

PAGAR UNTUK MENGURANGI INTRUSI POLUSI DEBU HALUS KE DALAM BANGUNAN

Christina E. Mediastika

Staf Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Arsitektur – Universitas Atmajaya Yogyakarta
e-mail: utami@uajy.ac.id

Thomas J. Scanlon

Jurusan Teknik Mesin, FT, University of Strathclyde, , James Weir Building, Montrose Street Glasgow, G1 1XJ,
United Kingdom

ABSTRAK

Ide dasar bahwa penyebaran suatu zat dapat dikurangi atau dihalangi dengan sistem bloking diuji dengan menggunakan metode komputasi dinamika fluida (CFD). Keragaman kondisi fisik pembatas antara sumber zat dan penerima zat meliputi : kerapatan, besaran (tinggi dan panjang), perletakan terhadap bangunan/jalan dan arah angin diuji pengaruhnya terhadap kemampuan mengurangi penyebaran debu halus dari jalan raya ke dalam bangunan yang lokasinya berdekatan dengan jalan tersebut. Kondisi cuaca yang menyertai pengujian dikhususkan pada kondisi iklim tropis lembab. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pagar pembatas yang terbuat dari bahan dengan kerapatan 100% mampu mengurangi penyebaran debu halus di balik pagar sampai 11 %.

Kata kunci: konsentrasi debu halus, pagar pembatas, kerapatan, jarak halaman, bangunan, CFD.

ABSTRACT

The effects of fence in reducing particulate matter concentration from street traffic to adjacent buildings (i.e. houses) were studied by using computational fluid dynamics. A variety of fence property: porosity, height, positions relative to the house and wind direction were investigated related to a constant set of weather data of a hot-humid country (i.e. Indonesia). This investigation shows that a solid fence, which is close proximity to the building, will give a considerable particulate matter reduction carried by an oblique wind direction of up to 11%.

Keywords: soft dust concentration, diveider fence, density, distance yard, building, CFD.

PENDAHULUAN

Polusi yang ditimbulkan kendaraan bermotor khususnya di negara-negara berkembang dewasa ini meningkat sangat tajam seiring dengan pertambahan jumlah kendaraan bermotor yang semakin tinggi. Polusi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor di jalan raya dapat dikategorikan dalam tiga jenis, yaitu, gas, padat (partikel atau debu halus) dan suara. Penelitian mengenai polusi udara telah banyak dilakukan dan upaya-upaya yang dapat ditempuh untuk mengurangi polusi pencemar berbentuk gas juga telah sering dibahas, baik di jurnal-jurnal ilmiah maupun media massa. Hal ini nampaknya dikarenakan pencemar gas memiliki wujud yang dapat dengan mudah dilihat mata telanjang dan dengan sendirinya membuat masyarakat sadar akan bahaya yang ditimbulkan pencemar gas. Faktor lain yang mendorong penelitian dan

upaya-upaya penanggulangan lebih banyak ditujukan pada pencemar gas adalah pengaruhnya yang dapat dirasakan seketika bagi penghirupnya, antara lain, lemas, sesak nafas, pedih di mata, dll. Penelitian mendalam mengenai upaya mengurangi pencemar gas telah dilakukan oleh Nani Kusmaningrum [1997/1998] yang menunjukkan bahwa pencemar gas dapat dikurangi konsentrasinya dengan bantuan beberapa jenis tanaman tertentu yang ditanam disepanjang tepi jalan. Dilain pihak, penelitian mengenai pencemar padat dan suara belum banyak dilakukan. Hal ini dikarenakan masyarakat belum sepenuhnya menyadari bahaya dua jenis pencemar yang disebut terakhir bagi kesehatan pada umumnya. Karena halusnya, debu halus berukuran $< 10\mu\text{m}$ yang dilepaskan knalpot kendaraan bermotor atau dari gesekan roda dengan muka jalan akan terhirup organ pernafasan tanpa mampu disaring oleh bulu-bulu

halus hidung, selanjutnya diteruskan ke organ-organ pernafasan bagian dalam dan akhirnya mengendap di permukaan paru-paru serta menjadi flek-flek yang secara kronis dapat menimbulkan bronchitis, asma dan kanker paru-paru [Dockery 1993 dan Schenker, 1993]. Mempelajari kenyataan ini, maka selain usaha-usaha penurunan tingkat polusi gas buang, usaha penurunan tingkat polusi debu halus-pun seyogyanya dilakukan sejak dini.

Tingginya konsentrasi debu halus di jalan-jalan di negara berkembang umumnya disebabkan oleh masih digunakannya kendaraan bermotor dengan bahan bakar bertimbel dan buruknya kualitas jalan-jalan di negara tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Zou, dkk [1997] menunjukkan bahwa debu yang ada di jalan-jalan di kota besar dalam hal ini Jakarta, adalah debu yang sangat halus. Kondisi ini memprihatinkan bagi penghuni bangunan-bangunan sederhana yang berlokasi sangat dekat (di sekitar) jalan raya dengan lalu lintas sangat padat.

Mengurangi konsentrasi pencemar dengan cara mengurangi sumber dan menjauhkan jarak antara sumber dengan penerima merupakan solusi yang sulit diterapkan di negara berkembang seperti Indonesia. Kebutuhan akan transportasi yang semakin tinggi dan keterbatasan lahan menjadi penyebab utamanya. Oleh karenanya yang paling mungkin diterapkan adalah dengan memaksimalkan kondisi penerima pencemaran atau korban pencemaran (baca: bangunan dan penghuninya) untuk dapat mengurangi masuknya zat pencemar ke dalam bangunan dan menciptakan kondisi di dalam bangunan yang lebih sehat dan nyaman.

Bangunan di negara tropis lembab, khususnya bangunan sederhana, misalnya rumah, sangat tergantung pada sistem ventilasi alami yang mengandalkan pada banyaknya bukaan (baca: jendela). Kondisi ini berlawanan dengan persyaratan bangunan untuk mengurangi masuknya pencemar yang seyogyanya berupa bangunan tertutup rapat dengan bukaan sesedikit dan sekecil mungkin. Bagi bangunan besar dan modern persyaratan sistem isolasi ini bukan merupakan halangan, terutama ketika pemakaian sistem pengkondisian udara (AC) di dalam ruangan dapat dibiayai.

Oleh karena pemakaian bukaan menjadi persyaratan utama dalam penyediaan ventilasi pada bangunan-bangunan sederhana, maka perlu dicari elemen vertikal bangunan lainnya yang dapat membantu terjadinya sistem bloking yang akan mengurangi penyebaran debu halus tersebut ke dalam bangunan. Salah satu elemen vertikal

bangunan yang sangat potensial adalah pagar. Bangunan di Indonesia umumnya dilengkapi dengan pagar. Fungsi utama pagar di Indonesia adalah sebagai penunjuk batas teritori suatu bangunan dengan area sekitarnya dan untuk faktor keamanan. Dalam percobaan ini hendak diuji apakah ada kemungkinan faktor-faktor fisik pagar-pagar tersebut dapat ditingkatkan fungsinya untuk menghalangi masuknya debu halus ke area di sekitar bangunan. Apabila hal ini dapat dilakukan, maka penempatan bukaan sebagai pendukung penggunaan ventilasi alami dapat terus dipertahankan.

1. Tujuan Penulisan

Tulisan ini dimaksudkan untuk melaporkan hasil-hasil percobaan yang telah dilakukan dalam rangka melihat pengaruh-pengaruh fisik pagar pembatas bangunan dalam peranannya mengurangi intrusi debu halus ke dalam bangunan.

2. Batasan Masalah

Pada penelitian yang hasilnya dilaporkan dalam tulisan ini, debu halus yang hendak diuji konsentrasi dan penyebarannya adalah debu halus yang berukuran lebih kecil dari $10\mu\text{m}$ (secara ilmiah disebut: PM10). Debu halus berukuran lebih kecil dari $10\mu\text{m}$ digolongkan sebagai debu halus yang melayang-layang di udara dan dapat terhirup serta mengendap di permukaan paru-paru manusia. Dalam gerakan melayang tanpa dipengaruhi oleh gravitasi bumi, semestinya akan sangat sulit menerapkan sistem bloking/halangan guna mengurangi penyebarannya debu halus ini. Namun demikian pengujian yang dilakukan oleh Lu dan Howarth [1996] menunjukkan bahwa debu halus berukuran lebih besar dari $4\mu\text{m}$ tetap dapat diendapkan dan waktu endapnya lebih cepat bila dibandingkan debu halus berukuran lebih kecil $2\mu\text{m}$. Pengujian awal inilah yang dijadikan pedoman bahwa sebagian dari debu halus berukuran lebih kecil $10\mu\text{m}$ dapat dikurangi konsentrasinya dengan sistem bloking yang ditempatkan diantara sumber dan bangunan. Debu halus tersebut selanjutnya diharapkan mengalami proses pengendapan.

METODE PENGUJIAN

Pengaruh pagar pembatas bangunan terhadap kemungkinan penurunan tingkat penyebaran

debu halus dari jalan raya diuji dengan sistem komputasional menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD). CFD dipilih dengan pertimbangan:

1. Akurasi mencukupi
Sistem ini telah teruji dan dipergunakan secara luas oleh peneliti-peneliti di berbagai negara untuk menguji aliran zat (gas, cair, maupun partikel halus) dalam kondisi ruang tertentu. Hasilnya cukup valid bila dibandingkan dengan pengujian dengan sistem model [Lu, dkk, 1996]
2. Lebih menghemat waktu, bila dibandingkan dengan pengujian sistem model dan lapangan.
3. Lebih hemat biaya, bila dibandingkan dengan pengujian sistem model dan lapangan.

Selanjutnya kondisi-kondisi fisik yang secara umum terjadi di lapangan disusun sebagai variabel yang akan membentuk kondisi spesifik pada program CFD bagi aliran zat sesuai dengan kondisi aliran zat di alam sesungguhnya. Faktor cuaca yang berpengaruh di alam terhadap penyebaran debu halus disertakan pada input program CFD untuk memberikan kekentalan atau kerapatan udara yang membawa aliran debu halus. Satu set kondisi cuaca yang dipilih adalah kondisi rata-rata cuaca di salah satu kota di Indonesia di mana masih banyak bangunan sederhana (rumah) berlokasi sangat dekat dengan jalan raya. Dalam hal ini dipilih kota Yogyakarta sebagai tempat pengujian. Faktor-faktor yang mendukung pemilihan kota Yogyakarta sebagai tempat pengujian adalah:

1. Pada kondisi jalan utama yang sibuk atau bahkan jalan-jalan khusus (perumahan) umumnya dijumpai bangunan yang berlokasi langsung di tepi jalan (lebar halaman depan tidak mencukupi untuk menciptakan *open space* antar jalan dan bangunan)
2. Pada jalan-jalan tersebut no.1. berbagai jenis kendaraan melintas tanpa adanya pembatasan (kendaraan berat, kendaraan umum, mobil pribadi dan sepeda motor serta kendaraan tidak bermotor)
3. Kombinasi dari 2 kondisi no.1. dan 2 menghasilkan tingkat polusi yang hebat bagi bangunan dan manusia yang beraktivitas di dalam atau di sekitar bangunan tersebut.
4. Kondisi yang terjadi di kota ini adalah tipikal kondisi yang terjadi di umumnya kota-kota Indonesia yang memiliki perencanaan kurang baik.
5. Kondisi cuaca di Yogyakarta juga tidak begitu jauh berbeda dengan cuaca di kota-kota di Indonesia yang secara umum dikategorikan beriklim tropis lembab.

Setelah satu kota terpilih untuk mewakili kondisi kota-kota tipikal di Indonesia, selanjutnya ditentukan rata-rata kondisi cuaca di kota-kota tipikal di Indonesia. Set kondisi cuaca ini terdiri dari suhu, kelembaban dan kecepatan angin yang dibuat tetap untuk melihat pengaruh kondisi fisik pagar secara lebih mendalam. Satu-satunya faktor cuaca yang diubah pada saat pengujian adalah arah angin. Dua arah angin ditentukan sebagai variabel pengujian sebagaimana arah angin yang terjadi pada kondisi sesungguhnya, yaitu arah angin bertiup sejajar dengan pagar (0°) dan membentuk sudut lebih kecil dari 90° tetapi tidak sama dengan 0° (sudut lancip). Secara terinci, set kondisi cuaca yang disertakan sebagai input adalah rata-rata kondisi sebagai berikut :

- Suhu : 28,1 °C
- Kelembaban : 80,75%
- Kecepatan angin : 1,16 m/det
- Arah angin : sejajar atau membentuk sudut lancip terhadap pagar.

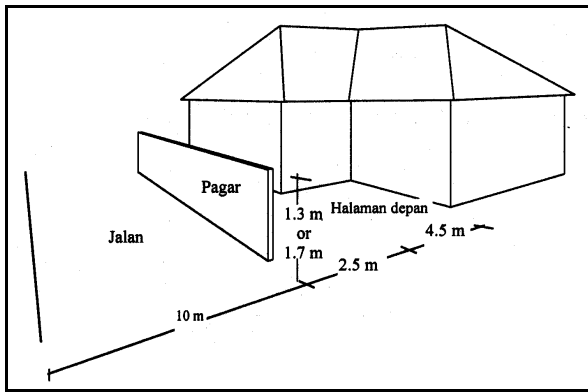
Satu set data cuaca yang sama digunakan secara terus-menerus sebagai input.

Selanjutnya ditentukan faktor-faktor fisik pagar untuk divariasikan pada input. Kondisi-kondisi fisik bidang vertikal berbentuk pagar yang umumnya di gunakan pada bangunan-bangunan di Indonesia, yaitu kerapatan, besaran (tinggi dan panjang), perletakan terhadap bangunan/jalan dan arah angin pada satu kondisi cuaca tertentu diuji pengaruhnya terhadap kemampuan mengurangi penyebaran debu halus dari jalan raya ke dalam bangunan yang lokasinya berdekatan dengan jalan tersebut.

Keseluruhan variable yang telah disebutkan di atas akan menjadi input dalam penggunaan program CFD untuk menentukan penyebaran dan konsentrasi debu halus dengan sistem bloking pagar pembatas yang hendak diprediksikan. Kondisi fisik yang dipilih untuk dimodelkan pada program CFD adalah bangunan sederhana berbentuk rumah tinggal yang berlokasi di tepi jalan dengan lebar halaman depan (jarak dari dinding depan rumah dengan pagar bervariasi : 2,5m atau 4,5m). Kerapatan pagar pembatas yang diuji adalah: 100% (pagar solid), 85% (contohnya pagar yang tersusun dari komposisi tanam-tanaman), dan 10% (pagar sangat tidak rapat yang tersusun dari jeruji-jeruji, dll). Lebar jalan-jalan di Yogyakarta digolongkan sebagai jalan yang sempit bila dirasiokan dengan tinggi bangunan yang mengapitnya. Menurut Koenigsberger [1973] diperlukan lebar jalan

kira-kira enam kali tinggi bangunan untuk mengarahkan angin yang terhalangi oleh bangunan untuk kembali pada arah semula (dalam hal ini: membentuk sudut tegak lurus terhadap pagar). Oleh karena umumnya hal ini tidak terjadi di jalan-jalan padat di Yogyakarta, maka dalam pengujian CFD diasumsikan bahwa arah angin tidak tegak lurus terhadap pagar pembatas tetapi membentuk sudut lebih kecil dari 90° tetapi tidak sama dengan 0° (sudut lancip) dan arah angin sejajar pagar.

Oleh karena CFD tidak mampu mengidentifikasi secara detail kondisi permukaan pagar pembatas apakah permukaan tersebut bertekstur atau rata, maka dalam pengujian, pagar tersebut diasumsikan memiliki permukaan rata. Detail spesifikasi dari beberapa jenis pagar yang diuji dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Sketsa Kondisi Jalan, Bangunan Dan Pagar Penghalang

Table 1. Spesifikasi Pagar dan Prosentase Penurunan Konsentrasi Debu Halus.

No	Spesifikasi pagar				Prosentase konsentrasi rata-rata di balik pagar (prosentase penurunan konsentrasi)
	Kerapatan	Tinggi	Jarak pagar ke dinding	Arah angin	
1	10%	1.3m	4.5m	Paralel	95.1% (-4.9%)
2	10%	1.3m	4.5m	Bersudut lancip	94.7% (-5.3%)
3	85%	1.3m	4.5m	Paralel	93.5% (-6.5%)
4	85%	1.7m	4.5m	Paralel	92.8% (-7.2%)
5	85%	1.3m	2.5m	Paralel	91.3% (-8.7%)
6	85%	1.7m	2.5m	Paralel	90.4% (-9.6%)
7	85%	1.3m	4.5m	Bersudut lancip	95.0% (-5.0%)
8	100%	1.3m	2.5m	Paralel	91.5% (-8.5%)
9	100%	1.7m	2.5m	Paralel	90.7% (-9.3%)
10	100%	1.3m	4.5m	Bersudut lancip	88.7% (-11.3%)

Di dalam CFD yang digunakan, distribusi debu halus dimodelkan dengan persamaan diferensi parsial yang mencakup massa, momentum dan konsentrasinya dalam sistem

arah koordinat Cartesian untuk aliran *incompressible and steady*, dimana setelah dirata-rata dengan Reynolds menjadi:

Konservasi Massa

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Konservasi Momentum

$$\frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{P}{\rho} + \frac{2}{3} k \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ v_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right\} \quad (2)$$

Konservasi Skalar

$$\frac{\partial C U_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \frac{v_t}{\sigma_{c,j}} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right\} \quad (3)$$

Persamaan pemindahan untuk k

$$\frac{\partial k U_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \frac{v_t}{\sigma_1} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + v_t S - \epsilon \quad (4)$$

Persamaan pemindahan untuk s

$$\frac{\partial \epsilon U_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \frac{v_t}{\sigma_2} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} + C_1 \frac{\epsilon}{k} v_t S - C_2 \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

Dimana

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

$$S = \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, \quad \sigma_1 = 1.0, \quad \sigma_2 = 1.3, \quad C_\mu = 0.09, \quad C_1 = 1.44$$

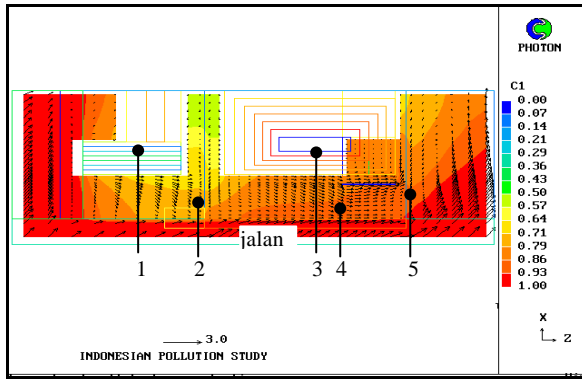
$$C_2 = 1.92, \quad \sigma_{c,j} = 1.0$$

$\sigma_{c,j}$ adalah arah turbulen Schmidt untuk persamaan zat yang diformulasikan yang bervariasi berdasarkan pengamatan dispersi zat polutan di atmosfer. Formula tersebut di atas yang selanjutnya dimodelkan ke dalam CFD untuk melihat distribusi debu halus pada kondisi yang telah ditentukan.

HASIL

Percobaan untuk melihat pengaruh kondisi fisik pagar terhadap kemampuannya mengurangi intrusi debu halus dari jalan ke bangunan dengan bantuan CFD telah dilaksanakan dan secara lengkap hasil percobaan tersebut disajikan sebagai berikut.

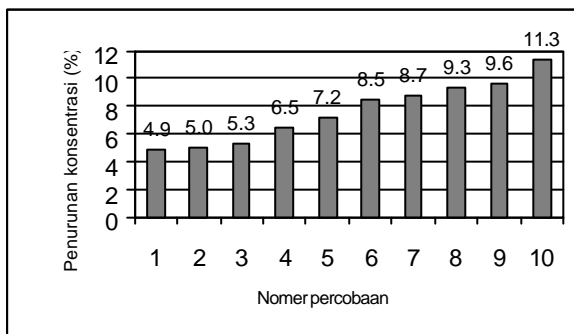
Gambar 2 menunjukkan tingkat penyebaran debu halus pada kondisi fisik sebagaimana disusun untuk input yang ditunjukkan dengan warna berbeda sesuai konsentrasinya.



Gambar 2. Contoh Gambar Percobaan pada CFD

Keterangan gambar:

- 1 = bangunan tetangga.
- 2 = halaman berupa pohon bwsar dan rindang
- 3 = bangunan yang diuji
- 4 = pagar
- 5 = tembok pembatas dengan tetangga

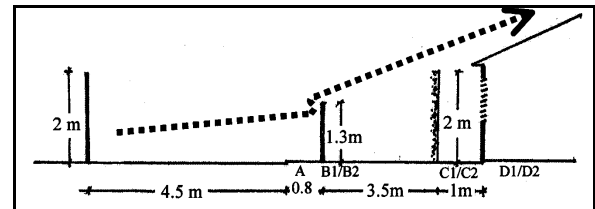


Gambar 3. Histogram Prosentase Penurunan Konsentrasi Partikel Halus Menu-rut Spesifikasi Pagarnya

PEMBAHASAN

Pada jarak antara pagar dan dinding 2,5m, pagar pembatas dengan kerapatan 85% menurunkan konsentrasi debu halus sekitar 2,45% lebih banyak dibandingkan pada jarak 4,5 m. Hal ini dapat dilihat dengan mencermati hasil pengukuran no. 3 dan 4 dengan no. 5 dan 6 (Tabel 1) Jika hal ini kita hubungkan dengan keadaan sesungguhnya maka bangunan dengan halaman lebih sempit akan menerima lebih sedikit intrusi debu halus bila dibandingkan bangunan dengan pagar berhalaman lebih lebar. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan lebar halaman yang sempit, angin pembawa debu halus, setelah kehilangan momentum akibat adanya pagar pembatas, belum sempat kembali arahnya namun

telah terbentur kembali dengan dinding depan bangunan. Sedangkan pada bangunan dengan halaman yang lebih lebar, angin sempat memperbaiki arahnya kembali dan akhirnya debu halus yang terbawa dapat terdistribusi ke balik pagar pembatas (Gambar 4).



Gambar 4. Angin dengan Sudut Lancip Membentur Dinding dan Dibelokkan ke Atas

Dengan arah angin membentuk sudut lancip terhadap pagar, pagar dengan kerapatan 85%, mampu mengurangi debu halus 1,75% lebih banyak bila dibandingkan angin dengan arah sejajar. Hal ini ditunjukkan oleh hasil pengukuran no. 3, 4, 5 dan 6 terhadap pengukuran no.7 (Tabel 1). Pagar dengan kerapatan 100% mampu mengurangi debu halus yang terbawa angin dengan arah membentuk sudut lancip terhadap pagar sekitar 2,35% lebih banyak bila dibandingkan angin dengan arah sejajar. Hal ini ditunjukkan dengan membandingkan pengukuran no.8 dan 9 terhadap pengukuran no.10 (Tabel 1). Melalui CFD, fenomena ini dijelaskan bahwa pagar akan membelokkan angin bersudut lancip terhadap pagar ke arah atas, sehingga konsentrasi debu halus di halaman rumah dan juga yang memasuki rumah akan lebih rendah (Gambar 4).

Dengan membandingkan hasil percobaan no.2, 7 dan 1 dalam Tabel 1, terlihat bahwa perbedaan arah angin antara membentuk sudut lancip terhadap atau sejajar pagar memberikan pengaruh yang berarti dalam perilaku penyebaran debu halus akibat keberadaan pagar pembatas. Dengan membandingkan pagar-pagar pembatas yang memiliki spesifikasi sama dengan arah angin yang berbeda (no 1 dan 2 pada Tabel 1), terlihat bahwa pagar pembatas mampu menurunkan konsentrasi debu halus yang terbawa oleh angin dengan sudut lancip sekitar 0,4% lebih banyak dibandingkan pagar yang sama terhadap debu halus yang dibawa oleh angin sejajar.

Dari keseluruhan percobaan dan pengukuran tersebut, dapat kita amati bahwa secara umum pagar dengan kerapatan 100% mampu mengurangi debu halus lebih banyak bila

dibandingkan dengan pagar-pagar yang kerapatannya kurang dari 100%. Melalui CFD hal ini dapat dijelaskan bahwa angin yang melalui pagar kehilangan momentum lebih besar pada penempatan pagar berkerapatan 100% bila dibandingkan dengan pagar berkerapatan dibawah 100%. Hilangnya momentum yang cukup besar ini menyebabkan menurunnya kecepatan angin sehingga debu halus yang terbawa angin dapat lebih efektif dihalangi oleh pagar baik diendapkan dipermukaan pagar atau menabrak pagar dan akhirnya jatuh ke tanah.

KESIMPULAN

Secara umum diamati bahwa pagar dengan kerapatan 85% (kira-kira sama dengan kerapatan semak/perdu dengan dedaunan yang rapat) mampu mengurangi konsentrasi debu halus di halaman suatu bangunan yang memiliki jarak sempit bila dibandingkan dengan bangunan yang memiliki antara pagar dengan dinding lebih lebar. Pagar dengan kerapatan 85% bekerja (mengurangi debu halus) lebih baik pada arah angin sejajar pagar sedang pagar dengan kerapatan 100% bekerja lebih baik pada arah angin membentuk sudut lancip. Pagar dengan kerapatan 100% dengan ketinggian minimum 1.3 m mampu mengurangi konsentrasi partikel halus di halaman depan bangunan sampai 11% dari konsentrasi di jalan pada kondisi angin membentuk sudut lancip terhadap pagar. Hal ini sekaligus mengindikasikan bahwa pagar yang dibangun dengan sistem kombinasi antara kerapatan 100% dan 85% mampu bekerja lebih efektif mengingat arah angin di sepanjang jalan umumnya secara bergantian membentuk sudut lancip atau sejajar terhadap pagar.

Dari percobaan tersebut, juga dapat disimpulkan bahwa perbedaan tinggi pagar sebesar 40 cm tidak memberikan pengaruh yang berarti pada proses pengendapan debu halus (dibawah 1%). Hal ini diperkirakan karena adanya pengaruh pergerakan Brownian (yaitu bahwa debu sangat halus bergerak bebas tidak beraturan dan tidak terpengaruh gravitasi) sehingga terbebas dari proses benturan/hempasan dengan pagar.

Dari percobaan ini sekaligus dapat kita simpulkan bahwa faktor-faktor penting yang mempengaruhi proses pengendapan partikel halus pada kondisi suhu dan kelembaban sama pada penempatan suatu penghalang adalah: kerapatan penghalang, perletakan penghalang

(atau jarak anantara pagar dan dinding bangunan) dan arah angin yang membawa debu halus tersebut terhadap penghalang.

Penelitian yang dilakukan ini adalah penelitian awal, penelitian lanjutan yang lebih mendalam diperlukan untuk menemukan pola penurunan konsentrasi debu halus karena kehadiran pagar pembatas menurut karakter fisiknya.

DAFTAR NOTASI

C	konsentrasi debu halus
k	energi turbulen kinetik
ϵ	penurunan nilai k
Γ	koefisien difusi
l	tinggi bangunan
p	tekanan statis
u, v, w, U	kecepatan
u_*	kecepatan <i>shear</i>
v	kerapatan kinematik
t	turbulen

DAFTAR PUSTAKA

- Davis, Robert H., Particulate Flows and Sedimentation, Dalam JL Lumley dkk. (Ed.) *Research Trends in Fluid Dynamics, Report from the US National Committee on Theoretical and Applied Mechanics*, AIP Press American Institute of Physics, 1996, hlm. 60-63
- Dockery, D.W., dkk, An Association between Air Pollution and Mortality in Six USA Cities, *The New England Journal of Medicine*, 1993, Vol. 329, hlm. 1753-1759
- Koenigsberger, O.H, dkk. , *Manual of Tropical Housing and Building*, Orient Longman, Bombay, India, 1973, hlm. 129, 190, 198
- Kusmaningrum, Nani, Pengaruh Tanaman Jalan terhadap Baku Mutu Lingkungan, *Laporan Penelitian BaLitbang Departemen PU*, Indonesia, 1997/1998
- Lu, Weizhen dan Andrew T. Howarth, Numerical Analysis of Indoor Aerosol Particle Deposition and Distribution in Two-Zone Ventilation System, *Building and Environment*, 1996, **31**(1), hlm. 41-50

- Lu, Weizhen, dkk, Modelling and Measurement of Airflow and Aerosol Particle Distribution in a Ventilated Two-Zone Chamber, , *Building and Environment*, 1996, **31**(5), hlm. 417-423
- Schenker, M., Air Pollution and Mortality, *The New England Journal of Medicine*, 1993, Vol. 329, hlm. 1807e
- Shriner, D.S., *Responses of Vegetation to Atmospheric Deposition and Air Pollution*, Report 18 (laporan dalam mikrofilm), Napap State of Science/Technology, Washington DC, 1991, hlm. 43, 99, 100, 113
- Zou, Linda Y. and Martin A Hopper, Size-resolved Airborne Particles and Their Morphology in Central Jakarta, *Atmospheric Environment*, 1997, **31**(8), hlm. 1167-1172.