

PENGARUH PARAMETER METEOROLOGI DAN PREKURSOR OZON PADA MODEL NEURAL NETWORK KONSENTRASI OZON TROPOSFERIK (STUDI DI KOTA BANDUNG)

INFLUENCES OF METEOROLOGICAL PARAMETERS AND OZONE PRECURSORS TO NEURAL NETWORK MODEL IN OZONE TROPOSPHERIC CONCENTRATION (STUDY IN BANDUNG CITY)

Dyah Lukita Sari *) dan R. Driejana **)

*) Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jln. Angkasa I No. 2 Jakarta,
e-mail : dyahlukitasari@yahoo.com

**) Kelompok Penelitian Manajemen Udara dan Limbah,
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

ABSTRACT

As an air pollutant, the fate of ozone is determined by the movement and chemistry of atmospheric dynamics and the precursors of ozone are emitted from the source. In that case the effect of each of meteorological parameters and ozone precursors need to be known so that the ozone concentration can be predicted. In this research the concentration of ozone precursors (NO and NO₂), temperature, solar global radiation, humidity, and wind speed as meteorology parameters were used as input in artificial neural network program to obtain model which can predict concentration of tropospheric ozone in Bandung city. The relation between ozone precursors concentration and meteorological parameters to ozone concentration was indicated by the correlation value. Positive correlation values, the increase in ozone concentration, was influenced by variables of temperature and solar radiation. A negative correlation value, the decline in ozone concentration, is affected by humidity variables. Modelling results indicate that the use of temperature and concentrations NO₂ as data input appeared to be a dominant contributors rather than the other input parameters.

Keywords: Air Quality, Artificial Neural Network, Tropospheric Ozone

ABSTRAK

Sebagai pencemar udara, nasib ozon ditentukan oleh faktor pergerakan dan dinamika serta kimia atmosferik setelah prekursor ozon diemisikan dari sumbernya. Untuk itu pengaruh masing-masing parameter meteorologi dan prekursor ozon perlu diketahui sehingga konsentrasi ozon troposferik dapat diprediksi. Dalam penelitian ini dipergunakan data pengamatan konsentrasi prekursor ozon, yaitu NO dan NO₂, dan data pengamatan parameter meteorologi yaitu temperatur, radiasi matahari, kelembaban dan kecepatan angin sebagai input pada metode artificial neural network sehingga diperoleh output yang dapat memodelkan dan memprediksi konsentrasi ozon troposferik di Kota Bandung. Keterkaitan konsentrasi prekursor dan parameter meteorologi terhadap konsentrasi ozon ditunjukkan dengan nilai korelasi. Nilai korelasi positif, peningkatan konsentrasi ozon, dipengaruhi oleh variabel temperatur dan radiasi matahari. Nilai korelasi negatif, penurunan konsentrasi ozon, dipengaruhi oleh variabel kelembaban. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa penggunaan data temperatur dan konsentrasi NO₂ sebagai input memberi kontribusi lebih dominan dibanding parameter input lainnya.

Kata Kunci: Kualitas udara, Artificial Neural network, Ozon troposferik

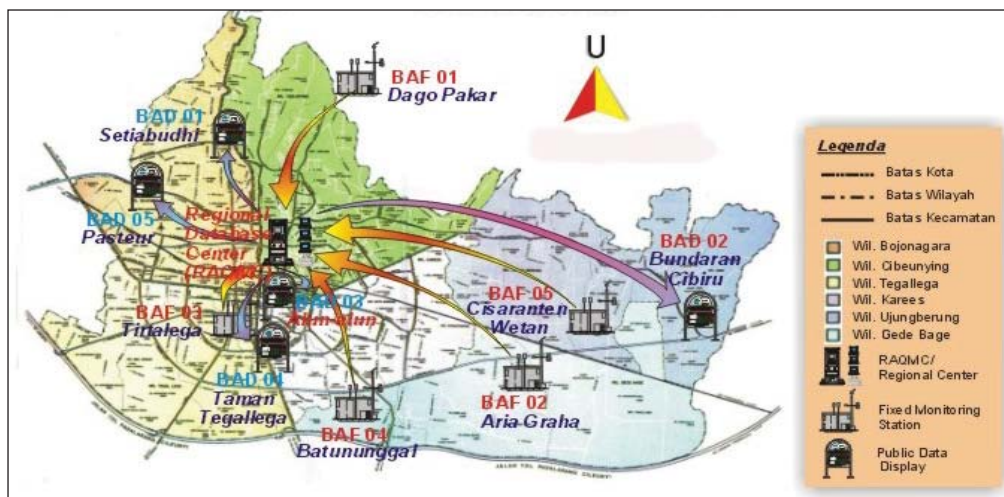
PENDAHULUAN

Pola konsentrasi ozon dapat menggambarkan kondisi umum suatu wilayah yang dipresentasikannya. Biasanya keteraturan pola konsentrasi ozon akan dipengaruhi oleh perubahan intensitas radiasi matahari siang dan malam, di mana mekanisme fotokimianya terkait dimensi ruang dan waktu untuk pembentukan dan perusakan ozon, temperatur serta sudut zenith matahari¹ sehingga akan membentuk pola yang berulang dengan siklus harian.

Secara alamiah ozon terutama terbentuk dari hasil proses fotodisosiasi, di mana matahari mempunyai peranan yang sangat penting dalam proses ini. Aksi radiasi ultraviolet pada molekul oksigen (O_2) mengakibatkan disosiasi menjadi radikal oksigen, yang kemudian bereaksi

kembali dengan oksigen dan membentuk ozon (O_3).² Ozon sebagai pencemar ditemukan di atmosfer bawah atau troposfer. Energi radiasi ultraviolet di permukaan bumi ini tidak cukup kuat untuk mendisosiasi oksigen, tetapi cukup kuat untuk mendisosiasi NO_2 , membentuk NO dan radikal oksigen. Selanjutnya reaksi antara radikal oksigen dengan oksigen akan membentuk ozon di troposfer. Lebih jauh, ada prekursor ozon, yaitu gas-gas yang mengakibatkan terbentuknya ozon lain seperti metana (CH_4) sebagai salah satu contoh Volatile organic compound, nitrogen oksida (NO) dan karbon monoksida (CO) hasil pembakaran yang akan menambah oksidasi nitrit oksida yang membentuk NO_2 yang pada akhirnya akan meningkatkan konsentrasi ozon di udara.

Reaksi ozon yang sangat kuat dengan molekul lain membuat ozon dengan konsentrasi



(Sumber: BPLH Kota Bandung)

Gambar 1. Peta lokasi *Regional Centre*, *Fixed Monitoring Station*, *Public Data Display* Kota Bandung

Tabel 1. Uji Multikolinieritas Ozon dengan parameter prediktor (dalam toleransi)

Parameter	Kolinieritas statistik seluruh data	Kolinieritas statistik musim penghujan	Kolinieritas statistik musim peralihan	Kolinieritas statistik musim kemarau
NO_2	0,807	0,884	0,729	0,723
NO	0,847	0,946	0,684	0,735
Radiasi	0,395	0,350	0,365	0,426
Kec.Angin	0,495	0,489	0,432	0,486
Temperatur	0,209	0,137	0,090	0,370
Kelembaban	0,205	0,148	0,095	0,253

* Parameter tak bebas: O_3

** toleransi = $1 - R^2$

tinggi berbahaya bagi kehidupan. Beberapa studi menyatakan adanya efek berbahaya dari ozon terhadap produksi panen, pertumbuhan, hutan, dan kesehatan manusia. Sebagai salah satu polutan yang berakibat buruk bagi kesehatan, ozon dalam pajanan jangka pendek/akut dapat menyebabkan peradangan pada paru dan mengganggu fungsi pertahanan paru dan kardiovaskular. Pajanan jangka panjang dapat menyebabkan terjadinya asma dan fibrosis paru.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi ozon troposferik adalah menggunakan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN). Model ini dipilih karena memiliki kemampuan untuk mempelajari pola informasi dari sumber yang multidimensi dan ANN secara umum memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode statistik linier. Terutama dalam menganalisis perilaku non linier,³ di mana dalam hal ini konsentrasi ozon troposferik di udara ambien dipengaruhi oleh keberadaan prekursor ozon dan parameter meteorologi.⁴

Sousa⁵ di Portugal memprediksi konsentrasi ozon troposferik menggunakan model ANN dengan input temperatur, kelembaban, kecepatan angin, konsentrasi NO, dan NO₂ untuk memprediksi konsentrasi O₃. Data NO dianggap tidak valid sehingga dikeluarkan dari model. Diperoleh koefisien korelasi model ANN adalah 0,78 dan koefisien korelasi model regresi adalah 0,70. Model ANN memberi hasil lebih optimum karena dapat mengeliminasi terjadinya kolinieritas. Meskipun rata-rata *error bias positif* (2,68) nilai prediksi *under-estimated* untuk konsentrasi ozon tinggi dan *over-estimate* untuk konsentrasi ozon rendah.

Kajian dalam penulisan ini akan membahas tentang pengaruh parameter meteorologi (temperatur, radiasi matahari, kelembaban dan kecepatan angin) serta prekursor ozon (NO dan NO₂) pada penggunaan model ANN untuk memprediksi konsentrasi ozon troposferik di Kota Bandung yang memiliki kondisi iklim yang dapat diklasifikasikan dalam musim penghujan, musim kemarau, dan musim peralihan.

METODOLOGI

Pengambilan data dilaksanakan oleh sampling ambien secara kontinu dengan peralatan *fixed*

monitoring station, unit stasiun pemantau yang posisinya tetap dan merupakan bagian dari *Air Quality Monitoring System* (AQMS) yang dioperasikan oleh Badan Pengendalian Lingkungan Hidup (BPLH) Kota Bandung.

Data AQMS yang tersedia akan dipergunakan data monitoring kualitas udara pada BAF 3 Tirtalega tahun 2001 (Gambar 1), yang meliputi pengukuran parameter ozon, NO, NO₂, dalam µg/m³ serta parameter meteorologi (radiasi matahari dalam W/m², temperatur dalam °C, kelembaban relatif dalam %, dan kecepatan angin dalam m/dt) yang tercatat dalam interval waktu setiap 30 menit untuk diolah lebih lanjut.

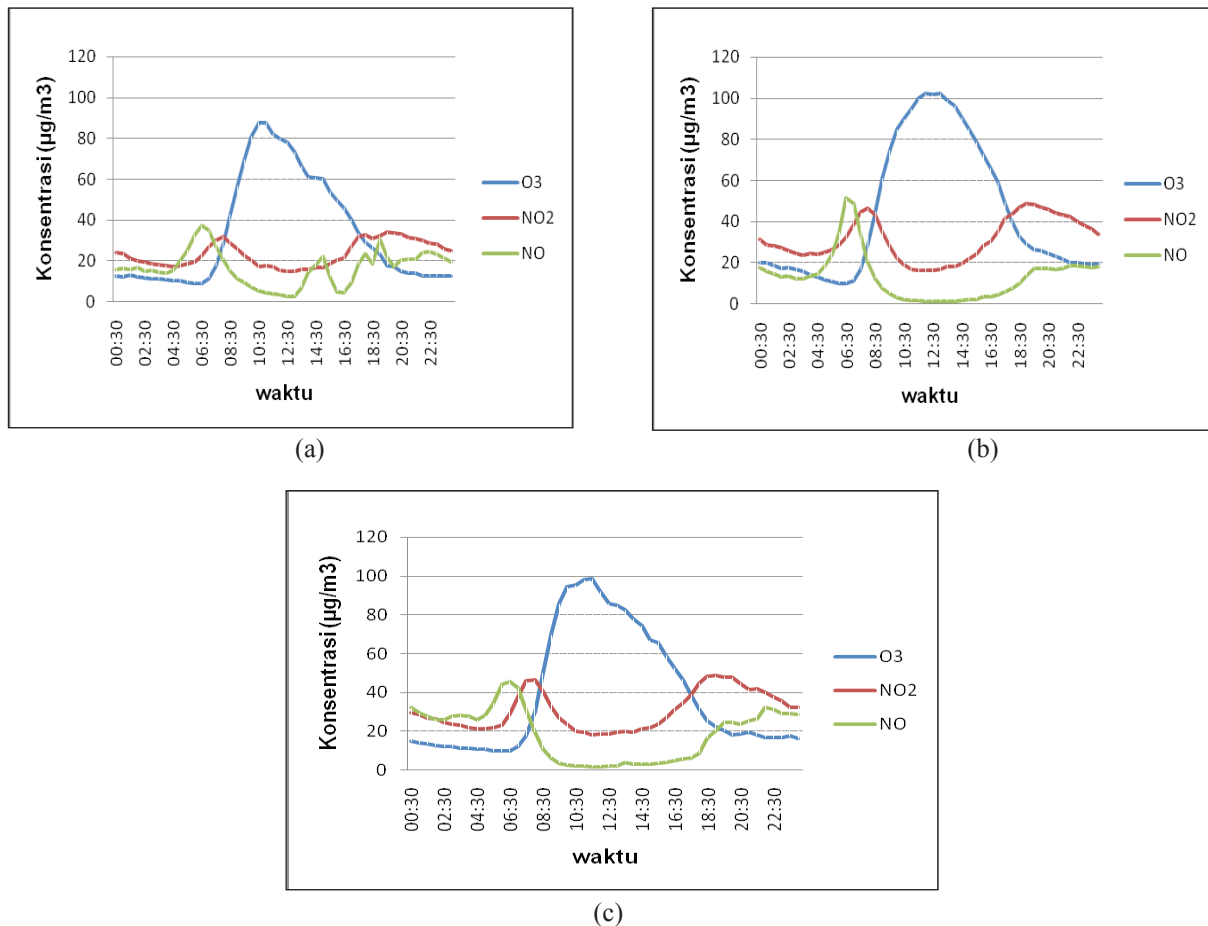
Melalui proses inventarisasi, keseluruhan data yang tersedia dapat diolah dan dijadikan *input* dalam pemodelan berjumlah 12240 (69,8% dari total data lengkap selama periode satu tahun) dan terbagi atas 7200 data musim kemarau, yang tercatat antara bulan Mei hingga September, 2976 data musim hujan, antara bulan November hingga Maret, dan 2064 data musim peralihan, yaitu pada bulan April dan Oktober.

Metode Analisis Data

Untuk menentukan parameter yang paling berpengaruh pada konsentrasi ozon troposferik dilakukan 5 (lima) pengujian menggunakan kombinasi *input* yang berbeda, didasarkan pada nilai korelasi. Pemilihan kombinasi parameter berpedoman pada Tabel 1.

Urutan parameter mulai dari yang memiliki korelasi terbesar dengan konsentrasi ozon adalah kelembaban, temperatur, radiasi, kecepatan angin, NO₂ dan NO. Nilai toleransi yang lebih besar dari 0,10 mengindikasikan bahwa secara umum dalam model tidak terdapat *multicollinearity*, kecuali pada parameter temperatur dan kelembaban musim peralihan.

Pengaruh parameter meteorologi dan prekursor ozon akan ditinjau dari pemodelan konsentrasi ozon troposferik menggunakan model ANN yang merupakan suatu *tool* pemodelan data yang mampu menangkap dan merepresentasikan hubungan *input/output* yang kompleks. Dalam penelitian ini dipakai algoritma *back propagation* menggunakan pemrograman MatLab.



Gambar 2. Grafik konsentrasi rata-rata O_3 , NO_2 dan NO BAF 3 tahun 2001. a) musim penghujan, b) musim kemarau c) musim peralihan

Skema umum dari ANN terdiri atas 3 *layer* di mana dari unit *input layer* dihubungkan unit pada *hidden layer*, dan unit pada *hidden layer* terhubung dengan unit pada *hidden layer* berikutnya (untuk *hidden layer* lebih dari satu, *multilayer*) maupun terhubung ke unit pada *layer output*. Pada algoritma ini data *input* secara berulang-ulang ditampilkan pada artificial neural network. Untuk setiap kemunculan, *output* dari artificial neural network dibandingkan ke *output* lain yang diinginkan dan *error* pun dihitung. *Error* ini kemudian diberikan kembali dan digunakan untuk mengatur bobot ketika *error* mengalami penurunan pada setiap iterasi dan model artificial neural network semakin mendekati untuk menghasilkan *output* yang diinginkan. Proses ini dinamakan “*training*” atau pelatihan.⁶

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menyusun set pelatihan yaitu pemberian urutan pola yang akan diajarkan, kriteria perhitungan

error, kriteria proses belajar, jumlah iterasi yang harus dilalui, inisialisasi bobot dan parameter awal.

Parameter meteorologi (temperatur, kelembaban, radiasi matahari, dan kecepatan angin), dan konsentrasi prekursor (NO dan NO_2) merupakan *input* model untuk mendapat *output* berupa konsentrasi ozon. Seluruh data untuk *input* model dinormalkan dalam selang $\{-1,0-1,0\}$. Hal ini dilakukan dengan menggunakan nilai minimum dan maksimum dari tiap parameter selama periode data tahun 2001.

Dalam penelitian ini dipakai satu lapisan tersembunyi saja dengan jumlah neuron 5 hingga 8 unit. Fungsi aktivasi yang digunakan yaitu fungsi transfer tangen sigmoid. *Learning rate* yang biasa dipakai yaitu 0,1–0,5. Target *error* yang dipakai adalah *error* terkecil, dengan jumlah iterasi sebanyak 150. Pengujian model neural network pada penelitian ini dicobakan pada 15

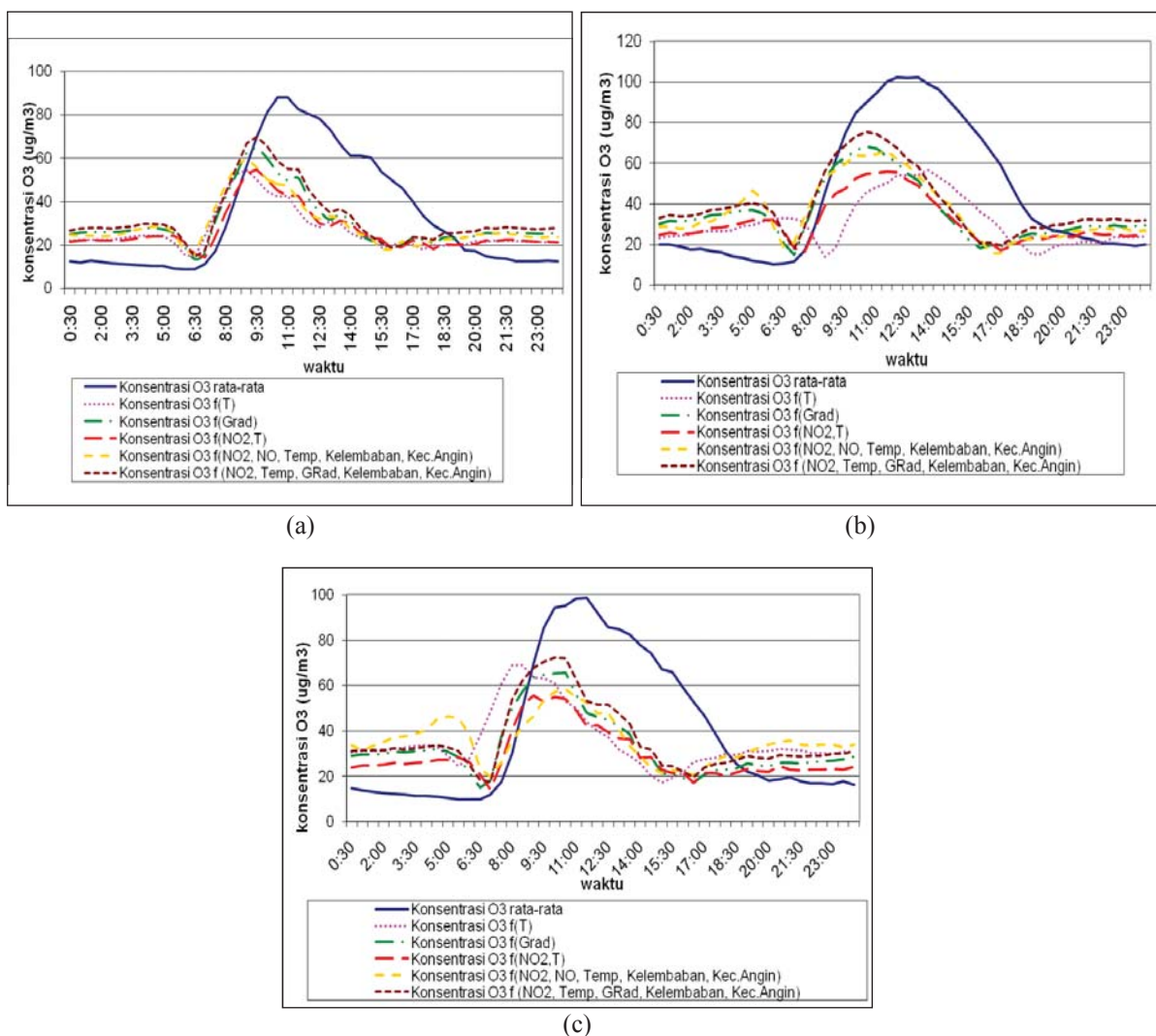
data set, yaitu 5 kali pengujian menggunakan kombinasi parameter yang berbeda untuk masing-masing musim kemarau, musim peralihan, dan musim penghujan. Tiap data set dibagi atas dua bagian, 80% data dijadikan sebagai data training dan 20% sisanya dipergunakan sebagai prediksi. Modifikasi tiap parameter yang dipakai sebagai *input* model yaitu parameter prekursor ozon maupun parameter meteorologi yang memberi petunjuk besarnya pengaruh tiap-tiap parameter tersebut terhadap konsentrasi ozon troposferik.

Untuk membuktikan kebenaran pemodelan digunakan indikator statistik berupa RMSE (*error* akar kuadrat rata-rata), MBE (rata-rata *error* bias) dan R (koefisien korelasi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 2 ditampilkan pola konsentrasi rata-rata O_3 , NO_2 dan NO musim penghujan (gambar 2.a), musim kemarau (gambar 2.b) dan musim peralihan (gambar 2.c) tahun 2001 di BAF 3 menurut hasil pengamatan AQMS.

Nilai rata-rata konsentrasi ozon adalah $40,98 \mu g/m^3$. Konsentrasi minimum adalah $1,50 \mu g/m^3$, maksimum $298,74 \mu g/m^3$. Keadaan ini 27% lebih tinggi dibandingkan standar kualitas udara ambien di mana konsentrasi maksimal adalah 0,12 ppm per jam ($235 \mu g/m^3$). Untuk parameter konsentrasi NO_2 , nilai minimum adalah nol, maksimum $170,74 \mu g/m^3$, rata-rata $29,3 \mu g/m^3$. Konsentrasi NO_2 maksimum hasil pengamatan sekitar 70% lebih tinggi dibanding baku mutu yang berlaku ($100 \mu g/m^3$). Konsentrasi NO



Gambar 3. Konsentrasi ozon rata-rata hasil pemodelan: a) musim penghujan; b) musim kemarau; c) musim peralihan

minimum adalah nol, maksimum 1047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rata-rata 15,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Untuk parameter kecepatan angin minimum adalah nol dan maksimum 6,35 m/dt, dengan kecepatan rata-rata 1,21 m/dt. Temperatur minimum tercatat 13,74 °C, dan maksimum 32,16 °C, dengan rata-rata 23,67 °C. Kelembaban minimum adalah 26,64%, nilai maksimum adalah 100%, dan rata-ratanya adalah 81%. Radiasi matahari mempunyai nilai minimum nol, dan maksimum 965,29 W/m² dengan rata-rata 162,23 W/m².

Profil konsentrasi ozon pada suatu wilayah memiliki pola yang khas dan berbeda dengan lokasi lainnya. Ini dapat disebabkan oleh pengaruh intensitas radiasi yang diterima oleh daerah tersebut. Semakin besar intensitas radiasi yang diterima, semakin banyak ozon yang dapat dihasilkan. Selain intensitasnya, sudut datang sinar matahari juga berpengaruh pada konsentrasi ozon di mana besarnya sudut zenith matahari membuat waktu paruh NO₂ sebagai prekursor ozon menjadi semakin panjang. Hal ini menjelaskan mengapa pada waktu siang hari, sudut zenith mendekati nol, waktu paruh NO₂ mencapai nilai terendah, reaksi fotolitik berlangsung paling cepat dibanding waktu lain sepanjang hari sehingga menghasilkan ozon dalam jumlah yang banyak. Sebaliknya pada pagi dan sore hari, sudut zenith

mencapai titik tertinggi, terjadi peningkatan konsentrasi NO₂ dan penurunan konsentrasi ozon. Pengaruh radiasi matahari juga terlihat jelas pada perubahan musim di mana saat intensitas matahari sangat tinggi, konsentrasi ozon juga sangat tinggi dan pada musim penghujan dengan intensitas radiasi matahari yang relatif rendah, konsentrasi ozon juga lebih rendah (gambar 2). Waktu dimulainya peningkatan konsentrasi ozon terjadi pada saat yang hampir sama pada musim penghujan, peralihan dan kemarau, yaitu sesaat setelah terjadi peningkatan konsentrasi NO dari ruang pembakaran kendaraan bermotor yang diemisikan dan berubah menjadi NO₂ serta mengalami proses fotokimia dengan munculnya sinar matahari. Kejadian puncak konsentrasi ozon, yaitu pada saat konsentrasi maksimum, merupakan saat yang terjadi tepat sebelum adanya reaksi yang menimbulkan penurunan konsentrasi ozon karena tahap penguraian lebih cepat daripada tahap pembentukan ozon. Puncak konsentrasi ozon musim penghujan terjadi lebih cepat (pukul 11.00) dari puncak konsentrasi ozon musim kemarau (pukul 12.00).

Terdapat perbedaan lamanya waktu antara dimulainya peningkatan konsentrasi ozon hingga tercapai konsentrasi puncak. Durasi ini dipengaruhi oleh tingkat radiasi matahari, keberadaan dan

Tabel 2. Parameter statistika hasil pengujian model pada periode jam 06.30–18.00

	Periode	RMSE (%)	MBE (%)	R
Uji 1 : f (Temp)	Musim penghujan	31,902	-16,609	0,378
	Musim peralihan	39,792	-22,587	-0,034
	Musim kemarau	37,934	-31,229	0,767
Uji 2 : f (GRad)	Musim penghujan	27,143	-19,370	0,592
	Musim peralihan	33,723	-25,028	0,579
	Musim kemarau	37,642	-28,384	0,561
Uji 3 : f (NO ₂ ,Temp)	Musim penghujan	29,684	-23,246	0,632
	Musim peralihan	36,281	-29,130	0,643
	Musim kemarau	39,721	-33,062	0,699
Uji 4 : f (NO ₂ , NO, Temp, Kelembaban, Kec.Angin)	Musim penghujan	30,092	-20,575	0,399
	Musim peralihan	34,317	-27,365	0,701
	Musim kemarau	36,076	-26,976	0,594
Uji 5 : f (NO ₂ , Temp, GRad, Kelembaban, Kec.Angin)	Musim penghujan	25,058	-16,609	0,613
	Musim peralihan	30,217	-21,078	0,625
	Musim kemarau	34,026	-23,829	0,587

konsentrasi prekursor serta faktor meteorologi yang memengaruhi konsentrasi ozon. Dengan tingginya intensitas matahari yang diperoleh pada musim kemarau maka durasi puncak juga semakin lama karena reaksi pembentukan ozon dapat terus terjadi selama O_3 belum bereaksi kembali dengan NO dan membentuk NO_2 dalam tahap penguraian. Kondisi ini ditunjukkan dengan bentuk pola konsentrasi ozon yang mendekati pola grafik intensitas radiasi matahari. Sebaliknya pada musim penghujan, intensitas matahari cenderung lebih kecil sehingga durasi puncak menjadi lebih pendek dan kemungkinan terjadi deposisi yang memperkecil konsentrasi prekursor sehingga ozon yang terbentuk juga lebih rendah.

Konsentrasi ozon rata-rata hasil pemodelan ANN pada musim penghujan, musim kemarau dan musim peralihan menggunakan lima kombinasi *input* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Level konsentrasi ozon yang tinggi terjadi pada kondisi siang hari saat kondisi radiasi matahari tinggi, terutama pada musim kemarau dan level konsentrasi ozon rendah yang terjadi pada malam hari. Nilai prediksi yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai pengamatan diistilahkan sebagai *under-estimation* dan nilai prediksi yang lebih tinggi dari nilai pengamatan disebut *over-estimation*. *Over-estimation* lebih sering terjadi pada selang waktu dengan intensitas radiasi matahari rendah. Parameter yang penting pada *over-estimation* yaitu kecepatan angin. Pada kecepatan angin yang tinggi terjadi turbulen di atmosfer dan level ketinggian pencampuran (*mixing height*) naik. Kondisi ini mengakibatkan massa udara dari troposfer atas mengencerkan (memperkecil) konsentrasi ozon. Situasi yang berbeda pada hari di mana konsentrasi ozon berprediksi *under-estimated* dikarenakan terjadi pada emisi prekursor yang lebih tinggi yang merujuk pada tingginya volume lalu lintas.

Dari hasil pengujian menggunakan lima jenis kombinasi *input* yang dilakukan pada musim penghujan, peralihan dan musim kemarau diperoleh kecenderungan bahwa uji-3 yaitu menggunakan parameter temperatur dan konsentrasi NO_2 sebagai *input* model memberikan performa yang lebih baik dan konsisten dibanding pengujian lain (Tabel 2).

Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun konsentrasi ozon dipengaruhi langsung oleh intensitas radiasi matahari (uji-2), tetapi polanya juga dapat didekati dengan nilai temperatur yang pada dasarnya merefleksikan tingkat radiasi. Merujuk uji-1 yang hanya menggunakan parameter temperatur sebagai *input* model dan menghasilkan performa yang kurang baik maka dianggap perlu dipergunakan parameter lain, yaitu konsentrasi NO_2 . Adapun pengujian menggunakan parameter *input* yang lebih banyak (uji-4 dan uji-5) tidak selalu menghasilkan performa yang lebih baik dikarenakan adanya parameter kelembaban yang memiliki pola berbalikan dengan radiasi matahari dan temperatur.

Adanya perbedaan nilai hasil pemodelan dengan data pengamatan mungkin disebabkan karena hal yang tidak diperhitungkan dalam pemodelan seperti prekursor ozon lain (misal hidrokarbon, *Volatile organic compound*) yang memiliki peran cukup besar dalam pembentukan ozon. Pada pagi hari di mana intensitas radiasi matahari belum cukup tinggi, penyebab tingginya tingkat perubahan konsentrasi ozon adalah adanya prekursor yang dapat bereaksi dengan baik tanpa energi yang tinggi seperti VOC sehingga pembentukan ozon pada pagi hari lebih dipengaruhi oleh VOC daripada NO_2 . Pada siang hari, setelah konsentrasi NO_2 terbentuk dan intensitas radiasi meningkat, pembentukan konsentrasi ozon lebih dipengaruhi oleh reaksi fotokimia NO_2 . Dalam hal ini ketiadaan data pengamatan hidrokarbon sebagai *input* dalam pemodelan mungkin mengakibatkan puncak konsentrasi ozon hasil prediksi terjadi lebih cepat, di mana *training* model hanya mempelajari pola konsentrasi NO_2 yang sebenarnya terjadi pada saat intensitas matahari lebih tinggi.

Pada sore hari, terjadi penurunan konsentrasi yang disebabkan antara lain karena peningkatan konsentrasi prekursor. Pada malam hari, dengan ketiadaan sinar matahari maka reaksi yang terjadi di atmosfer bukan reaksi fotokimia. Konsentrasi ozon yang terukur merupakan hasil reaksi oksidasi, yang nilainya dipengaruhi oleh tingkat emisi prekursor. Prekursor yang berperan penting pada malam hari misalnya unsur NO_3 dan N_2O_5 yang mengubah NO_x menjadi NO_y yang kurang reaktif meskipun unsur tersebut

hanya terdapat dalam konsentrasi yang kecil. Kenyataannya tidak ada data lengkap mengenai komponen NO_y sehingga sangat sulit untuk memodelkan konsentrasi ozon dengan tepat dan pemodelan konsentrasi ozon terutama pada level rendah akan berbeda dari nilai pengamatan. Hal ini menyebabkan nilai prediksi pada selang pengamatan pagi dan malam juga tidak dapat mencapai nilai minimum.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diketahui bahwa konsentrasi ozon di Kota Bandung memiliki pola siklus harian sesuai reaksi fotokimia yang terjadi. Adanya perbedaan konsentrasi ozon dipengaruhi oleh kehadiran zat prekursor ozon yang diemisikan dari sumber dan pengaruh parameter meteorologi yang keterkaitannya ditunjukkan dengan nilai korelasi. Nilai korelasi positif terjadi pada periode pembentukan ozon dan korelasi negatif terjadi pada periode penguraian ozon. Nilai korelasi positif, peningkatan konsentrasi ozon, dipengaruhi oleh parameter temperatur dan radiasi matahari. Nilai korelasi negatif, penurunan konsentrasi ozon, dipengaruhi oleh parameter kelembaban. Hasil pemodelan ANN memberikan pola yang baik dengan parameter dominan konsentrasi NO_2 dan temperatur karena memiliki korelasi terbesar

terhadap data pengamatan. Agar *output* model dapat mendekati kondisi sebenarnya perlu diketahui pula data parameter lain yang berpengaruh signifikan terhadap pembentukan ozon sebagai *input*.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Hidayati, R., Budiyono, A., Nugraha, S.A., dan Mulyono, 2008. Model Fotokimia untuk Simulasi Ozon Permukaan, *Jurnal LAPAN* 4(3) : 57–62.
- ²Pitts, J.F., dkk, 1986. *Atmospheric Chemistry: Fundamentals & Experimental Techniques*, John Wiley & Sons, New York.
- ³Gardner, M.W., dan Dorling, S.R., 2000. Statistical surface ozone models: an improved methodology to account for non-linear behaviour, *Atmospheric Environment*, 34, 21–34.
- ⁴Argiriou, A.A., 2007. Use of neural networks for tropospheric ozone time series approximation and forecasting – a review, *Atmosfer, Chemical, and Physics Discuss.*, 7, 5739–5767.
- ⁵Sousa, S.I.V., Martins F.G., Alvim-Ferraz, M.C.M., Pereira, M.C., 2006. Multiple Linear Regression and Artificial Neural Network Based on Principal Components to Predict Ozone Concentrations, *Environmental Modelling & Software*, Elsevier Ltd. xx: 1–7.
- ⁶Pandjaitan, L.W., 2007. *Dasar-Dasar Komputasi Cerdas*, Penerbit Andi, Yogyakarta.