

PEMANFAATAN KARAKTER CUACA UNTUK PENGELOLAAN LINGKUNGAN UDARA DARI INDUSTRI

Sumaryati

e-mail: sumary.bdg@gmail.com

Ringkasan

Industri merupakan salah satu penyumbang polusi udara yang besar, maka pengelolaan polusi udara dari industri penting untuk dilakukan. Pengelolaan polusi udara dari industri yang utama dilakukan dengan memperkecil beban emisi sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999. Emisi dari industri menyebar ke udara ambien dampaknya dapat diminimalisasi dengan memanfaatkan karakter cuaca polusi udara yang meliputi angin dan kestabilan atmosfer. Berdasarkan karakter angin dan kestabilan atmosfer pada suatu daerah, dampak polusi udara dapat dikurangi dengan cara menentukan lokasi industri, pengaturan waktu pelepasan polutan, dan penentuan tinggi cerobong.

PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan kondisi atmosfer di mana suatu substansi pencemar konsentrasinya melebihi level konsentrasi udara ambien normal yang dampaknya dapat diukur. Polusi udara berdampak pada kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, material serta terganggunya ekosistem dan iklim^{1,2}. Substansi pencemar dapat berasal dari sumber alami atau biogenik maupun dari aktivitas manusia atau antropogenik. Polutan udara yang dapat dikelola hanyalah polusi udara yang berasal dari sumber antropogenik. Oleh karena itu, sumber polutan dalam pengelolaan polusi udara hanya polutan yang dihasilkan dari sumber antropogenik³.

Tujuan pengelolaan kualitas udara menurut WHO adalah memperbaiki kualitas udara untuk melindungi kesehatan dan kesejahteraan manusia⁴. Sedangkan di Indonesia tujuan dari pengelolaan polusi udara adalah mencegah turunnya mutu udara ambien³. Penurunan mutu kualitas udara ambien terjadi jika konsentrasi zat pencemar di udara ambien meningkat. Peningkatan konsentrasi zat pencemar pada suatu lokasi terjadi jika terdapat sumber emisi polutan yang tinggi yang menyebar ke daerah tersebut. Oleh karena itu dalam PP No. 41 Tahun 1999 disebutkan pengelolaan kualitas udara dilakukan dengan menekan sumber emisinya³.

Salah satu sumber polutan udara yang penting berasal dari kegiatan industri. Jumlah titik sumber emisi industri relatif sedikit, tetapi

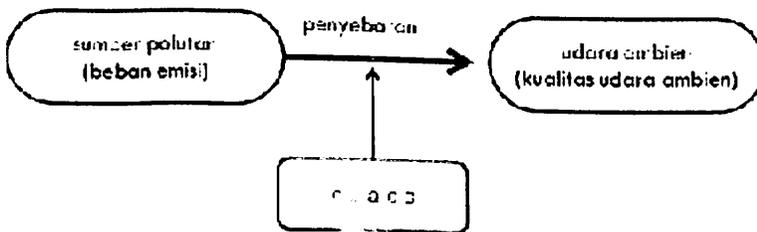
beban emisi setiap titik sumbernya relatif sangat besar. Maka keberhasilan pengelolaan satu sumber polutan dari industri akan cukup penting dalam menjaga kualitas udara.

Konsentrasi polutan udara ambien, selain dipengaruhi oleh besarnya emisi dari suatu sumber polutan juga dipengaruhi bagaimana bentuk penyebaran polutan dari sumber tersebut. Pola penyebaran polutan dari sumbernya sampai ke udara ambien dipengaruhi oleh kondisi cuaca polusi udara. Pemanfaatan kondisi karakter cuaca polusi udara untuk memperoleh pola penyebaran polusi udara yang aman dapat diterapkan untuk membantu pengelolaan polusi udara yang utama yaitu pembatasan pada pengurangan emisi dari sumbernya⁵.

Tulisan ini akan membahas pemanfaatan kondisi parameter cuaca polusi udara yang dapat membantu pengelolaan polusi udara dari industri setelah langkah utama dilakukan, yaitu pengurangan beban emisi. Yang dimaksud dengan parameter cuaca polusi udara di sini adalah parameter cuaca yang berpengaruh kuat terhadap penyebaran polusi udara, yaitu angin dan kestabilan atmosfer.

PEMANFAATAN KARAKTER CUACA DALAM PENGELOLAAN KUALITAS UDARA

Antara sumber polutan dan kualitas udara ambien tidak dapat dipisahkan (Gambar 1). Kualitas udara ambien suatu lokasi ditentukan oleh besarnya emisi polutan yang menyebar sampai ke lokasi tersebut. Besarnya emisi polutan untuk menjaga kualitas udara ini dapat ditekan secara teknis dengan pemilihan bahan bakar, bahan baku, dan penggunaan teknologi ramah lingkungan. Emisi yang diizinkan dilepas dari suatu sumber dibatasi dengan nilai baku mutu emisi yang untuk setiap sumber telah diatur Permen LH No. 4 tahun 2014⁶.



Gambar 1. Hubungan antara sumber emisi, kualitas udara ambien dan cuaca terkait polusi udara

Pemanfaatan kondisi karakter cuaca polusi udara, yaitu angin dan kestabilan atmosfer, bertujuan untuk mendapatkan pola sebaran polutan

yang aman dan memberikan dampak minimum bagi lingkungan. Kondisi itu dapat diperoleh jika pola sebaran polutan dari industri menghasilkan konsentrasi pada udara ambien rendah dan menyebar di daerah yang mempunyai resistensi tinggi terhadap polutan, yaitu suatu daerah yang memiliki dampak relatif kecil jika terkena paparan polutan.

Angin

Angin berpengaruh kuat terhadap penyebaran polusi udara. Parameter angin terdiri dari arah dan kecepatan. Arah angin menentukan ke mana polutan bergerak dan kecepatan angin menentukan kecepatan gerak polutan di udara. Kecepatan angin yang tinggi menyebabkan transport polutan di udara ambien lebih jauh, dan sebaliknya⁷. Jika kecepatan angin di sekitar industri rendah, maka polutan tetap terkumpul sekitar sumber industri⁸ yang membahayakan pekerja dan masyarakat yang tinggal di pemukiman sekitarnya.

Analisa angin untuk keperluan pengelolaan polusi udara dapat dilakukan dengan penggambaran dalam bentuk *wind rose*. *Wind rose* ini menggambarkan distribusi frekuensi antara arah dan kecepatan angin pada suatu lokasi. *Wind rose* dapat memberikan gambaran ke arah mana polutan bergerak dari sumbernya.

Pemahaman karakter angin yang baik pada suatu lokasi dapat membantu penataan tata ruang terkait dengan pengelolaan kualitas udara. Tata ruang tersebut meliputi lokasi yang tepat untuk menempatkan kawasan industri dan daerah pemukiman. Penataan tata ruang yang tepat untuk kawasan industri dengan berdasarkan karakter angin dapat membantu mengurangi dampak dari polusi udara yang dihasilkan.

Kestabilan Atmosfer

Kestabilan atmosfer mempengaruhi mudah tidaknya polutan bercampur dengan udara sekitarnya. Makin tidak stabil polutan dari suatu sumber akan lebih mudah tercampur dengan udara lingkungannya. Kondisi udara yang tidak stabil ini menguntungkan dari segi kualitas udara, karena percampuran polutan dengan udara cepat homogen dan konsentrasi polutan di dalam udara ambien menjadi rendah walaupun polutan menjadi tersebar dalam ruang yang lebih besar.

Kondisi kestabilan atmosfer dalam kaitannya dengan penyebaran polusi udara dinyatakan dengan kriteria Pasquill dan gradien temperatur.

Kestabilan atmosfer kriteria Pasquill

Klasifikasi kestabilan ini berdasarkan pada insolasi matahari,

penutupan awan dan kecepatan angin. Insolasi matahari adalah besarnya energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi. Kestabilan dibagi 6 kelas dengan label A sampai F, dengan A paling tidak stabil dan F paling stabil, klasifikasinya dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 berikut.

Tabel 1. Enam kondisi kestabilan atmosfer

U (m/s)	Siang hari cerah dengan insolasi matahari			Malam hari dengan fraksi penutupan awan	
	kuat	sedang	lemah	Berawan ($\geq 4/8$)	Cerah ($\leq 3/8$)
<2	A	A - B	B	E	F
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Sumber: <http://courses.washington.edu/cee490/PlumeD4.pdf>⁹

Menurut kriteria Pasquill, ada perbedaan parameter kestabilan pada siang dan malam hari. Pada malam hari tidak ada insolasi, maka kriterianya hanya menggunakan parameter penutupan awan dan angin. Pada siang hari ada insolasi matahari, sehingga kondisi penutupan awan terwakili oleh insolasi matahari. Insolasi matahari yang tinggi menunjukkan penutupan awan rendah, dan sebaliknya. Kategori insolasi radiasi matahari kuat sampai lemah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kriteria insolasi radiasi matahari

Kategori radiasi matahari	Insolasi radiasi matahari (I)	
	(Langley/menit)	Watt/m ²
Kuat	$I > 1$	$I > 700$
Sedang	$0.5 \leq I \leq 1$	$350 \leq I \leq 700$
Lemah	$I < 0,5$	$I < 350$

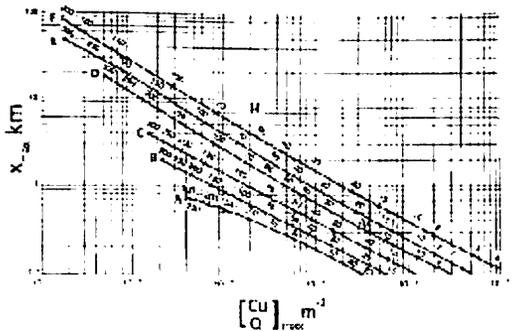
Sumber: <http://courses.washington.edu/cee490/PlumeD4.pdf>⁹

Kestabilan kriteria Pasquill biasa digunakan dalam pemodelan penyebaran polusi udara model Gauss (Gaussian model). Model Gauss dapat dikatakan sebagai model dasar penyebaran polusi udara. Asumsi yang dipakai adalah kondisi cuaca stasioner atau tetap tidak berubah dalam kurun waktu yang ditinjau, dan angin bertiup ke arah x dengan kecepatan u. Daerah dengan kondisi cuaca yang cenderung tidak stasioner, dapat dipilih kondisi cuaca yang dominan terjadi.

Hal penting pada model Gauss terkait dengan pengelolaan udara adalah menentukan di mana posisi konsentrasi maksimum dan berapa konsentrasi maksimum pada lokasi tersebut. Posisi konsentrasi maksimum (X_{max}) merupakan jarak sejauh x dari titik sumber searah angin. Nilai X_{max} dipengaruhi oleh kondisi stabilitas atmosfer (A, B, C, D, E, dan F) dan tinggi efektif cerobong (H). Tinggi cerobong efektif (H) merupakan tinggi fisik cerobong ditambah tinggi keputulan polutan. Tinggi keputulan polutan dipengaruhi oleh kondisi parameter cuaca yang meliputi kecepatan angin, perbedaan tekanan dan temperatur keluaran cerobong dengan udara lingkungannya serta kestabilan.

Besarnya konsentrasi maksimum dipengaruhi oleh besarnya beban emisi (Q), kecepatan angin, tinggi cerobong efektif, dan jarak X_{max} . Beban emisi yang besar menyebabkan konsentrasi maksimumnya juga naik. Kecepatan angin yang tinggi menyebabkan konsentrasi maksimum berkurang, tetapi kecepatan angin yang tinggi dapat mengurangi tinggi efektif cerobong. Tinggi cerobong aktif yang tinggi dapat mengurangi konsentrasi C_{max} . Oleh karena itu, kecepatan angin yang tinggi bisa mengurangi atau menambah nilai C_{max} . Hubungan antara posisi konsentrasi maksimum, besarnya konsentrasi, pada setiap kondisi stabilitas atmosfer untuk beberapa tinggi cerobong efektif dapat dilihat pada Gambar 2.

Prinsip pengelolaan polusi udara dari aplikasi model Gauss adalah daerah yang terpapar oleh konsentrasi maksimum tidak menghasilkan konsentrasi polutan udara ambien yang melebihi baku mutu udara ambien. Berdasarkan kecepatan angin dan stabilitas atmosfer, industri dengan beban emisi yang sudah diketahui dapat ditentukan tinggi cerobongnya, supaya tidak membahayakan udara ambien yang terpapar konsentrasi maksimumnya, atau sebaliknya industri yang telah memiliki tinggi cerobong permanen dapat mengatur beban emisinya.



Sumber: <http://courses.washington.edu/cee490/PlumeD4.pdf>

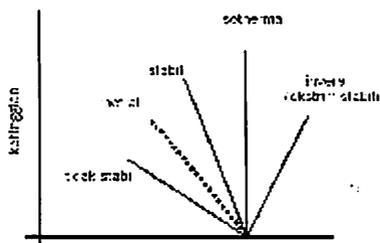
Gambar 2. Jarak konsentrasi maksimum dan besarnya konsentrasi maksimum pada berbagai kondisi

Kestabilan atmosfer kriteria gradien temperatur

Gradien temperatur (γ) dapat digunakan sebagai parameter kestabilan atmosfer. Gradien temperatur yang disebut dengan *lapse rate* merupakan perubahan temperatur terhadap ketinggian. Acuan dari kestabilan ini adalah gradien temperatur pada kondisi adiabatik kering (Γ_d), yang secara teoritis nilainya $-0,98 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Berdasarkan nilai gradien temperatur, kestabilan atmosfer disajikan pada Tabel 3 dan gambar profil temperatur terhadap ketinggian pada Gambar 3.

Tabel 3. Kestabilan atmosfer berdasar gradien temperatur¹⁰

gradien temperatur	stabilitas atmosfer
$\gamma = \Gamma_d$	Netral
$\gamma < \Gamma_d$	Tidak stabil
$\Gamma_d < \gamma \leq 1$	Stabil
$\gamma \geq 1$	Ekstrim stabil (inversi)



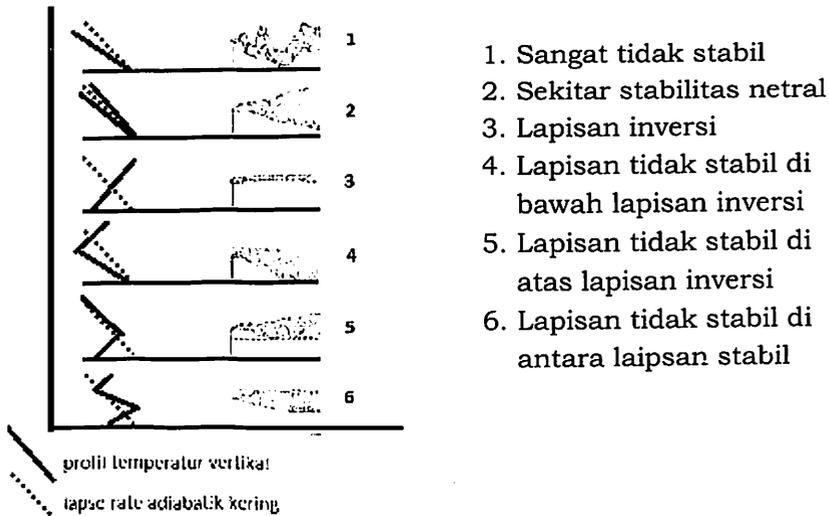
Gambar 3. Profil temperatur pada berbagai kestabilan¹⁰

Kestabilan atmosfer berdasarkan gradien temperatur ini mudah untuk menggambarkan bentuk kepulan dan sebaran polutan dari cerobong (Gambar 3).

Kriteria stabilitas ini yang penting adalah kejadian inversi. Kejadian inversi merupakan kejadian anomali, dimana dengan bertambahnya ketinggian temperatur bertambah panas, atau gradien temperaturnya lebih dari satu. Inversi yang penting dalam penyebaran polusi udara adalah kejadian inversi yang berada di daerah permukaan. Kejadian inversi ini penting terkait dengan tinggi cerobong. Bentuk kepulan polutan dari cerobong pada berbagai lapisan stabilitas atmosfer yang berbeda disajikan pada Gambar 4.

Tinggi cerobong ditambah tinggi kepulan asap disebut sebagai tinggi efektif cerobong. Kondisi stabilitas atmosfer yang berbeda pada tinggi

efektif cerobong menyebabkan perbedaan pola sebaran polutan dan dampaknya pada lingkungan. Sebagaimana digambarkan pada Gambar 4, kondisi terbaik adalah kondisi nomor 5 dan 6, dan kondisi paling buruk adalah nomor 4. Kondisi nomor 3 tergantung pada tinggi cerobong, jika cerobong tinggi maka daerah permukaan cukup aman, tetapi kejadian inversi sangat tidak aman untuk cerobong pendek dan emisi di daerah permukaan seperti dari transportasi dan pembakaran sampah. Pada prinsipnya kondisi nomor 1 dan 2 tinggi cerobong dapat ditentukan dengan perumusan Gauss di atas untuk mendapatkan dampak yang rendah.



Sumber: <http://courses.washington.edu/cee490/PlumeD4.pdf>⁹

Gambar 4. Kondisi stabilitas atmosfer pada ujung cerobong

Peraturan tinggi cerobong yang sudah diterapkan di beberapa negara maju baru tinggi cerobong yang secara teknis terkait dengan bangunan sekitarnya. Tinggi minimal cerobong ini disebut *good engineering practice stack height*. Tinggi minimal cerobong ini ditentukan oleh tinggi dan lebar bangunan di sekitarnya, belum memperhatikan karakter cuaca¹¹. Tinggi minimal cerobong belum menjadi peraturan di Indonesia.

Kondisi cuaca jarang dijumpai yang stasioner, apalagi daerah tropis. Karakter cuaca yang demikian itu maka diambil kejadian yang paling banyak terjadi. Jika kejadian berulang secara periodik terutama jika periodenya dalam waktu yang pendek, seperti perbedaan kondisi siang dan malam, maka pelepasan polutan dapat menyesuaikan kondisi yang menguntungkan. Hal ini dapat diberlakukan untuk industri yang

beroperasinya tidak kontinyu. Sebagai contoh industri yang berada di daerah pantai lebih cocok jika polutan udara dilepas pada malam hari sebab pada malam hari angin darat akan membawa polutan tersebar di atas laut. Demikian juga daerah yang memiliki periodisitas kejadian inversi yang dapat diprediksi dengan baik, maka dapat mengatur pelepasan polutannya dan tinggi cerobong dapat menekan dampak polutan ke lingkungan.

PENUTUP

Pengelolaan polusi udara dari industri yang utama dilakukan dengan menekan pembentukan polutan. Karakter cuaca polusi udara pada suatu kawasan industri dapat membantu dalam pengelolaan polutan udara industri. Berdasarkan karakter cuaca, pengelolaan dampak polusi udara yang dapat dilakukan meliputi: tata ruang terutama menentukan lokasi industri, pengaturan waktu pelepasan polutan untuk industri yang tidak beroperasi kontinyu, dan penentuan tinggi cerobong.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada LAPAN, khususnya Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan tulisan ini.

Daftar Pustaka

- ¹Nowak D.J., S. Hirabayashi, A. Bodine, E. Greenfield, *Tree and Forest Effects on Air Quality and Human Health in the United States*. 2014. Environmental Pollution 193: 119-129
- ²Seinfeld J. H. and Pandis S. N., 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York. 50 hlm
- ³Republik Indonesia, 1999. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Lembaran Negara RI No 41, Jakarta :Sekretariat Negara
- ⁴WHO, 2000. *Guidelines for Air Quality: Air quality management*, Genewa,
- ⁵Sumaryati, 2011. Polusi Udara di Cekungan Bandung, *Berita Dirgantara*, Vol. 12 No. 3. pp: 83 – 89
- ⁶Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Indonesia nomer 4 tahun 2014 tentang baku mutu emisi gas ber tidak bergerak bagi usaha dan / atau usaha pertambangan Verma S.S., B.
- ⁷Desai. 2008 *Effect of Meteorological conditions on Air Pollution of Surat City*. J. Int. Environmental Application & Science , Vol. 3 (5): 358-367

- ⁸Muthama N. J., C.M. Kaume, B.K. Mutai dan J.K. Ng'ang'a. 2015. *Simulation of potential impact of air pollution from the proposed coal mining sites in Mui Basin, Kitui County, Africa*. Journal of Physical Sciences 2 (1):60 - 72
- ⁹Atmospheric air pollutants dispersion
(<http://courses.washington.edu/cee490/PlumeD4.pdf> diakses tanggal 16 Oktober 2015)
- ¹⁰Sumaryati, 2007. *Penetapan Beban Emisi Maksimum CO di Kawasan Industri Dayeuh Kolot*. Tesis. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
- ¹¹Gomes J.F.P., dan R. Duarte. 2006. *The important of Building Downwash in Assessing the Need to Heighten Stack of existing Small and Medium Industries*. (<http://www.meteo.bg/EURASAP/55/paper1.html> diakses 5 Juni 2015)