

KEBUTUHAN DEBIT UNTUK FLUIDISASI DI MUARA SUNGAI DAN ALUR PELAYARAN

Wahyu Widiyanto

Staf Pengajar Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Teknologi "Yogyakarta"

ABSTRACT

Fluidization method is one of the alternatives to maintain river mouth and harbour entrance. It is expected to substitute the role of maintenance dredging that is high cost and often inefficient for small volume of dredging. A series of research is conducted to understand the fluidization method but there has been little confidence whether fluidization process can run when the system is implemented in the field. Hence, fluidization model of large scale is expected to enhance confidence.

The objective of the present study is to obtain flow rate required for fluidization. The study used two dimensional physical modelling of large scale. It was conducted by testing various sediment thickness (burial depth of pipe) from 25 cm to 150 cm in a large concrete well. Several parameters were observed on the experiments. Performances of one and three holes of fluidizer pipe were observed too.

The flow rate requirement increases linearly with sediment thickness. For 1 hole of fluidizer pipe, the flow rate requirement approaches $Q_h = 0,45 d_b + 0,40$. While 3 holes of fluidizer pipe requires flow rate as $Q_h = 1,44 d_b + 0,16$. Where d_b is sediment thickness. Comparison between the performances of 1 hole and 3 holes of pipe show that holes spacing significant to fluidization. The distance between holes should not be too long. Cooperation of holes may reduce flow rate requirement.

Keywords : *fluidization, dredging, sediment*

PENDAHULUAN

Permasalahan yang sering terjadi di muara sungai dan alur pelayaran adalah sedimentasi. Pada musim kemarau, sungai-sungai yang bermuara di bagian selatan Pulau Jawa (Samudera Hindia) banyak mengalami penutupan muara. Penutupan ini diakibatkan oleh aktivitas gelombang yang menimbulkan angkutan sedimen sejajar pantai (*longshore transport*). Banjir di awal musim hujan seringkali menggenangi pemukiman dan lahan pertanian karena muara tidak terbuka.

Sementara itu, sungai-sungai yang bermuara di Pantai Utara Jawa mengalami peristiwa yang berbeda. Gelombang yang tidak sekuat di Samudera Hindia tidak menimbulkan lidah pasir (*sand spit*) yang menutup muara. Namun demikian, sedimen dari sungai menyebabkan pendangkalan di sekitar muara. Pendangkalan ini mengganggu sebanyak lebih kurang 85% pelabuhan perikanan di pantai utara Jawa. Gangguan ini sangat dirasakan oleh para nelayan pada saat air surut terendah, terutama pada musim kemarau.

Cara yang umum dilakukan untuk mengatasi permasalahan di atas adalah pengerukan. Akan tetapi pengerukan itu sendiri mempunyai masalah-masalah yaitu jumlah kapal keruk di Indonesia yang terbatas serta biaya yang tidak kecil. Pada kegiatan pengerukan dengan volume relatif kecil, biaya untuk mobilisasi dan demobilisasi kapal keruk bahkan dapat melebihi biaya pengerukan endapan itu sendiri. Selain cara pengerukan, usaha untuk mengatasi sedimentasi dapat dilakukan dengan membangun konstruksi sipil seperti *jetty*, *breakwater* dan *underwater sill*. Namun untuk membangun konstruksi sipil juga memerlukan biaya yang cukup besar.

Alternatif selalu dicari, dan fluidisasi diharapkan dapat menggantikan peran pengerukan atau paling tidak mengurangi frekuensi pengerukan. Fluidisasi merupakan metode yang terus dikaji untuk mengetahui kelayakan penerapannya di lapangan. Aplikasi fluidisasi telah dilakukan untuk pemeliharaan alur di Marina Anna Maria, Florida dan untuk membantu pemompaan pasir (*sand by passing*) di Pelabuhan Oceanside, California. Sedangkan di Indonesia belum diperoleh catatan mengenai penggunaan metode fluidisasi untuk mengatasi sedimentasi. Namun demikian serangkaian penelitian ke arah penggunaan metode ini sedang berlangsung termasuk penelitian ini.

Prinsip kerja metode fluidasi yaitu memanfaatkan gaya akibat pancaran air yang keluar melalui lubang-lubang kecil pada pipa-pipa yang dipendam dalam endapan. Usikan oleh pancaran air akan mengubah sifat endapan dari padat menjadi fluid sehingga arus (sungai, pasang surut atau pemompaan) akan lebih mudah mengangkutnya ke laut lepas.

Pompa merupakan peralatan utama dalam instalasi sistem fluidisasi. Daya pompa yang harus disediakan dipengaruhi debit yang dibutuhkan untuk fluidisasi. Hubungan antara daya pompa dan debit ditunjukkan sebagai :

$$D_p = \frac{QH\gamma}{\eta} \dots\dots\dots (1)$$

dengan D_p : daya pompa (kgf m/d atau hp); Q : debit aliran (m^3/d); γ : berat jenis zat cair (kgf/m^3); H : total head (m); η : efisiensi pompa.

Untuk seluruh panjang pipa dalam suatu instalasi sistem fluidisasi diperlukan debit sebanyak jumlah lubang dikalikan debit tiap lubang fluidisasi. Debit aliran melalui sebuah lubang telah banyak dibahas dalam hidraulika. Pada sistem fluidisasi dimana lubang terdapat dalam pipa yang dipendam di dasar muara atau alur maka debit pancaran/ semprotan melalui sebuah lubang (Q_h) mengikuti aliran melalui lubang terendam :

$$Q_h = C_d \cdot A_h \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}} \dots\dots\dots (2)$$

dengan C_d : koefisien debit; A_h : luas penampang lubang; ΔP : beda tekanan dari dalam ke luar lubang; g : percepatan gravitasi dan γ : berat jenis air.

Zat cair yang bergerak dapat menimbulkan gaya. Gaya terjadi akibat adanya perubahan momentum. Perubahan momentum terjadi akibat kecepatan aliran (V) berubah baik dalam arah maupun besarnya. Untuk suatu tabung arus, dengan anggapan bahwa aliran adalah mantap dan kecepatan adalah seragam serta rapat massa sebesar ρ , maka besarnya momentum dirumuskan :

$$\text{Momentum} = \rho Q V \dots\dots\dots(3)$$

Berdasarkan Hukum II Newton, gaya yang timbul pada tabung arus adalah sebanding dengan laju perubahan momentum, atau :

$$F = \rho Q dV \dots\dots\dots(4)$$

Pancaran air dari lubang-lubang fluidisasi akan menerpa butir-butir pasir di atasnya. Untuk sebuah butir pasir gaya pancaran air akan menambah besarnya gaya arah ke atas. Jika gaya pancaran air ditambah gaya apung jumlahnya lebih besar daripada berat butir pasir maka akan menyebabkan butir pasir bergerak ke atas. Gaya pancaran air ini sama dengan gaya drag atau gaya seret yang dirumuskan sebagai :

$$F_D = C_D \rho \frac{V^2}{2} A \dots\dots\dots (3)$$

dengan F_D : gaya seret; C : koefisien seret; ρ : rapat massa air; V : kecepatan aliran.; A : luas permukaan butiran.

Penelitian mengenai fluidisasi telah banyak dilakukan. Beberapa hasil riset dari luar negeri dapat ditemukan melalui artikel-artikel dalam jurnal internasional. Weisman dan Lennon secara intensif melakukan riset metode fluidisasi. Hasil-hasil riset mencakup berbagai hal yang cukup luas. Namun pada dasarnya riset ditekankan untuk mengetahui pemilihan yang tepat tentang : diameter pipa fluidizer; arah, ukuran dan jarak lubang; debit dan tekanan yang dibutuhkan untuk fluidisasi. Di samping itu beberapa aspek lain dalam sistem fluidisasi didiskusikan di antaranya meliputi material pipa, suplai air bersih, teknik instalasi, dan mekanisme penggelontoran slurry.

Di Indonesia, penelitian mengenai fluidisasi telah beberapa kali dilakukan. Anjani (2001) dan Musriati (2001) meneliti kebutuhan tekanan untuk fluidisasi. Harnaeni (2001) membuat model di dalam sebuah flume dengan material sedimen berupa pasir berlumpur. Kebutuhan debit ditinjau tetapi dengan hanya membuat 2 variasi debit dan 2 variasi tebal sedimen. Ni'am (2002) melakukan hal yang lebih terpadu dengan variasi yang lebih banyak. Tetapi kebutuhan debit belum dibahas secara jelas. Yulius (2004) dan Dharma (2004) menitikberatkan penelitiannya pada ukuran lubang, jarak antar lubang dan arah/posisi lubang fluidisasi. Sedangkan Darmawan (2004) dan Taufik (2004) berusaha memperbaiki model lubang perforasi untuk meminimalisasi sedimen yang masuk pada pipa fluidisasi.

Seluruh penelitian tersebut di atas menggunakan model fisik dengan skala kecil. Tebal sedimen terbesar yang dipergunakan hanya 40 cm. Sehingga masih ada keraguan apakah fluidisasi dapat berlangsung ketika sistem diterapkan di lapangan. Untuk memperoleh tingkat keyakinan yang lebih tinggi maka dibuatlah model skala besar seperti yang dilakukan dalam penelitian ini.

PENGUJIAN MODEL

Model dibuat dengan skala besar yang dimaksudkan untuk mengetahui secara lebih jelas fenomena yang terjadi pada proses fluidisasi. Hal ini juga untuk menghindari adanya efek-efek akibat penyekalaan (*scale effects*) yang mungkin terjadi pada model skala kecil dan dapat menyebabkan ketidaksebangunan antara model dan prototip. Model skala besar diusahakan memiliki ukuran-ukuran yang mendekati ukuran yang ada di prototip. Bila mungkin dibuat model skala 1: 1 atau

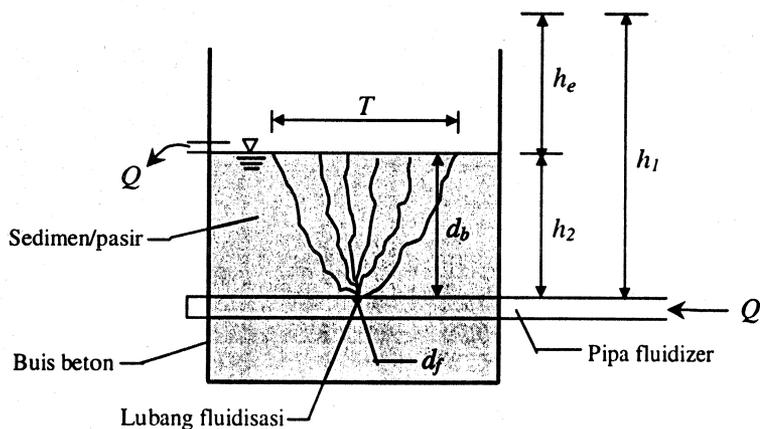
sama dengan prototip. Tetapi beberapa keterbatasan menyebabkan pemilihan skala yang kira-kira mudah dan mungkin untuk dibuat dan dijalankan.

Model fisik dalam penelitian ini tidak dimaksudkan untuk memodelkan suatu prototip yang ada di lapangan. Contoh sistem fluidisasi yang telah dibuat di lapangan ada di sebuah marina di Amerika Serikat. Ukuran-ukuran yang dimiliki di prototip tersebut dipakai sebagai pertimbangan dan perbandingan.

Parameter-parameter yang diamati selama pengujian adalah debit (Q), diameter lubang fluidisasi (d_f), tebal sedi-

men/kedalaman penanaman pipa (d_b), beda tinggi tekanan/kehilangan tenaga (h_e) dan lebar daerah terfluidisasi (T).

Pasir sebagai bahan sedimen dimasukkan ke dalam sumuran buis beton. Ketinggian pasir (d_b) bervariasi antara 0,25 – 2,0 m. Pompa dihidupkan, air mengalir dan semprotan terjadi melalui lubang fluidisasi. Tinggi tekanan dalam pipa (h) diukur dengan alat ukur tekanan (*pressure gauge*), sedangkan tinggi tekanan tepat di luar lubang fluidisasi besarnya sama dengan tinggi muka air (h_2). Variasi pengujian disusun seperti ditunjukkan pada tabel di bawah.



Gambar 1. Parameter yang diamati

Tabel Variasi Pengujian

Jumlah Lubang	Tebal Sedimen (cm)	Tinggi Tekanan (m)
1	25; 50; 75; 100; 125; 150	1; 2,5; 3,75; 5; 6,25; 7,5; 8,75; 10; 12; 13,3
3	25; 50; 75; 100; 125; 150	1; 2,5; 3,75; 5; 6,25; 7,5; 8,75; 10; 12; 13,3

Pada setiap running, debit ditingkatkan secara berangsur-angsur dari kecil ke besar. Selain itu juga dilakukan pengujian sifat-sifat sedimen.

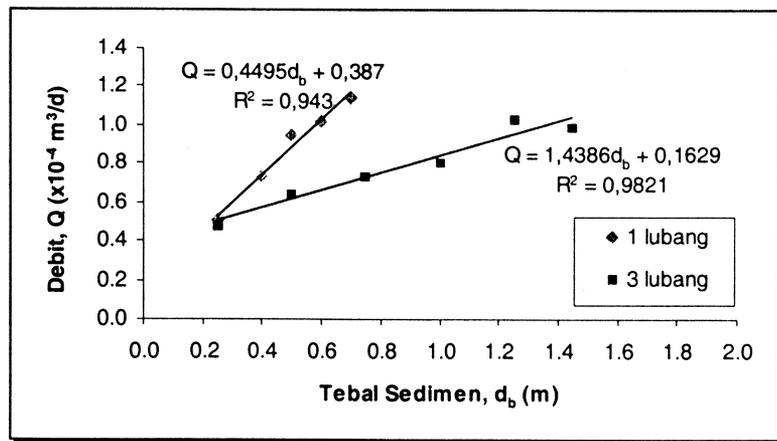
HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji model ini tidak melibatkan debit dalam jumlah besar sehingga memungkinkan untuk mengukur debit secara langsung. Pengukuran secara langsung merupakan cara yang paling sederhana tetapi sangat akurat. Dalam hal ini yang diukur adalah volume dan waktu sehingga debit diperoleh dengan membagi volume dengan waktu.

Kebutuhan Debit untuk Awal Fluidisasi

Apabila debit berangsur-angsur diperbesar maka air yang memancar lewat lubang fluidisasi akan semakin banyak untuk setiap satuan waktu. Pancaran ini

akan mendorong pasir yang semula diam suatu saat akan terjadi bentuk seperti air mendidih (*boil*) di permukaannya. Terjadinya bentuk seperti air mendidih yang pertama kali muncul dianggap sebagai awal fluidisasi (*initial fluidization*). Jadi untuk memperoleh nilai debit untuk awal fluidisasi maka dilakukan pengukuran pada saat munculnya *boil* yang pertama kali. Dalam penelitian ini, munculnya *boil* yang pertama kali juga dianggap sebagai batas antara pra fluidisasi dan awal fluidisasi. Hal ini barangkali belum dikatakan secara tegas dalam pengertian atau definisi mengenai *initial fluidization* oleh Weisman dan Lennon (1994). Menurut Weisman dan Lennon pada tahap awal fluidisasi telah terjadi bentuk seperti air mendidih (*boil*) tetapi masih bersifat lokal dan belum seluruh daerah di atas dan di sepanjang pipa terfluidisasi membentuk *slurry* yang bersifat fluid.



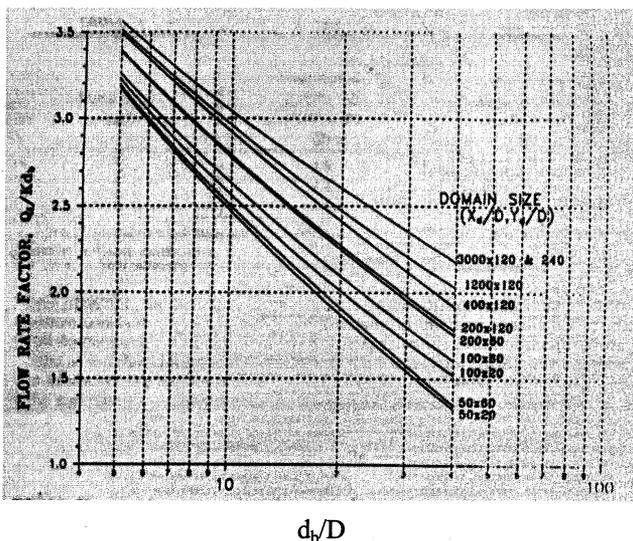
Gambar 2. Kebutuhan debit saat awal fluidisasi

Pengujian dilakukan untuk pipa fluidisasi dengan jumlah lubang 1 buah dan 3 buah. Dari kedua jenis variasi pengujian ini, diperoleh kecenderungan grafik seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. Tebal sedimen yang semakin besar membutuhkan debit yang semakin besar juga untuk dapat mengusik pasir di atasnya hingga terfluidisasi. Dari grafik juga dapat diperoleh informasi bahwa pada ketebalan yang sama, pipa fluidisasi dengan satu lubang membutuhkan debit yang lebih besar untuk dapat mencapai awal fluidisasi daripada pipa dengan 3 lubang. Sebagai contoh, pada tebal sedimen $0,5 \text{ m}$ dibutuhkan debit masing-masing $0,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{d}$ untuk 1 lubang fluidisasi dan $0,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{d}$ untuk 3 lubang fluidisasi. Kebutuhan debit yang lebih kecil pada pipa dengan 3 lubang fluidisasi disebabkan oleh kerjasama antar lubang yang menghasilkan gabungan aliran air ke atas hingga lebih mudah untuk mengusik

sedimen di atasnya. Tetapi bila jarak antar lubang relatif jauh maka kerjasama antar lubang sulit terwujud. Masing-masing lubang akan bekerja sendiri sehingga berkelakuan seperti pipa dengan 1 lubang fluidisasi dan debit yang dibutuhkan akan semakin besar. Dengan demikian, jarak antar lubang fluidisasi menjadi salah satu ukuran yang sangat penting dalam perancangan sistem pipa fluidisasi.

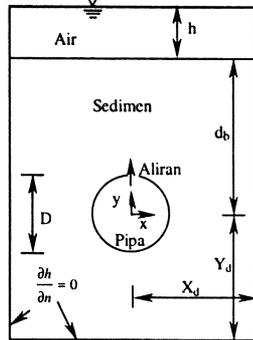
Faktor Debit

Lennon (1990) memberikan acuan mengenai debit yang diperlukan untuk keperluan perancangan fluidisasi. Untuk terjadinya awal fluidisasi dibutuhkan debit yang tergantung pada koefisien permeabilitas (k), kedalaman penanaman pipa atau tebal sedimen (d_b), serta diameter pipa (D). Acuan dari Lennon ini berupa nomogram seperti diperlihatkan Gambar 3 yang menunjukkan hubungan d_b/D dengan faktor debit (Q/kd_b).



Gambar 3. Nomogram untuk perhitungan debit yang dibutuhkan untuk awal fluidisasi (Lennon, dkk, 1990)

Nomogram di atas berlaku untuk kondisi isotropik yaitu permeabilitas (*hydraulic conductivity*) nilainya sama untuk arah horisontal maupun vertikal. Debit untuk awal fluidisasi dilambangkan sebagai Q . Simbol X_d adalah jarak horisontal dari pusat pipa hingga daerah yang tak terpengaruh fluidisasi, sedangkan Y_d adalah kedalaman di bawah pipa hingga batas kedap air (*impervious*). Sketsa daerah tinjauan (*domain*) digambarkan di bawah ini.



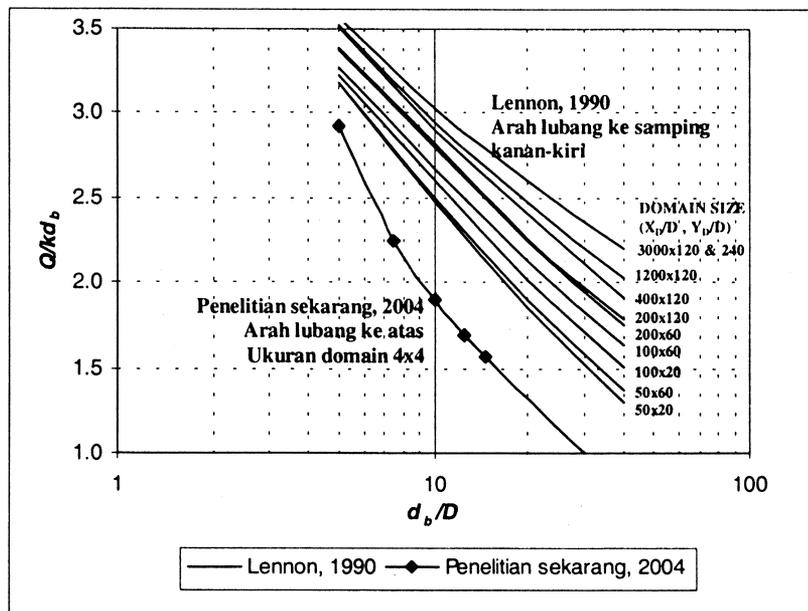
Gambar 4. Sketsa daerah tinjauan (domain)

Dalam penelitian ini, batas-batas kedap air untuk arah horisontal adalah dinding sumuran buis beton dan untuk arah vertikal adalah dasar sumuran dari beton (Gambar 1). Berdasarkan model ini diperoleh ukuran domain tak berdimensi sebagai berikut:

$$\frac{X_d}{D} = \frac{40 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 4$$

$$\frac{Y_d}{D} = \frac{45 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 4,5$$

Nilai ukuran domain tersebut tidak tercantum dalam nomogram Lennon. Justru dari data-data yang diperoleh dalam uji model ini dapat ditambahkan sebuah kurva terhadap nomogram tersebut.



Gambar 5. Sebuah kurva tambahan terhadap nomogram faktor debit

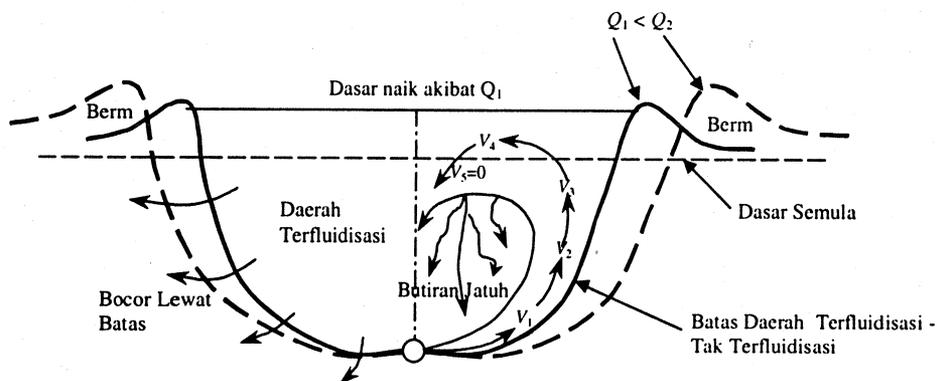
Pada nomogram di atas, debit yang dimaksud adalah debit yang dibutuhkan oleh 1 meter panjang pipa. Sehingga jika suatu instalasi sistem fluidisasi akan dipasang di suatu muara atau alur maka debit untuk seluruh panjang pipa fluidisasi harus dikalikan dengan panjang pipa yang bersangkutan.

Terlihat untuk domain yang semakin besar dibutuhkan debit yang juga semakin besar. Domain yang semakin besar identik dengan penyebaran semburan/ pancaran yang semakin luas sehingga dibutuhkan debit yang lebih besar untuk bisa tercapai fluidisasi. Pada kurva yang ditampilkan oleh Lennon, dkk., arah lubang adalah horisontal di samping kiri dan kanan pipa fluidisasi. Sedangkan kurva tambahan pada penelitian ini memakai lubang yang berarah ke atas. Kurva tambahan tersebut berada agak ke bawah yang berarti berada pada kisaran debit yang relatif rendah. Dua hal yang mempengaruhinya adalah domain yang kecil dan lubang yang berarah ke atas.

Domain yang kecil akan mencegah penyebaran dari pancaran air. Sedangkan arah lubang ke atas akan lebih cepat menghasilkan *boil* dibandingkan dengan arah lubang ke samping. Meskipun demikian arah lubang ke atas kurang cocok untuk penerapan fluidisasi di lapangan karena akan lebih memperbesar resiko sumbatan dan alur yang dihasilkan tidak selebar jika arah lubang dibuat ke samping.

Pengaruh Debit terhadap Lebar Daerah Terfluidisasi

Gambar 6 adalah daerah terfluidisasi yang digambarkan oleh Weisman, dkk (1994). Lubang pipa tidak berada di sisi atas tetapi di samping kiri dan kanan pipa fluidizer. Dua macam debit menghasilkan lebar daerah terfluidisasi yang berbeda. Debit kedua lebih besar daripada debit pertama ($Q_1 < Q_2$). Lebar daerah terfluidisasi akibat Q_2 lebih besar daripada akibat Q_1 .

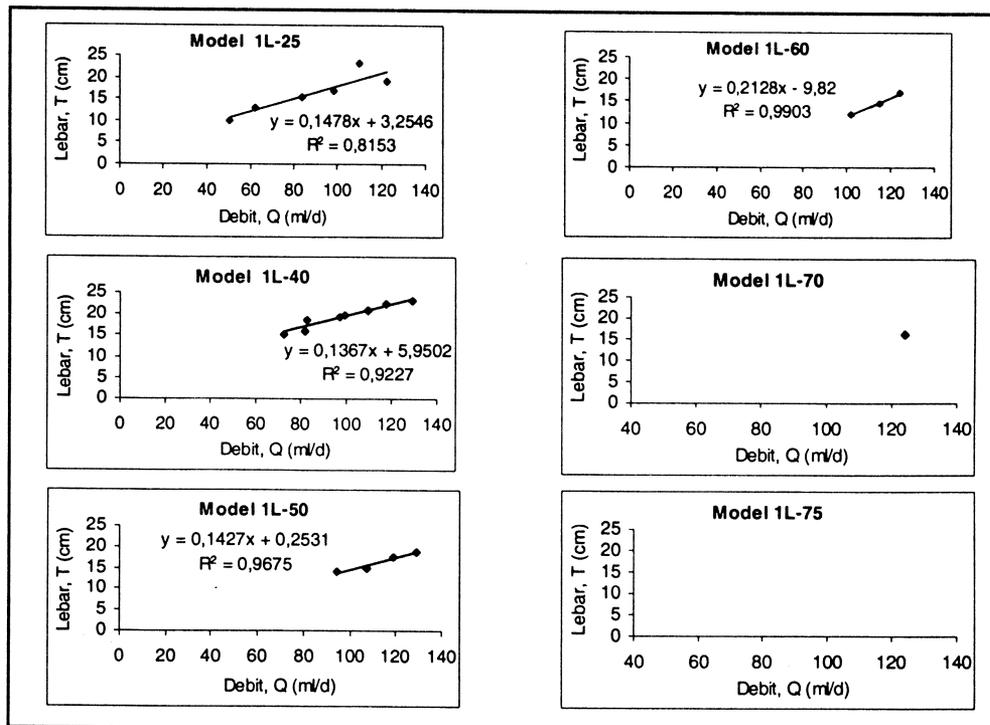


Gambar 6. Daerah terfluidisasi akibat dua debit yang berbeda (Weisman, dkk, 1994).

Hasil penelitian ini juga menunjukkan lebar daerah yang cenderung semakin besar seiring dengan meningkatnya debit. Enam grafik pada Gambar 7 diperoleh dari pengujian dengan jumlah lubang fluidisasi 1 buah dengan variasi tebal sedimen terendah adalah 25 cm dan tertinggi adalah 75 cm.

disasi yang pertama kali dengan lebar daerah yang terbentuk sekitar 10 cm. Lebar akan meningkat menjadi 15 cm ketika debit yang mengalir sekitar 80 ml/d.

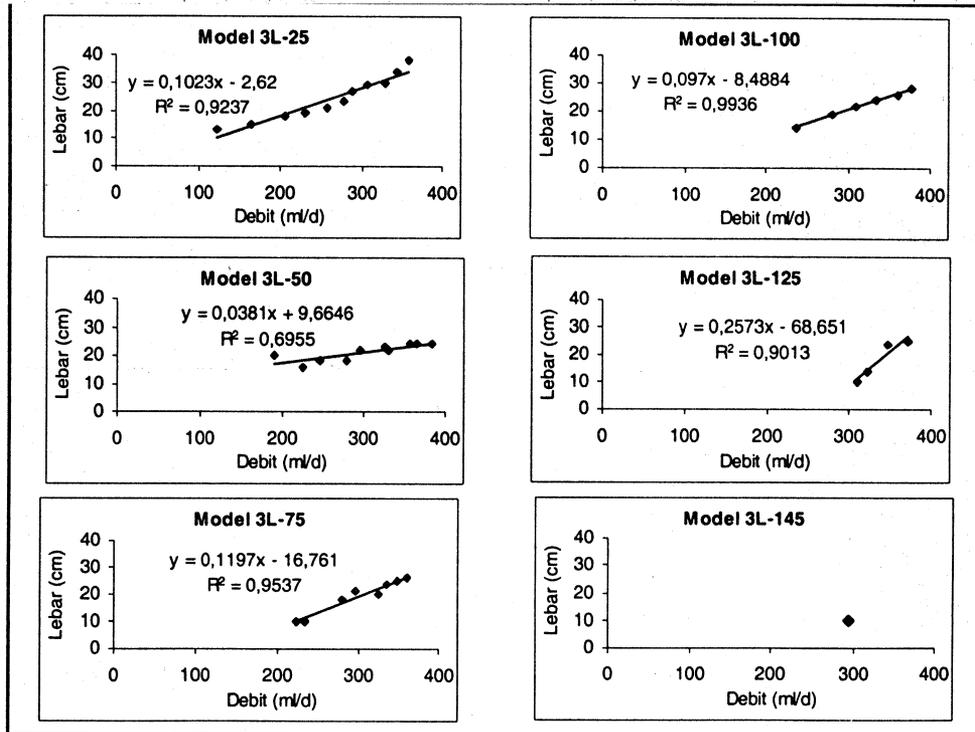
Semakin tebal sedimen semakin besar debit yang diperlukan untuk terjadi fluidisasi yang pertama kali. Untuk tebal



Gambar 7. Pengaruh debit terhadap lebar daerah terfluidisasi untuk jumlah lubang 1 buah

Sebagai penjelasan, diambil grafik pertama yaitu model dengan 1 lubang dan tebal sedimen 25 cm (1L-25). Debit dialirkan secara berangsur-angsur dari kecil sampai besar. Pada debit 20 dan 40 ml/d fluidisasi belum terjadi, lebar masih sama dengan nol. Saat debit 50 ml/d terjadi flui-

25 cm diperlukan debit sekitar 50 ml/d. sedangkan untuk tebal 40, 50, 60 dan 70 cm masing-masing sekitar 70, 90, 100 dan 120 ml/d. Pada tebal 75 cm dengan debit tertinggi 120 ml/d, aliran yang keluar lubang tidak mampu membuat pasir di atas lubang/pipa terfluidisasi.

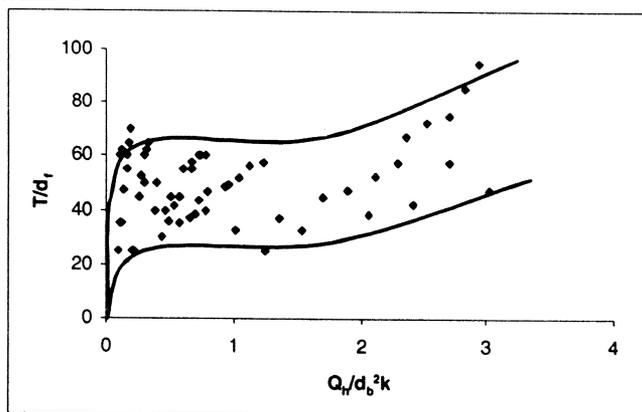


Gambar 8. Pengaruh debit terhadap lebar daerah terfluidisasi untuk jumlah lubang 3 buah

Untuk jumlah lubang 3 buah terjadi perilaku yang sama dengan jumlah lubang 1 buah. Enam grafik dalam Gambar 8 diperoleh dari pengujian dengan jumlah lubang 3 buah dan variasi tebal sedimen terendah 25 cm dan tertinggi 145 cm. Pada tebal sedimen 145 cm (3L-145) terjadi fluidisasi dengan lebar 10 cm sebagai hasil pancaran air dari lubang dengan debit 300 ml/d. Pada saat itu pompa telah bekerja maksimal sehingga sesudahnya tidak ada lagi debit yang lebih besar.

Proses fluidisasi dipengaruhi oleh beberapa parameter di antaranya adalah

debit (Q), tebal sedimen (d_s), koefisien permeabilitas (k) dan ukuran lubang fluidisasi (d). Hubungan tak berdimensi parameter-parameter itu terhadap lebar daerah terfluidisasi (T) disajikan dalam Gambar 9. Pada tebal sedimen, koefisien permeabilitas dan diameter lubang yang sama maka meningkatnya debit akan cenderung memperbesar lebar daerah terfluidisasi. Dalam grafik, debit yang dimaksud adalah debit yang keluar melalui 1 lubang fluidisasi (Q_p), bukan debit per meter panjang pipa fluidizer.



Gambar 9. Hubungan tak berdimensi pengaruh debit terhadap lebar

Kurva ditambahkan pada batas bawah dan batas atas dari titik-titik data yang tersebar. Parameter-parameter yang diduga berpengaruh telah dilibatkan tetapi pola hubungan antar parameter masih kurang meyakinkan. Dalam penelitian ini, bentuk daerah terfluidisasi yang terjadi antara lubang hingga permukaan sedimen terdeteksi secara kasar berbentuk kerucut terbalik. Bentuk ini masih harus dibuktikan lebih lanjut karena akan mempengaruhi pola hubungan antar parameter yang berpengaruh dalam proses fluidisasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kebutuhan debit untuk awal fluidisasi meningkat secara linier terhadap tebal sedimen. Untuk pengujian dengan 1 lubang, kebutuhan debit mengikuti persamaan $Q = 0,45 d + 0,40$, sedangkan untuk pengujian dengan 3 lubang diperoleh debit yang keluar tiap lubang mengikuti persamaan $Q = 1,44 d + 0,16$.
2. Kurva kebutuhan debit per meter panjang untuk ukuran domain tak berdimensi 4×4 memiliki pola yang

relatif sama dengan kurva pada nomogram faktor debit Lennon (1990).

3. Semakin besar debit cenderung semakin lebar daerah terfluidisasi. Namun kuantifikasi akan hal ini masih belum diperoleh dengan jelas.

Saran

Sebaran titik-titik data pada grafik yang menggambarkan hubungan tak berdimensi antara debit dan lebar daerah terfluidisasi mengindikasikan ada faktor lain yang perlu ditinjau. Kemungkinan bahwa faktor itu adalah bentuk daerah terfluidisasi. Tetapi ini masih harus dibuktikan. Bentuk daerah terfluidisasi sulit dilihat secara visual dalam penelitian ini. Sehingga pengaruh debit terhadap lebar daerah terfluidisasi masih sulit untuk dikuantifikasikan. Untuk itu perlu ada penelitian yang memfokuskan pada geometri daerah terfluidisasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia atas bantuan dana penelitian yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anjani, R.D., 2001, *Kebutuhan Tekanan Awal Fluidisasi Sedimen Non Kohesif*, Tugas Akhir, UGM.
- Darmawan, S.B., 2004, *Pengaruh Perubahan Model Lubang Perforasi Tipe Outlet untuk Meminimalisasi Sedimen Masuk pada Pipa Fluidisasi*, Tugas Akhir, UGM, Yogyakarta.
- Dharma, B., 2004, *Pengaruh Diameter Lubang, Jarak Lubang dan Posisi Lubang Fluidisasi dengan Aliran Permukaan pada Metode Fluidisasi*, Tesis, UGM, Yogyakarta.
- Harnaeni, N.D., 2001, *Metode Fluidisasi Dasar untuk Perawatan Muara dan Saluran Navigasi pada Material Dasar Pasir Berlumpur*, Tugas Akhir, UGM, Yogyakarta.
- Lennon, G.P., Weisman, R.N., 1995, *Head Requirement for Incipient Fluidization of Fine Sands in Unbounded Domains*, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 116, No. 12, pp. 1454.
- Musriati, N., 2001, *Kebutuhan Tekanan Awal Fluidisasi Sedimen Basah Non Kohesif*, Tugas Akhir, UGM, Yogyakarta.
- Ni'am, M.F., 2002, *Simulasi Fluidisasi Dasar pada Saluran dengan Aliran Permukaan untuk Perawatan Muara dan Alur Pelayaran*, Tesis, UGM, Yogyakarta.
- Taufik, M., 2004, *Pengaruh Perubahan Model Lubang Perforasi Tipe Outlet untuk Meminimalisasi Sedimen Masuk pada Pipa Fluidisasi*, Tugas Akhir, UGM, Yogyakarta.
- Triatmadja, R., 2001, *Fluidisasi Dasar sebagai Alternatif Metoda Perawatan Muara Sungai dan Alur Pelayaran*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Pantai, PSIT-UGM, pp. 94.
- Triatmodjo, B., 1996, *Hidraulika I*, cetakan ke empat, Beta Offset, Yogyakarta.
- Weisman, R.N., Lennon, G.P., 1994, *Design of Fluidizer System for Coastal Environment*, Journal of Waterway-Port-Coastal and Ocean Engineering, Vol. 120, No. 5, pp. 468.
- Yulius, N., 2003, *Metode Fluidisasi Untuk Mengatasi Masalah Pendangkalan di Muara Sungai Dan Alur Pelayaran Studi Kasus : Pengaruh Diameter Lubang, Jarak Lubang dan Posisi Lubang Fluidisasi*, Tesis, UGM, Yogyakarta.