

Pengaruh Penempatan Beberapa Buah Screen Sebelum Seksi Uji Terowong Angin

Benny D Leonanda

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis Padang 25163

E-mail : bdleonanda@yahoo.com

Abstrak

Kemampuan screen dalam mengatasi fluktuasi aliran di dalam terowong angin dipelajari di dalam penelitian ini. Screen dipercaya dapat memperbaiki kualitas aliran udara di terowong angin, dan hal itu tidak terlepas dari pemberian tahanan hidrodinamik. Teknik visualisasi dipakai dengan memanfaatkan kawat asap yang diolesi dengan paraffin cair dan diatur dengan sistem tertentu, sehingga pola aliran di belakang screen dapat difoto. Pengujian dilakukan dengan mengamati dan mengukur panjang olakan dan jarak inti vorteks aliran yang terekam pada hasil photography. Beberapa buah silinder bulat pemicu turbulensi ditempatkan sebelum screen. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa screen menciptakan turbulensi homogen di dalam aliran, akan tetapi masing-masing garis gores di dalam aliran tidak membaur antara satu dengan yang lain. Jarak antar silinder sangat mempengaruhi pola peluruhan vorteks di belakang silinder. Terdapat tekanan yang rendah di belakang susunan silinder mengakibatkan sebahagian besar aliran fluida akan melintasi sisi luar dari susunan silinder. Penempatan screen mampu menghilangkan perbedaan tekanan yang terlalu besar di sekitar silinder. Screen mampu mengurangi tekanan yang berlebih di bagian sisi silinder atau dengan kata lain screen akan menyamaratakan tekanan disepanjang arah lateral. Semakin besar tahanan hidrodinamik yang dihasilkan screen (penambahan screen) mengakibatkan tekanan disetiap posisi dalam arah lateral aliran menjadi sama. Akan tetapi screen tidak mampu menahan, menghilangkan turbulensi yang dihasilkan peluruhan vorteks Karman dari silinder.

Kata kunci: Screen, silinder, visualisasi

Pendahuluan

Screen telah digunakan untuk memperbaiki kualitas aliran udara di terowong angin sejak 1930-an. Biasanya screen dipasang pada bagian ruang penenang (*settling chamber*), dan sebelum nosel. Sejak itu, pengaruh penempatan screen di terowong angin tetap dipelajari bertahun-tahun. Kajian-kajian ini dilakukan tidak lepas dari aliran di terowong angin, penurunan tekanan dan *drag*, keserbasamaan (*homogenous*) turbulen, cacat aliran, hubungannya terhadap lapisan batas di ruang uji terowong angin, dan banyak yang lainnya.

Kemampuan screen dalam memperbaiki kualitas aliran udara di terowong angin, dan hal itu tidak terlepas dari pemberian tahanan hidrodinamik dengan luas penampang yang seragam di dalam saluran udara terowong angin. Screen mampu mengurangi rata-rata fluktuasi turbulensi dalam arah lateral dan longitudinal, akan tetapi skala turbulensi tidak berubah dengan penempatan screen tersebut [Mehta, 1985]. Walaupun memberikan kontradiktif terhadap kualitas aliran, penurunan tekanan antara screen dipercaya mampu memberikan aliran yang seragam. Sejak itu penggunaan screen di dalam terowong angin juga dinyatakan mampu mengurangi lapisan batas di seksi uji terowong angin.

Koefisien Penurunan Tekanan pada Screen

Hambatan atau tahanan screen telah diketahui jauh hari di tahun 1950. Koefisien penurunan tekanan, K , dan koefisien defleksi, α , telah dipelajari oleh Mehta, 1985. Besarnya hambatan (tahanan) aerodinamik pada screen dapat diketahui dengan melakukan pengukuran langsung atau didekati dengan persamaan Borda-Carnot, $K = (1 - \beta/\beta^2)$, di mana β adalah rasio bukaan screen. Dalam praktek harga K ini tergantung pada bilangan Reynolds, di mana $K = 6.5 \text{Re}^{-1/3} (1 - \beta/\beta^2)$ akan tetapi persamaan ini berlaku sampai dengan bilangan Reynolds 600 dengan basis bilangan Reynolds adalah

panjang sisi bukaan dari *screen*. Penjelasan lain juga diberikan pada rasio β di bawah harga 0.56 pengaruh bilangan Reynolds tersebut dapat diabaikan [Bradshaw, 2005].

Untuk menghasilkan pengurangan turbulensi maksimum, penurunan tekanan pada *screen* harus sebesar mungkin. Mutu aliran juga ditentukan oleh ketebalan, dan besar atau kecilnya lubang *screen*, serta kestabilan asal aliran..

Pengaruh Screen terhadap Kecepatan Rata-rata

Ketika aliran tidak serbasama (*nonuniform*) melewati *screen*, kecepatan aliran dalam arah x akan berbelok/berubah menjadi arah y dan z, sehingga di *screen* terjadi vortisitas.

Vortisitas tersebut akan diteruskan sampai ke hilir aliran dan tidak terjadi perubahan pola (kecuali terjadi difusifitas pada aliran). Dari hal ini dapat dilihat bahwa komponen kecepatan dalam arah x, vortisitas yang terbentuk harus lebih dari setengah besar bukaan *screen*.

Turbulensi dan Turbulen Generator

Turbulensi merupakan fluktuasi *irregular* pada gerak/aliran fluida di dalam medan aliran. Fluktuasi tersebut dapat saja/biasanya terjadi dalam tiga komponen kecepatan, dan tidak dapat/susah diprediksi secara detail. Turbulensi muncul dalam waktu sesaat di dalam ruang dan terjadi pencampuran propertis-propertis fluida sebagai akibat dari gradien tekanan. Gradient tekanan ini terjadi di dalam ruang atau dipengaruhi faktor lingkungan. Lingkungan-lingkungan aliran biasanya merupakan batas aliran, misal permukaan datar, sudut tajam, atau benda menghalangi aliran (*bluff body*) yang mana permukaan tersebut menghasilkan gradien tekanan sebagai akibat viskositas fluida..

Penempatan silinder di dalam medan aliran dapat memicu turbulen yang homogen. Pola turbulensi yang terbentuk tidak berubah sampai di mana perbedaan energi kinetiknya terdispersi dalam bentuk perubahan propertis-propertis fluida. Bentuk dan pola turbulen yang dihasilkan oleh silinder di kenal dengan nama peluruhan vorteks Karman. Peluruhan vorteks Karman dapat dijelaskan sebagai sepasang vorteks yang hanyut terus-menerus dari belakang sebuah silinder dan mempunyai dua buah alur yang arah gerakanya berlawanan dan hanyut dalam jarak longitudinal dan transversal yang sama. Frekuensi dan panjang gelombang peluruhan vorteks tersebut tidak berubah sampai di mana ada energi lain yang menganggunya.

Penempatan silinder yang sejajar di dalam aliran menghasilkan peluruhan vorteks di belakang silinder yang hanyut menurut alur mereka masing-masing. Interaksi antara vorteks berupa interferensi antar gelombang, yang dapat saling menguatkan atau meniadakan pada frekuensi yang sama. Interferensi antar gelombang peluruhan vorteks yang mempunyai frekuensi berbeda tidak pernah terjadi, namun gelombang yang mempunyai frekuensi lebih kecil akan berada di dalam gelombang yang lebih besar.

Jarak antar silinder yang berdekatan juga akan mempengaruhi bentuk gelombang peluruhan vorteks di belakang susunan silinder. Jarak kritical antar silinder (*gaps*-nya) berada pada 0.7 s/d 1 kali diameter silinder [Lam, 1995]. Pada jarak kurang dari 0.7 D muncul *wake* tunggal dan peluruhan vorteks gabungan dari silinder terbentuk. Panjang gelombang dan frekuensi peluruhan vorteks dihasilkan juga merupakan fungsi dari dimensi dari gabungan silinder pembentuk *wake*. Sementara peluruhan vorteks yang dihasilkan masing-masing silinder terdapat di dalam gelombang vorteks yang lebih besar. Sehingga pada frekuensi peluruhan akan muncul dua modus frekuensi. Sementara itu pada jarak yang lebih besar dari 1D, peluruhan vorteks yang muncul merupakan fungsi dari silinder-silinder penyusun, tidak ada interaksi antar gelombang peluruhan vorteks di belakang silinder.

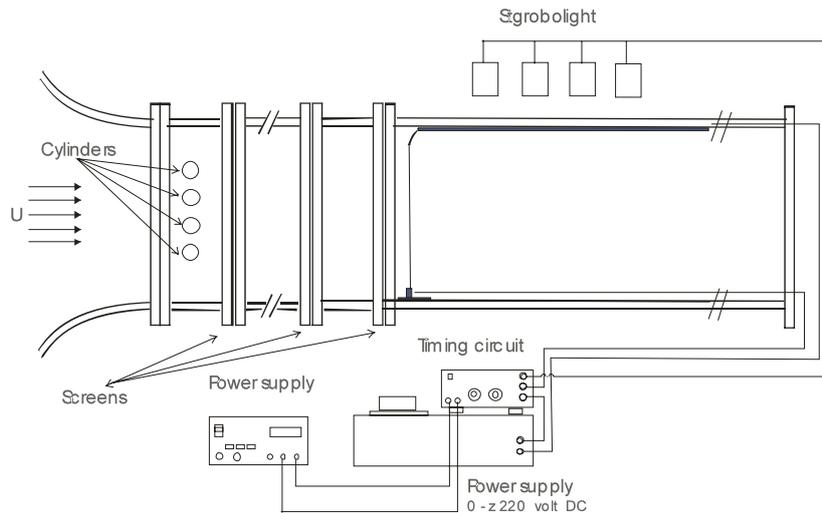
Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa jauh kemampuan *screen* dengan tahanan hidrodinamikanya, apakah mampu mengurangi turbulensi tersebut, dan apakah *screen* mampu menghilangkan turbulensi yang dihasilkan oleh *bluffbody* di dalam medan aliran udara (fluida).

Metoda Pengujian

Penelitian ini dilakukan di sebuah terowong angin *force draft* dengan seksi uji berukuran 45 x 45 x 100 cm³. Aliran udara di dalam dipertahankan tetap dengan bilangan *Reynolds* 100.000 dengan basis panjang sisi ruang uji sebagai karakteristik panjangnya. *Screen* dipasang di antara nosel/kontraksi terowong angin dengan ruang uji, secara bertahap dari satu, dua, tiga, dan empat

screen. Empat buah silinder dengan diameter 32 mm di pasang sebaris, melintang terhadap arah laju aliran. Jarak antara silinder disusun dengan jarak -0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, dan 2.5 kali diameter silinder.

Sebuah kawat asap di pasang pada jarak 1 kali diameter (1D) silinder setelah *screen* terakhir. Kawat asap tersebut diolesi dengan parafin cair dan dibakar dengan arus listrik searah. Jejak asap/garis gores (*streakline*) akan terbentuk dan hanyut selama pemanasan kawat asap berlangsung. Gambar aliran yang terbentuk oleh garis gores asap yang hanyut di aliran dipotret dengan menggunakan kamera foto. Pengaturan lamanya waktu pemanasan kawat, dan lamanya selang waktu dimulainya pemanasan dengan waktu pemotretan di atur sedemikian rupa dengan menggunakan sebuah rangkaian listrik.

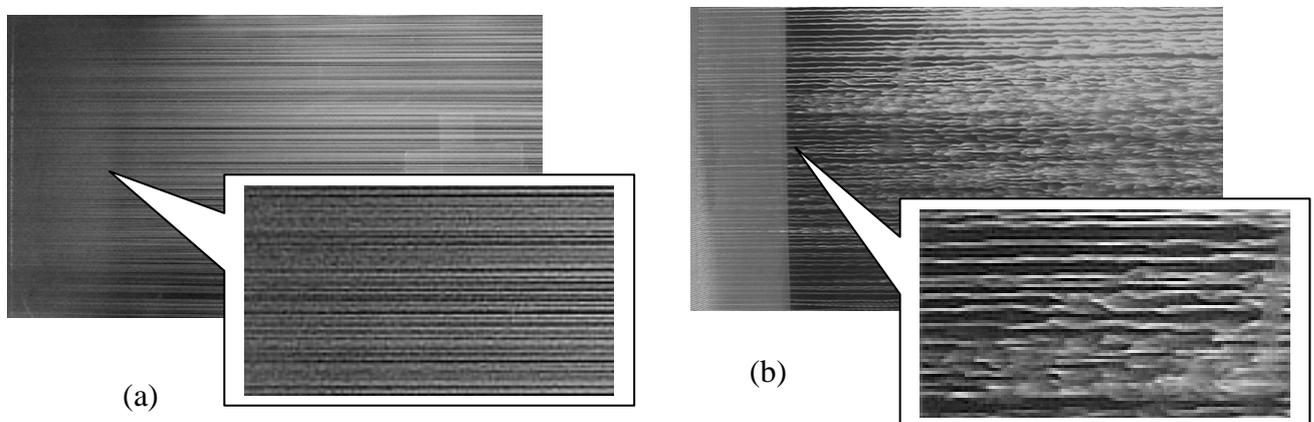


Gambar 1 . Set up instalasi pengujian

Di dalam praktek penurunan tekanan pada screen di pengaruhi oleh kecepatan, akan tetapi dengan menggunakan screen berukuran 325 Mesh, rasio bukaan *screen* (β) sebesar 0.44 (berada di bawah 0.54) maka pengaruh perubahan konstanta penurunan tekanan terhadap bilangan *Reynolds* dapat diabaikan. Dari persamaan $K = 6.5(Re^{-0.3}(1 - \beta)\beta^2)$, maka K diketahui sebesar 2.75.

Hasil dan Pembahasan

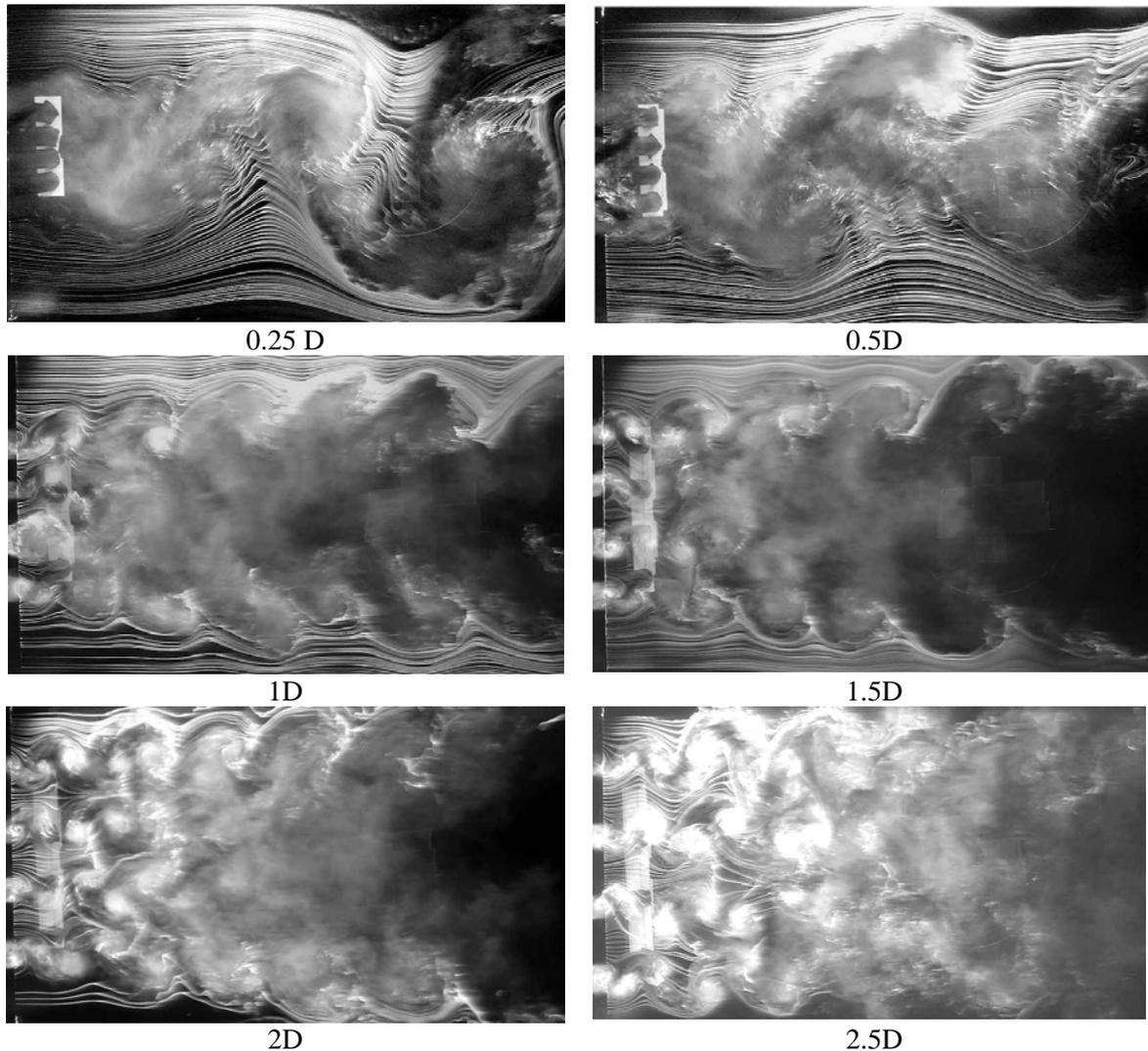
Pada saat udara memasuki nosel, udara dikonstraksi. Energi tekanan yang dimiliki udara diubah menjadi energi kecepatan/kinetik. Sebagai akibat perubahan bentuk energi, gerakan fluida yang tidak searah dengan arah aliran akan berubah menjadi *streamline* dan kondisi ini akan dipertahankan di sampai aliran berkembang penuh (*fully development flow*).



Gambar 2 Jejak-jejak asap (*streaklines*) yang terbentuk setelah melewati kontraksi nosel terowong angin.

Pada Gambar 2.a. diperlihatkan pada *photograph* kondisi aliran pada saat keluar dari kontraksi nosel terowong angin dan saat memasuki seksi uji. Jejak-jejak asap pada aliran tersebut terlihat *streamline* dan tidak berubah di sepanjang seksi uji.

Pada saat penempatan *screen* setelah kontraksi nosel, aliran terlihat turbulensi *homogen*, dan *wake* terbentuk setelah melewati lubang-lubang *screen* hanyut ke hilir aliran (Gambar 2.b). Turbulensi yang terbentuk di belakang *screen* terlihat hanyut pada lintasannya masing-masing.



Gambar 3. Turbulen yang dibangkitkan oleh empat buah silinder yang di susun sebaris setelah dibangkitkan oleh seksi uji.

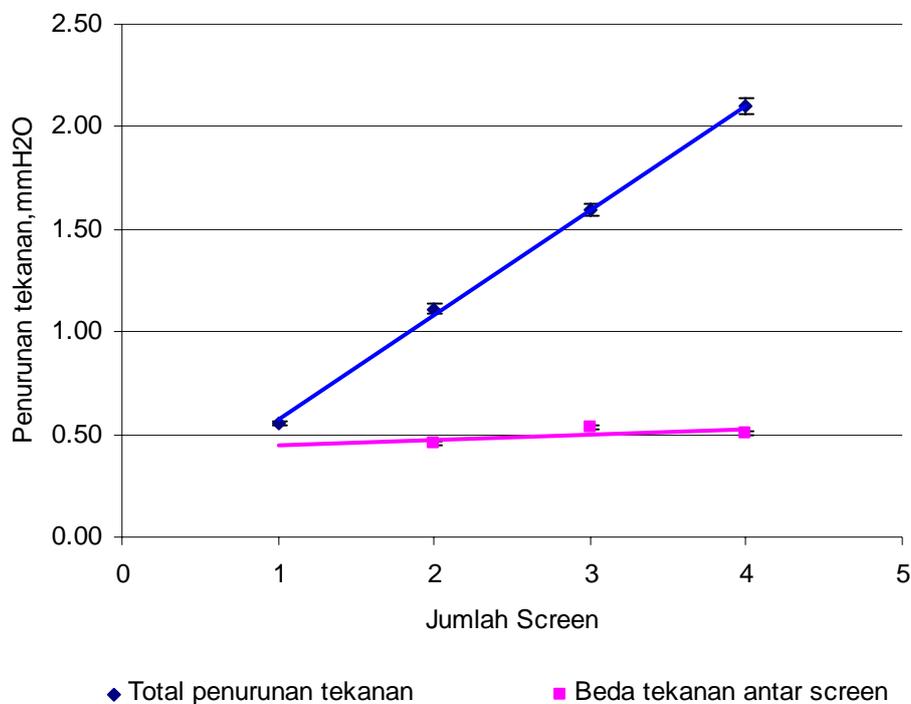
Pada saat aliran melewati empat buah silinder seperti terlihat pada Gambar 3, aliran membentuk *wake* dan *wake* tersebut luruh ke hilir aliran. Akan tetapi jarak antar ke empat buah silinder tersebut sangat mempengaruhi bentuk peluruhan vorteks. Pada jarak silinder yang kurang dari 1D *wake* yang terbentuk seolah-olah merupakan *wake* dari benda tunggal, atau dengan kata lain masing-masing silinder bergabung menjadi satu dan membentuk olakan besar. Setelah Jarak antar silinder diperbesar/lebih besar dari 1D *gap* antar silinder terlihat mampu men-*supply* aliran fluida pada posisi tersebut, sehingga *wake* yang terbentuk merupakan *wake* dari masing-masing silinder.

Akan tetapi tekanan di belakang silinder masih cukup rendah, dibuktikan terjadi kekosongan garis asap pada hilir aliran pada masing-masing *photograph*.

Aliran di antara silinder (*gap*) sangat mempengaruhi bentuk peluruhan vorteks. Jarak yang sempit antar silinder akan menjadi penghalang aliran udara (fluida). Sebagai konsekuensinya sebagian besar aliran cenderung bergerak ke bagian luar (atas dan bawah pada Gambar 3) kelompok silinder, dan tekanan udara di belakang (bagian *base suction*) kelompok silinder mempunyai tekanan lebih rendah dibandingkan dengan tempat lainnya di hilir aliran. Sehingga dapat dikatakan pada sisi-sisi susunan silinder mempunyai tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan di belakang silinder.

Interferensi antar gelombang (vorteks yang hanyut) terjadi pada jarak antar silinder tersebut cukup *significant*, artinya masing-masing silinder harus mempunyai peluruhan *wake* sendiri-sendiri. Interferensi ini mengakibatkan peluruhan *wake* ini hilang atau saling menguatkan, hal ini lebih banyak terjadi pada peluruhan vorteks silinder yang berada di tengah-tengah.

Penempatan *screen* di dalam seksi uji mengakibatkan aliran terhalang, penurunan tekanan untuk masing-masing dan total *screen* dapat dilihat pada Gambar 4. Pengukuran tekanan antar *screen* menghasilkan beda tekanan hampir sama. Simpangan perbedaan beda tekanan terukur tidak melebihi dari 2 % ($\pm 1.9\%$).



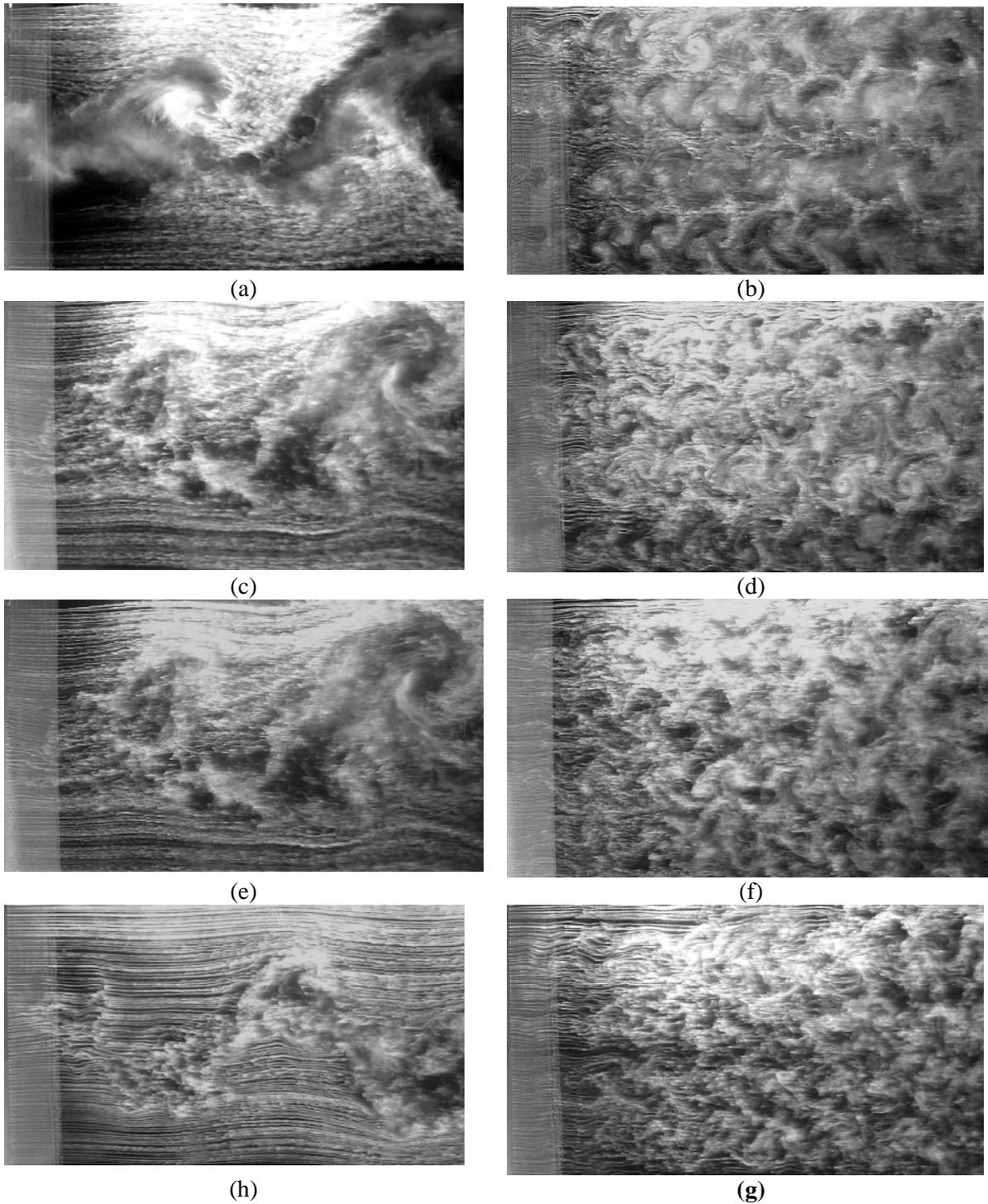
Gambar. 4. Penurunan tekanan pada Screen.

Penambahan *screen* akan menambah halangan secara linear (garis biru Gambar 4) terhadap aliran udara dengan jumlah yang sama untuk antar *screen*.

Pada saat *screen* ditempatkan setelah susunan silinder, tekanan yang berlebih di sisi susunan silinder akan rata (bertekanan yang sama dengan posisi melintang) sehingga turbulensi yang timbul hanya semata-mata berasal dari gangguan/*wake* dari silinder yang tersusun. Hal ini (pengaruh *screen*) dapat dilihat pada Gambar 5, garis gores asap terlihat lebih merata dan hampir sama panjang di hilir aliran. Makin bertambah *screen* tekanan yang berlebih akan tersaring (*filter*) sehingga *wake* yang ditimbulkan oleh silinder akan terlihat lebih jelas.

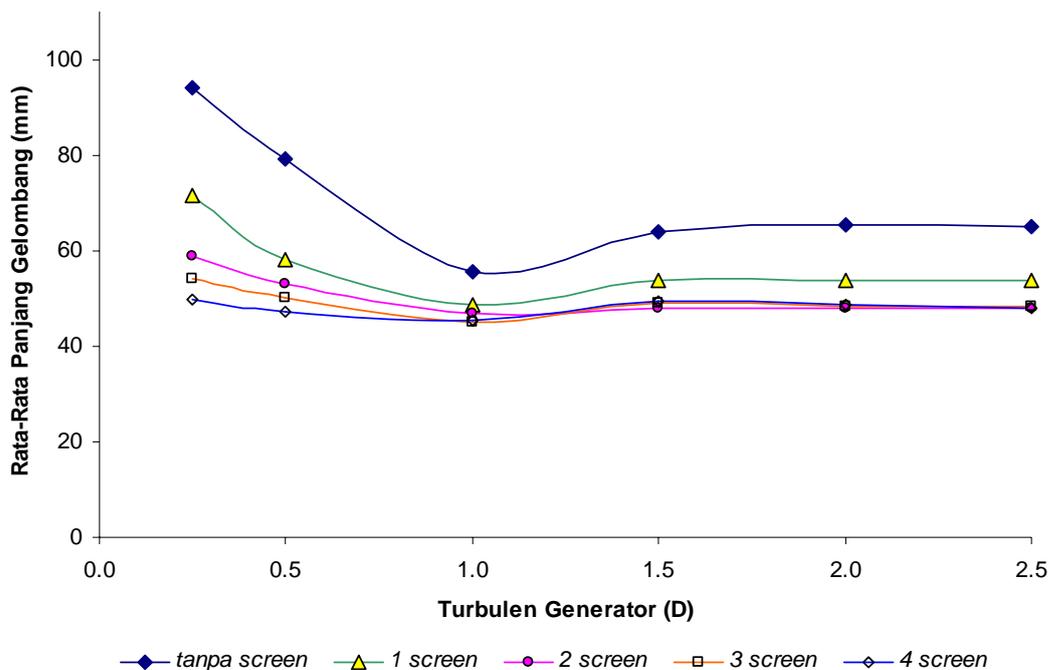
Lintasan peluruhan vorteks Karman terlihat lebih jelas dan lebih panjang jika dibandingkan dengan peluruhan vorteks tanpa menggunakan *screen*. Bertambahnya *screen* akan menyaring perbedaan tekanan arah lateral, sehingga jejak-jejak asap (*streak lines*) akan lebih jelas dan lebih

panjang. Tidak ada terlihat tekanan terlalu rendah (daerah tanpa asap seperti Gambar 3, sehingga pada Gambar 5 hampir seluruh bidang terisi penuh.



Gambar 5. Perbedaan pola peluruhan vorteks dengan berbagai lapis screen, pada baris pertama ditempatkan satu buah screen sesudah barisan silinder, dan pada baris-baris berikutnya jumlah screen bertambah untuk setiap barisnya dengan jarak antar silinder 0.25 untuk kolom pertama dan 2.5 untuk kolom ke dua..

Pada Gambar 5 di perlihatkan dua tipe susunan jarak silinder yaitu 0.25 dan 2.5 kali diameter sebagai perwakilan jarak silinder yang berbeda lainnya. Untuk baris pertama lapisan *screen* yang dipasang satu lapis setelah susunan silinder, dan baris-baris berikutnya lapisan *screen* bertambah untuk setiap barisnya. Pada Gambar 5 (h) dan (g) jumlah *screen* terpasang empat lapis. Dapat dilihat pengaruh penambahan *screen* pada pola aliran di belakang susunan silinder. Tekanan yang berlebihan dapat dihalang oleh *screen* tersebut. Sehingga tekanan setelah melewati *screen* terlihat lebih merata.



Gambar 6. Perbandingan panjang gelombang perluruhan vorteks tanpa, dan pakai *screen* untuk masing-masing panjang *turbulent generator*.

Panjang perluruhan *wake* yang diukur dari hasil *photograph* seperti pada Gambar 6. Pada gambar tersebut dapat dilihat jelas bahwa *screen* mengurangi panjang gelombang perluruhan vorteks. Untuk kecepatan aliran yang sama (*Reynolds* yang sama) frekuensi perluruhan vorteks juga berkurang.

Panjang gelombang perluruhan vorteks pada jarak *turbulent generator* kurang dari 1D terlihat lebih besar, hal ini disebabkan terdapat dua frekuensi perluruhan, yaitu frekuensi perluruhan dari gabungan susunan silinder dan frekuensi perluruhan masing-masing silinder. Makin bertambah jarak susunan silinder maka panjang gelombang yang terbentuk makin berkurang sampai pada jarak 1D. Setelah jarak antar silinder melebihi dari 1D, jarak masing-masing perluruhan vorteks terlihat tidak berubah.

Kesimpulan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa *screen* menciptakan turbulensi homogen di dalam aliran, akan tetapi masing-masing garis gores (*streak line*) di dalam aliran tidak membaaur antara satu dengan yang lain. Penempatan beberapa buah silinder (empat buah) sebaris di dalam seksi uji menghasilkan turbulensi terkontrol, dikenal sebagai perluruhan vorteks Karman. Jarak antar silinder sangat mempengaruhi pola perluruhan vorteks di belakang silinder. Tekanan yang rendah di belakang susunan silinder mengakibatkan sebagian besar aliran akan melintasi sisi luar dari susunan silinder (hal ini terjadi sampai di mana jarak antar silinder mampu *supply* cukup aliran di antara celahnya). Penempatan *screen* mampu menghilangkan perbedaan tekanan yang terlalu besar di sekitar silinder, atau dengan kata lain *screen* akan menyamaratakan tekanan disepanjang arah lateral.

Semakin besar tahanan hidrodinamik yang dihasilkan *screen* (dengan menempatkan *screen* berlapis dengan jarak tertentu) mengakibatkan tekanan disetiap posisi dalam arah lateral aliran menjadi sama, akan tetapi *screen* tidak mampu menahan, menghilangkan turbulensi yang dihasilkan peluruhan vorteks Karman dari silinder. Selain itu *screen* mengurangi panjang gelombang/frekuensi peluruhan vorteks

Daftar Pustaka

1. Batil, S.M., Nelson, R. C., , 1989, Low Speed, Indraft Wind Tunnels, Hak. M. G., “Advances in Fluids Mechanics Measurement”, Springer-Verlag Berlin Heiderlberg, New York.
2. Bradshaw, P., Mehta, R., 2005, Wind Tunnel Design, <http://navier.stanford.edu/bradshaw/tunnel/screen.html>
3. Lam, K., Fang, X., 1995, The Effect of Interference of Four Equi-spaced Cylinders in Cross Flow on Pressure and Force Coefficients, Journal of Fluids and Structures, 9, 195-214.
4. Mehta, R.D., Bradshaw, P, 1979, Design rules for small wind tunnels, Technical Notes, The Aeronautical Journal of The Royal Aeronautical Society.
5. Mehta, R..D., 1985, Boundary Layer Perturbed by a Screen, AIAA Journal, Vol. 23, No. 9.
6. Pastridge, 7 Maret 2004, A Builder Guide To Basic Wind Tunnel Design, <http://www.btinternet.com/~jhpart/bkwind5.htm>.
7. Scubauer, G.B., Spangenberg, W. G., 1950, Aerodynamic Characteristic of Damping Screen, NACA TN 2001.