di lokasi sampling memerlukan penelitian lebih lanjut. Selain itu, total oksidan yang lebih kecil dibandingkan dengan jumlah formaldehida ditambah ozon diakibatkan oleh adanya sebagian proses fotokimia oksidan, dan beberapa sebab lainnya yang belum diketahui.

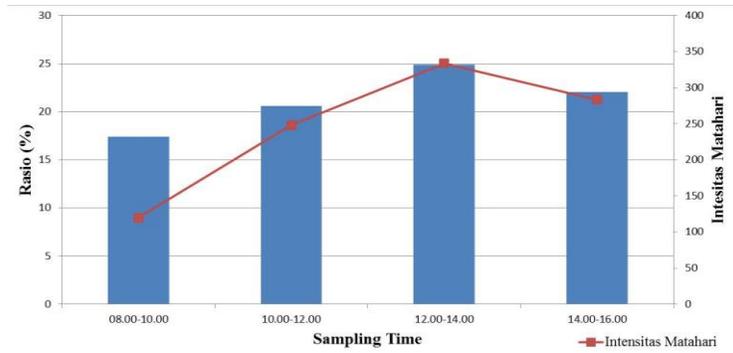


Gambar 4. Perbandingan Konsentrasi Ozon dan Formaldehida

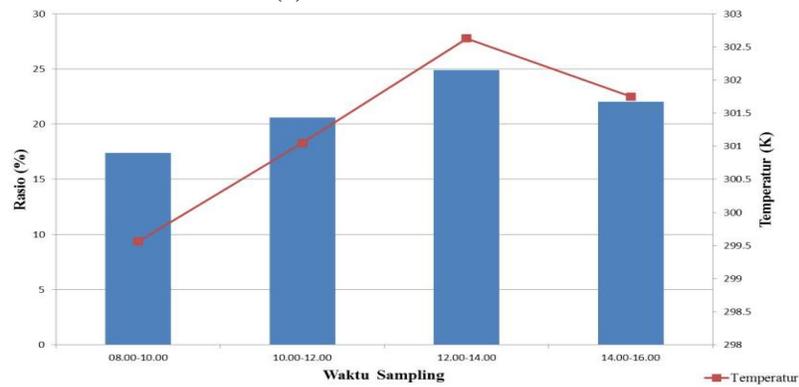
Korelasi Antara Konsentrasi Formaldehida dengan Faktor Meteorologi

Ada beberapa faktor meteorologi yang ikut membantu dalam pembentukan formaldehida di udara ambien. Salah satu faktor tersebut adalah intensitas matahari. Pada **Gambar 5(a)** ditunjukkan bagaimana hubungan antara intensitas sinar matahari dengan rasio formaldehida dalam oksidan. Dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar intensitas sinar matahari, maka akan semakin besar pula rasio formaldehida di dalam oksidan.

Faktor meteorologi lainnya yang mempengaruhi pengukuran formaldehida adalah temperatur. Pada **Gambar 5(b)** dapat dilihat bagaimana hubungan temperatur terhadap rasio formaldehida dalam oksidan. Semakin tinggi temperatur udara, maka akan semakin tinggi pula nilai rasio dari konsentrasi formaldehida di dalam oksidan.



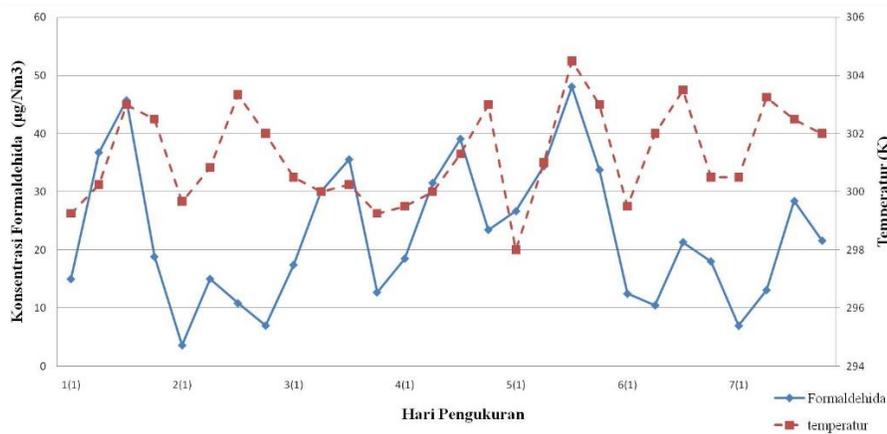
(a) Intensitas sinar matahari



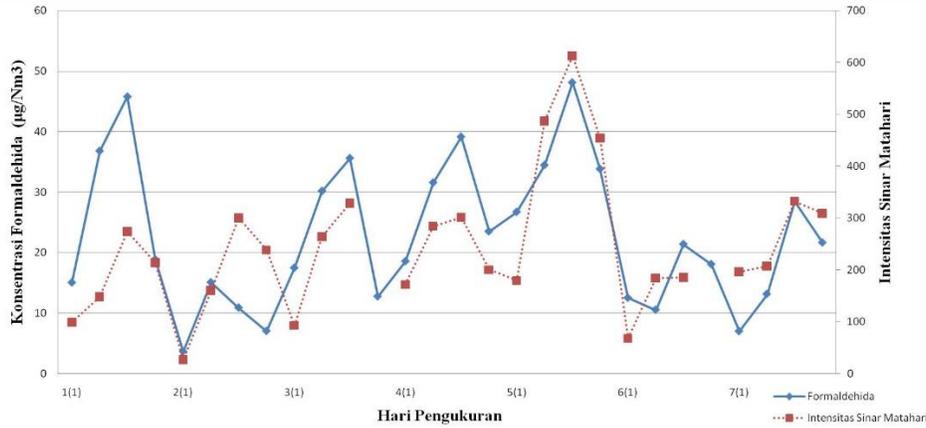
(b) temperatur

Gambar 5. Grafik rata-rata rasio formaldehida dalam oksidan

Gambar 5(a) dan **5(b)** menunjukkan bahwa secara umum ketika intensitas sinar matahari dan temperatur udara naik maka rasio dari formaldehida naik. Namun, hal ini tidak berarti konsentrasi formaldehida akan selalu naik. Hasil pengukuran konsentrasi gas formaldehida jika dibandingkan dengan kedua faktor meteorologi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 6**.



(a) temperatur



(b) intensitas sinar matahari
Gambar 6. Grafik konsentrasi formaldehida

Pada **Gambar 6** lebih diperlihatkan bagaimana fluktuasi dari konsentrasi formaldehida, intensitas sinar matahari, dan temperatur udara. Pada kenyataannya, konsentrasi formaldehida tidak selalu naik ketika intensitas sinar matahari dan temperatur naik akan tetapi menunjukkan bahwa memiliki kecenderungan untuk naik. Hal inilah yang menyebabkan rasio dari formaldehida didalam oksidan tidak selalu konstan setiap saat, karena pembentukan formaldehida sendiri, cukup dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari dan temperatur.

Pada **Tabel 2** dapat dilihat nilai *Pearson Correlation* antara konsentrasi formaldehida dan intensitas sinar matahari dan temperatur masing-masing sebesar 0,648 ($P = 0,000$) dan 0,2 ($P = 0,307$).

Tabel 2. Nilai korelasi rasio formaldehida, intensitas sinar matahari dan temperatur
Correlations

		Intensitas Sinar Matahari	Konsentrasi Formaldehida	Temperatur
Intensitas Sinar Matahari	Pearson Correlation	1	.648**	.534**
	Sig. (2-tailed)		.000	.005
	N	26	26	26
Konsentrasi Formaldehida	Pearson Correlation	.648**	1	.200
	Sig. (2-tailed)	.000		.307
	N	26	28	28
Temperatur	Pearson Correlation	.534**	.200	1
	Sig. (2-tailed)	.005	.307	
	N	26	28	28

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dengan nilai *Pearson Correlation* > 0,500 maka dapat disimpulkan bahwa korelasi antara konsentrasi formaldehida dengan konsentrasi oksidan dan temperatur memiliki hubungan yang kuat, sedangkan hal ini juga berarti bahwa korelasi antara temperatur dengan konsentrasi formaldehida memiliki hubungan yang lemah. Nilai *Pearson Correlation* yang semakin mendekati angka 1 mempunyai arti bahwa hubungan antara kedua variabel sangatlah kuat. Nilai *Pearson Correlation* tidak bernilai negatif, artinya hubungan antar parameter adalah hubungan berbanding lurus. Nilai signifikansi yang didapat masing-masing sebesar 0 yang berarti nilai *Pearson Correlation* signifikan. dan 0,307 yang berarti hasil yang didapatkan dari nilai *Pearson Correlation* tidak signifikan.

Intensitas sinar matahari memiliki nilai korelasi yang lebih besar dibanding dengan temperatur, berarti peningkatan konsentrasi formaldehida lebih terpengaruh oleh besarnya intensitas sinar matahari dibandingkan dengan temperatur. Hal ini disebabkan karena sinar matahari ikut berperan dalam pembentukan formaldehida secara fotolisis pada udara ambien. Dengan bantuan sinar matahari, zat prekursor formaldehida akan bereaksi untuk membentuk formaldehida. Salah satu prekursor dari formaldehida adalah gas metan. Dengan kondisi tempat sampling yang cukup ramai dilalui kendaraan, maka akan banyak sekali gas metan yang terbentuk. Dengan jumlah gas metan yang cukup banyak, maka gas formaldehida akan sangat mudah sekali terbentuk dengan bantuan sinar matahari, sehingga konsentrasinya akan cepat naik.

Dari **Tabel 2** dapat dilihat temperatur mempunyai hubungan yang tidak erat dengan konsentrasi formaldehida dibuktikan dengan dengan hasil *Pearson Correlation* yang hanya sebesar 0,200 ($p = 0,307$) dan hasil yang didapatkan tidak signifikan karena nilai p yang didapat lebih dari 0,01. Hal ini disebabkan karena temperatur merupakan fungsi dari berbagai faktor meteorologi seperti tutupan awan, kecepatan angin, dan intensitas matahari. Nilai *Pearson Correlation* yang didapatkan antara temperatur dan intensitas sebesar 0,534 ($p = 0,005$) semakin menguatkan bahwa temperatur dipengaruhi oleh faktor meteorologi yang lain.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan nilai *Pearson Correlation* antara konsentrasi formaldehida dengan konsentrasi oksidan, intensitas sinar matahari, dan temperatur masing- masing sebesar 0,678 ($p = 0,000$), 0,648 ($p = 0,000$), 0,200 ($p = 0,307$). Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya hubungan yang kuat antara konsentrasi formaldehida dengan konsentrasi oksidan dan intensitas sinar matahari, dan juga menunjukkan korelasi yang lemah antara konsentrasi formaldehida dengan temperatur. Nilai rata-rata rasio formaldehida dalam oksidan yang tertinggi didapat pada pukul 12.00 – 14. 00 dengan nilai sebesar sebesar 24,89%. Rasio yang lebih besar dari literatur, dapat disebabkan oleh terbentuknya formaldehida di udara ambien melalui proses fotokimia dengan bantuan sinar matahari dan gas prekursor dari formaldehida.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L. G., Lanning, J. A., Barrell, R., Miyagishima, J., Jones, R. H. & Wolfe, P. (1996). "Sources and sinks of formaldehyde and acetaldehyde: An analysis of Denver's ambient concentration data", *Atmos. Environ.* 30, 2113–2123.
- Anggara, Surya. (2014). Analisis Hubungan Ozon dan Oksidan di DKI Jakarta. Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITB.
- Duenas, C., Fernandez, C., Canete, S., Carr, J., Liger, E. (2002). Assessment of Ozone Variations and Meteorological Effects in an Urban Area in the Mediterranean Coast. *The Science of the Total Environment* 299. www.elsevier.com/locate/scitotenv. Diakses tanggal 23 April 2014.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1976). Investigation of selected potential environmental contaminants: Formaldehyde. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Toxic Substances. PB 256 839, EPA-560/2-76-009.
- Fishbein, L. (1992). Exposure from occupational versus other sources. *Scand J Work Environ Health* 18:5-16.
- Haagen-Smitt, A. J.. (1952). Chemistry and physiology of Los Angeles smog, *Ind. Eng. Chem* ..44, 1342-1349.
- Hewitt, C.N. & Andrea V. Jackson, (2003). *Handbook of Atmospheric Science: Principles and Applications*, Blackwell Publishing, Victoria.
- Jonathan, Sarwono. (2009). *Statistik Itu Mudah: Panduan Lengkap untuk Belajar Komputasi Statistik Menggunakan SPSS 16*, Penerbit Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Katz, Morris. (1977). *Methods of Air Sampling and Analysis*. APHA Intersociety Committee. Washington.