

KEBUTUHAN TINGGI TEKANAN PADA PROSES FLUIDISASI UNTUK MENGATASI PENDANGKALAN MUARA SUNGAI

(PRESSURE REQUIREMENT ON FLUIDIZATION PROCESS FOR HANDLING
SEDIMENTATION ON THE RIVER MOUTH)

Moh Faiqun Ni'am¹⁾, Radiana Triatmadja²⁾, Nizam³⁾

ABSTRAKSI

Fluidisasi adalah suatu alternatif baru untuk mengatasi permasalahan sedimentasi di mulut muara sungai dengan cara menyemprotkan air bertekanan melalui pipa berlubang yang ditanam di bawah tumpukan sedimen. Semprotan dari pipa tersebut akan mampu membuka sedimen dengan ukuran lebar dan kedalaman yang dikehendaki. Makalah ini membahas kajian model fisik tentang metoda fluidisasi dasar menggunakan sedimen non kohesif (pasir). Pengamatan lebar trench (T), panjang alur (L), dan kedalaman alur (d) yang terbentuk, diujicoba dengan menggunakan parameter-parameter berikut : kedalaman penanaman (d_b), debit fluidisasi (Q_F), tekanan air (P), dan kepadatan sedimen (γ_b). Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa kebutuhan tekanan di dalam pipa akan bertambah seiring dengan bertambahnya ketebalan sedimen yang akan difluidisasi. Aliran permukaan berpengaruh secara signifikan terhadap geometri aluryang terbentuk.

Keywords : Fluidisasi dasar, sedimen non kohesif, lidah pasir.

ABSTRACT

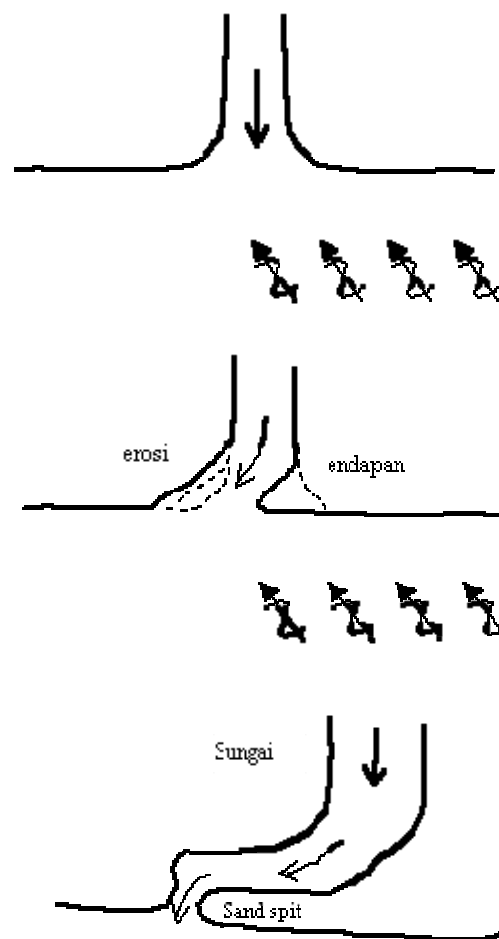
Fluidization is an alternative tool to fight sedimentation at river mouth by creating a channel above a perforated pipes, where water is pumped through it. The pipe was buried to a certain depth according to channel width and depth which are to be maintained. This paper explains the method based on physical model using a non cohesive sediment material. The effect of fluidization on the channel (width- T , length- L , and depth- d) are studied based on various pipe depth plantation (d_b), fluidization discharge (Q_F), fluid pressure (P), and bulk density of the sediment (γ_k). The research show that the need of pressure inside the pipe increases as the burial depth did. Free surface flow above the sediment significantly widen the channel.

Keywords : Fluidization, non cohesive sediment, sand spit.

-
- 1) Ir. Moh Faiqun Ni'am, MT., Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik UNISSULA Semarang.
 - 2) Ir. Radiana Triatmadja, Ph.D., Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik UGM Yogyakarta.
 - 3) Ir. H. Nizam, MSc., Ph.D., Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik UGM Yogyakarta.

PERMASALAHAN LIDAH PASIR DAN PENUTUPAN MUARA SUNGAI

Permasalahan yang sering dihadapi di daerah muara sungai adalah pendangkalan. Proses dan pola sedimentasi di muara dipengaruhi oleh sedimen dasar, arus, dan hidrodinamika laut. Muara sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut (Triatmodjo B, 1999), mempunyai fungsi utama sebagai daerah pengeluaran / pembuangan debit sungai pada waktu banjir ke laut. Selain itu muara sungai juga harus mampu melewati debit yang disebabkan oleh pasang surut. Sesuai dengan fungsinya tersebut, muara sungai harus cukup dalam dan lebar. Banyaknya endapan yang terjadi di muara sungai akan menyebabkan gangguan pembuangan debit sungai ke laut. Ketidاكلancaran pembuangan akan dapat mengakibatkan banjir di daerah hulu sungai.



Gambar 1. Proses pergeseran mulut muara oleh lidah pasir (*sand spit*).

Pada muara yang secara morfologi dipengaruhi oleh gelombang laut dominan yang membentuk sudut terhadap garis pantai, maka akan terjadi arus sedimen sejajar pantai dengan arah mengikuti pergerakan sedimen tersebut. Muara sungai akan lebih rentan terhadap gangguan endapan lidah pasir (*sand spit*) bila berada pada daerah pantai dengan arus sedimen sejajar pantai cukup besar. Hal ini akan lebih diperparah lagi bila sungai tersebut tidak

mempunyai debit yang cukup untuk menggelontor sedimen yang menumpuk di muara. Debit sungai yang cukup besar, sangat membantu dalam proses pembukaan mulut muara atau stabilisasi muara. Namun hal ini tidak dapat selalu terjadi, karena debit sungai sangat tergantung pada musim. Saat musim kemarau adalah saat yang kritis bagi stabilisasi mulut muara karena pada saat itu tidak tersedia cukup debit untuk menggelontor tumpukan pasir. Penumpukan sedimen pasir di muara akan membentuk semacam lidah pasir yang akan menutup mulut sungai. Bagian ujung lidahnya merupakan daerah terendah karena mendapatkan suplai sedimen paling sedikit selama proses penutupan terjadi.

Jika pada musim kemarau, muara sungai tidak dapat terbuka, maka pada saat musim penghujan berikutnya bagian muara yang paling rendah akan pertama kali tergerus dan terbuka sebagai mulut sungai yang baru. Mulut baru ini akan terus bergeser dan menyebabkan mulut sungai tidak stabil, sering berpindah-pindah atau berbelok arah.

Untuk membantu mengatasi penumpukan sedimen (penyumbatan) di muara ini dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pengerukan dengan tenaga manusia, pengerukan dengan alat berat, membuat bangunan jetty, dan membangun struktur ambang bawah air. Dalam menentukan dan memilih cara-cara yang tepat, perlu dipertimbangkan cara yang paling ekonomis.

Alternatif lain yang dapat dipakai selain cara-cara tersebut di atas, adalah dengan *metode fluidisasi*. Suatu konsep baru yang diusulkan berdasar hasil penelitian proses backwashing media filter (Weisman, Lennon, dan Roberts, 1988). *Metoda Fluidisasi* adalah metode yang menggunakan prinsip mengagitasi (mengusik) sedimen dari pipa fluidizer yang ditanam di dasar saluran (di bawah sedimen), dengan memanfaatkan pancaran air bertekanan mengakibatkan sedimen bed load berubah menjadi suspended load, yang pada akhirnya dapat mengalir secara gravitasi ke area lain yang berelevasi rendah.

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui fenomena yang terjadi dalam proses pembentukan alur dan faktor-faktor yang berpengaruh dari metoda fluidisasi dasar saluran, antara lain :

- a. besarnya tinggi tekanan yang dibutuhkan dalam proses fluidisasi,
- b. kebutuhan debit saat inisial dan saat fluidisasi penuh,
- c. kontribusi aliran permukaan pada proses penggelontoran sedimen yang terfluidisasi,

dengan variasi perubahan debit/tinggi tekanan, bentuk dan ketebalan sedimen, jumlah pipa fluidizer, dan pengaruh aliran permukaan.

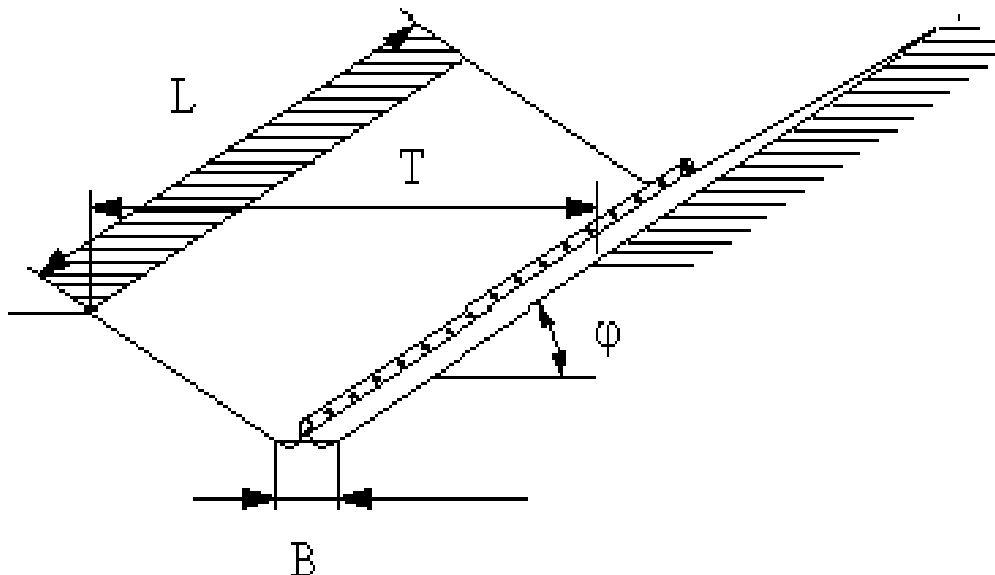
Hasil dari penelitian ini diharapkan akan dapat lebih memperdalam tentang kajian metoda fluidisasi yang nantinya dapat dijadikan salah satu alternatif untuk mengatasi masalah pendangkalan serta perawatan muara sungai.

TEORI FLUIDISASI DAN PEMANFAATANNYA

Fluidisasi zat cair dalam hubungannya dengan sedimen adalah terjadinya keseimbangan antara gaya ke atas cairan dengan berat butiran sedimen. Setelah berat sedimen terdukung oleh gaya ke atas zat cair maka zat cair dan sedimen akan menjadi serba sama dan tak terputus dalam aliran dengan kondisi tetap.

Gerakan air ke atas di antara sedimen menunjukkan bahwa energi air di bawah lebih besar dibanding energi di atas atau gaya apung yang mengangkat sedimen lebih besar dibanding dengan berat sedimen. Hal ini berarti sedimen *bed load* mendapat gaya tambahan karena pancaran air yang disebut gaya seret atau *drag force*.

Metoda fluidisasi dasar dilakukan dengan cara memompa air ke dalam sebuah pipa berlubang (horizontal) yang ditanam di bawah pasir dengan kedalaman penanaman (d_b), dan diharapkan air tersebut memancar keluar dari lubang-lubang (*perforasi*) pada pipa tersebut. Cara ini dilakukan dengan menggunakan pipa yang disebut pipa *fluidizer*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. *Pipa fluidizer* adalah sebuah pipa yang bermulut banyak (*manipol*) yang berfungsi menciptakan aliran keluar yang seragam melalui lubang-lubang dengan diameter yang diperlukan, ditentukan untuk memberikan ujung hidrolis (*hydraulic head*) yang cukup konstan sepanjang pipa (Mc Nown, 1953 dalam Weisman dan Lennon, 1994).



Gambar 2. Sketsa metoda fluidisasi (Weisman & Lennon, 1994).

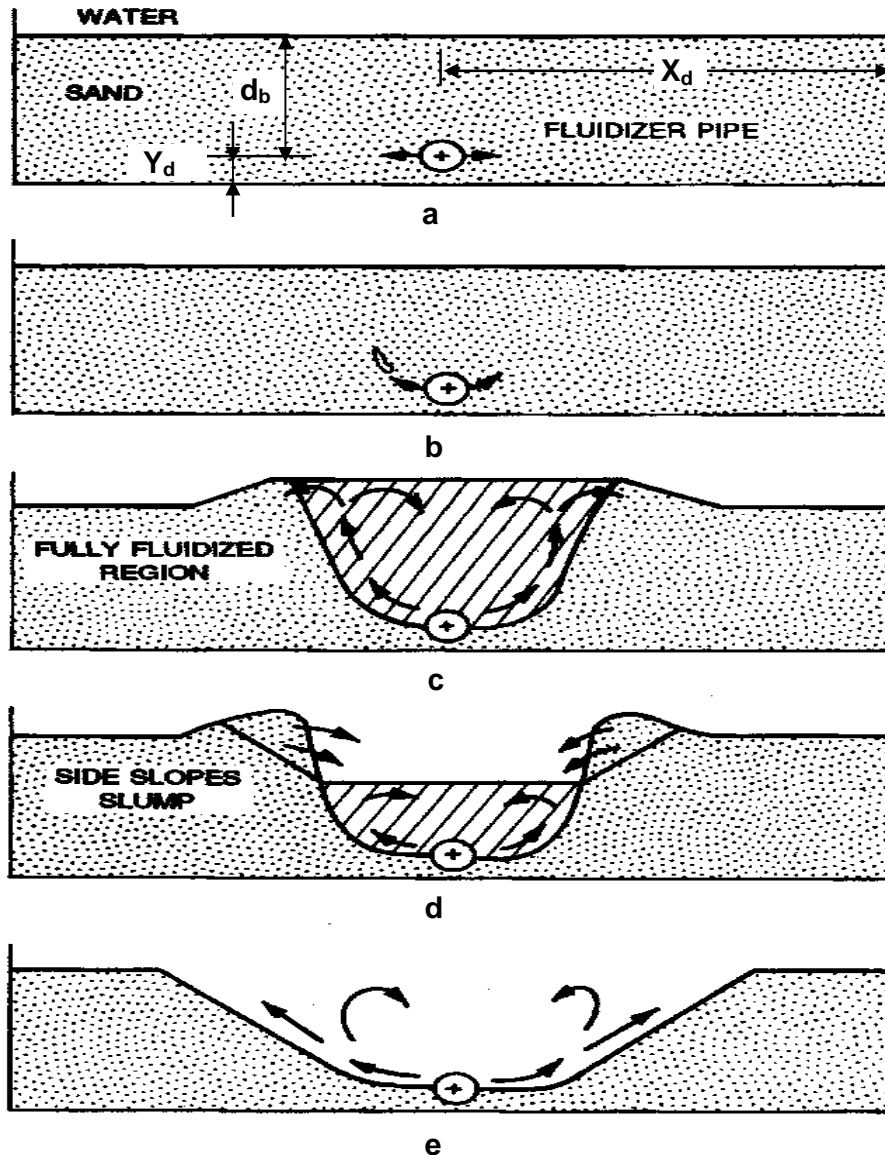
Prinsip dasar fluidisasi adalah mengubah sedimen padat menjadi fluid. Sedimen yang terusik hingga terfluidisasi akan mengalir secara gravitasi ke area lain yang lebih rendah. Bagian yang ditinggalkan merupakan lubang yang bermanfaat untuk berbagai hal (Triatmadja R, 2001). Bila daerah yang difluidisasi berupa garis, maka akan terbentuk alur dengan panjang, lebar dan kedalaman tertentu dan dapat diaplikasikan untuk membuka lidah pasir di muara sungai atau untuk menjaga kedalaman alur pelayaran dari adanya sedimentasi.

Orientasi lubang direkomendasikan berlawanan secara horisontal (Weisman & Lennon, 1994), hal ini dikarenakan ada dua alasan yang mendasari, yaitu :

1. daerah fluidisasi terlebar dicapai dengan lubang yang berlawanan arah secara horisontal,

2. pipa yang lubangnya menunjuk ke arah atas akan cenderung tersumbat pasir bilamana tidak digunakan, dan pipa dengan lubang menunjuk ke arah bawah akan cenderung memendam diri.

Penelitian laboratorium yang dilakukan oleh Weisman dan Lennon (1994) untuk lubang-lubang yang berlawanan secara horisontal, menghasilkan ukuran lubang optimum adalah antara 3,175 mm – 4,763 mm dengan spasi jarak antar lubang 2,54 cm – 5,08 cm.



Gambar 3. Tahapan-tahapan fluidisasi (Weisman & Lennon, 1994)

Proses fluidisasi akan melalui lima tahapan, seperti yang diuraikan oleh Weisman dan Lennon (1994) sebagai berikut :

- Prafluidisasi : Jika kecepatan aliran cukup rendah, maka dasar saluran tidak terganggu. (Gambar 3.a).
- Sebelum awal fluidisasi : Untuk kecepatan aliran yang lebih tinggi, kantung isolasi untuk pasir yang terganggu pindah ke atas (Gambar 3.b).
- Fluidisasi penuh : Terjadi bila seluruh daerah di atas pipa fluidisasi membentuk slurry. (Gambar 3.c).
- Pembuangan slurry : Bila daerah di atas pipa terfluidisasi sempurna, maka slurry dapat dengan mudah dihilangkan oleh aliran pompa atau gravitasi dan terbentuklah trench. (Gambar 3.d).
- Erosi aliran jet : Jika slurry dihilangkan dengan sempurna, gerusan akan tampak dekat pipa dan akan terbentuk konfigurasi akhir *trench*. (Gambar 3.e).

Setelah pembuangan slurry pada saat erosi aliran jet selesai, menurut Weisman dan Lennon (1994) lebar atas alur (*trench*) yang terbentuk adalah :

$$T = \frac{2d_b}{\tan\phi} + B \quad (1)$$

dengan : d_b = Kedalaman penanaman pipa.
 ϕ = Sudut kemiringan pasir.
 B = Lebar dasar yang terbentuk.

Geometri alur (*trench*) merupakan pertimbangan pertama dalam proses fluidisasi. Unsur geometri yang penting dari alur, seperti yang terlihat pada Gambar 1 adalah mencakup potongan lintang (T), panjang (L), dan kemiringan (ϕ).

METODE PERANCANGAN FLUIDISASI UNTUK PEMBUKAAN MUARA SUNGAI (PEMBUATAN ALUR)

Metoda fluidisasi tidak dapat dipisahkan dengan sistem perpipaan dan prinsip-prinsip utama aliran melalui pipa (saluran tertutup). Pancaran air yang dihasilkan dari lubang-lubang disuplai pompa dengan debit dan tinggi head tertentu.

Kehilangan energi yang terjadi pada lubang-lubang fluidisasi dapat diabaikan, karena kecilnya rasio antara lubang dengan ukuran dan diameter pipa. Namun demikian tekanan yang dihasilkan oleh lubang harus diperhatikan.

Tekanan yang dibutuhkan untuk fluidisasi merupakan faktor penting. Kehilangan tinggi tekanan akibat aliran melalui material pasir (anggap suatu tabung pasir) harus sama dengan berat tabung pasir tersebut jika kondisi fluidisasi sudah dalam keadaan seimbang atau gaya ke atas sama dengan gaya ke bawah (Triatmadja R, 2001). Menurut Armfield (1993) prinsip keseimbangan gaya tersebut di atas dapat direpresentasikan dalam persamaan :

$$\rho g h_e A = A L_e (1 - \varepsilon) (\rho_s - \rho) g \quad (2)$$

dengan : ρ = Rapat massa air.
 ρ_s = Rapat massa sedimen.
 ε = Porositas butir pasir.
 A = Luas tampang silinder pasir.

L_e = Panjang silinder pasir.

h_e = Kehilangan tenaga.

Total volume solid sebelum dan sesudah fluidisasi sama, maka persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$h_e = L(1 - \varepsilon) \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \quad (3)$$

dengan : ε = Porositas sebelum fluidisasi.

Gerakan air ke atas di antara sedimen menunjukkan bahwa energi air di bawah lebih besar dibanding energi di atas atau sedimen bed load mendapat gaya tambahan karena pancaran air. Menurut Daugherty dan Franzini (1977, dalam Triatmadja R, 2001) gaya seret mengikuti persamaan :

$$F_d = C_d \rho \frac{V^2}{2} A \quad (4)$$

dengan : F_d = Gaya seret.

C_d = Koefisien seret.

V = Kecepatan aliran.

A = Luas permukaan yang tertahan.

Sedimen akan terfluidisasi jika tekanan ke atas melebihi berat sendiri sedimen (Triatmadja R, 2001), dinyatakan dalam persamaan :

$$\rho g V + C_d \rho \frac{V^2}{2} A \geq \rho_s m \quad (5)$$

Debit yang dibutuhkan pada awal fluidisasi tergantung pada ukuran sedimen dan kedalaman pemendam pipa. Untuk mencapai geometri alur yang direncanakan, fluidisasi penuh (*full fluidization*) harus tercapai. Menurut Weisman & Lennon (1994) bahwa hubungan empiris antara debit awal dan penuh dapat dinyatakan dalam :

$$Q_F = F \cdot Q_1 \quad (6)$$

dengan : F = Faktor empirik (> 1.0).

Q_F = Debit fluidisasi.

Q_1 = Debit awal fluidisasi.

Tekanan pipa total (P) yang dibutuhkan untuk laju aliran pada debit fluidisasi penuh (Q_F), tergantung pada ukuran lubang dan jarak antar lubang, dimana debit tiap lubang (Q_h) menurut Weisman dan Lennon (1994) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_h = \frac{Q_F}{n} \quad (7)$$

dengan : Q_F = Debit fluidisasi.

n = Jumlah lubang.

Eksperimen yang dilakukan oleh Weisman dan Lennon (1994) menunjukkan bahwa kehilangan tekanan ($\Delta P/\gamma$) pada sebuah lubang *perforasi* terpendam dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_h = C_d \cdot A_h \cdot \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}} \quad (8)$$

dengan : C_d = Koefisien seret.

A_h = Luas lubang.

g = Kecepatan gravitasi.

ΔP = Perbedaan tekanan dari dalam ke luar lubang.

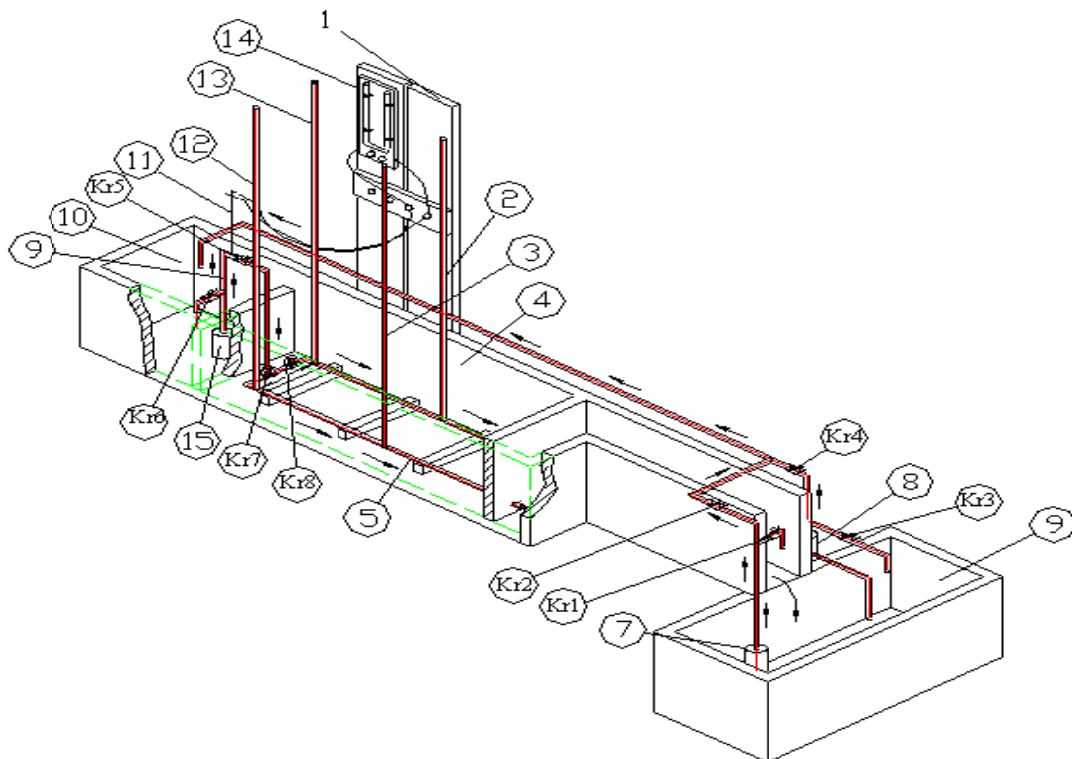
γ = Berat jenis air.

Percobaan yang dilaksanakan di Lehigh (Weisman & Lennon, 1994) mendapatkan nilai C_d berkisar antara 0,73 sampai 0,86 untuk pipa PVC.

KAJIAN KEBUTUHAN TEKANAN UNTUK FLUIDISASI DAN PENGARUH ALIRAN DI ATAS LIDAH PASIR

Pemodelan

Simulasi metoda fluidisasi dilakukan dengan menggunakan pipa berdiameter relatif besar yang ditanam memanjang di dasar saluran atau di dalam lidah pasir yang akan dibuka. Pemilihan diameter pipa ditetapkan sedemikian rupa sehingga kecepatan aliran kecil dan kehilangan tinggi tenaga akibat gesekan dengan pipa juga kecil. Pada sepanjang pipa fluidizer dibuat lubang secara horisontal berlawanan dengan diameter 3 mm dan berjarak antar lubang 5 cm. Bagian ujung hulu pipa dihubungkan dengan pompa yang akan memompa air ke dalam pipa fluidisasi.



Gambar 4. Tata letak peralatan dan model dalam saluran

Hasil dari penelitian ini diharapkan akan dapat lebih memperdalam tentang kajian metoda fluidisasi yang nantinya dapat dijadikan salah satu alternatif untuk mengatasi masalah pendangkalan serta perawatan muara dan alur pelayaran.

Penelitian yang dilakukan ini mempunyai tujuan untuk mengetahui fenomena yang terjadi dalam proses pembentukan alur dan faktor-faktor yang berpengaruh dari metoda fluidisasi dasar saluran dengan variasi perubahan debit/tinggi tekanan, bentuk dan ketebalan sedimen.

Perancangan model fluidisasi ini didasarkan pada spesifikasi sebagai berikut :

- Skala model ditetapkan 1 : 15 dengan pertimbangan peralatan, bahan dan ketersediaan ruangan laboratorium.
- Jumlah pipa fluidisasi digunakan dua pipa dengan panjang efektif 5.30 meter.
- Simulasi dengan model Fd-0, untuk mengetahui tinggi tekanan awal dan debit yang dibutuhkan untuk pra fluidisasi, awal fluidisasi dan fluidisasi penuh.
- Simulasi yang mendekati prototipe, digunakan model Fd-1 dan Fd-2.

Batasan Penelitian

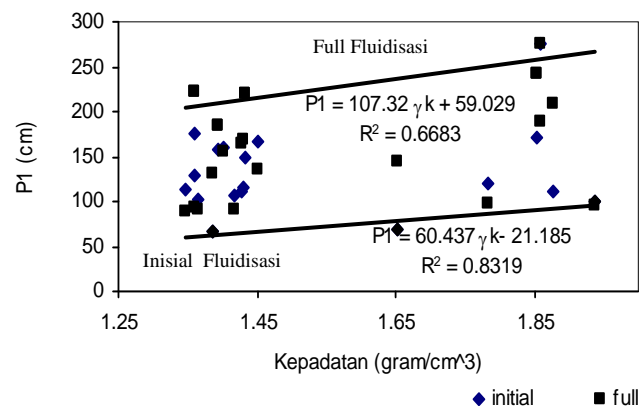
Dalam penelitian ini dibatasi dengan batasan-batasan sebagai berikut :

- Sedimen dari pasir pantai berukuran tengah $d_{50} = 0.18$ mm.
- Diameter pipa 2" dengan lubang fluidasi 3mm berjarak 5 cm.
- Media air yang digunakan adalah air tawar.
- Penelitian tidak meninjau pengaruh gelombang

Hasil & Pembahasan

a. Tinggi Tekanan Awal (P_1)

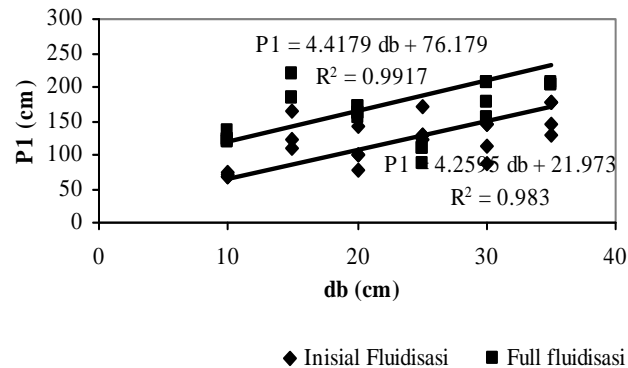
Tinggi tekanan awal yang dibutuhkan untuk proses fluidisasi dipengaruhi oleh kepadatan sedimen (γ_k) dan kedalaman penanaman pipa (d_b). Semakin padat sedimen yang menumpuk di atas pipa fluidizer, akan semakin tinggi tekanan yang dibutuhkan untuk proses fluidisasi. Demikian juga yang terjadi bila penanaman pipa semakin dalam atau timbunan sedimen semakin tinggi, akan diperlukan tinggi tekanan yang semakin besar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hubungan kepadatan sedimen dengan tinggi tekanan awal.

(kedalaman penanaman pipa 10 s/d 35 cm)

Pada Gambar 5 ditampilkan bahwa kondisi full fluidisasi membutuhkan tinggi tekanan lebih besar dibandingkan kondisi inisial fluidisasi. Pada kedua kondisi menunjukkan bahwa tinggi tekanan naik seiring dengan bertambahnya kepadatan sedimen yang akan difluidisasi.

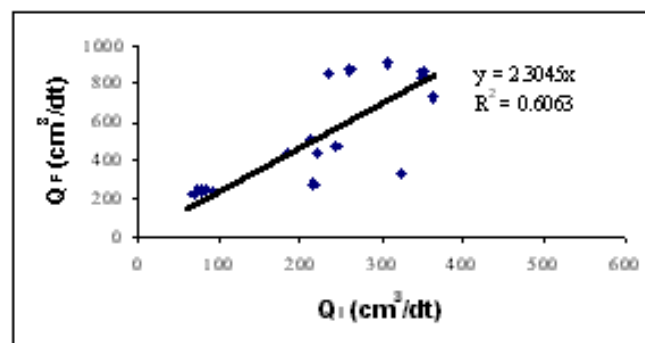


Gambar 6. Hubungan kedalaman penanaman pipa dengan tinggi tekanan awal.

Tinggi tekanan awal juga akan dipengaruhi oleh kedalaman penanaman pipa. Semakin tinggi sedimen yang tertumpuk di atas pipa fluidizer menyebabkan semakin besar volume sedimen yang akan difluidisasi, hal ini akan membutuhkan kekuatan pancaran (tenaga / tekanan) yang besar untuk mampu mengusikanya.

b. Debit Fluidisasi (Q_F)

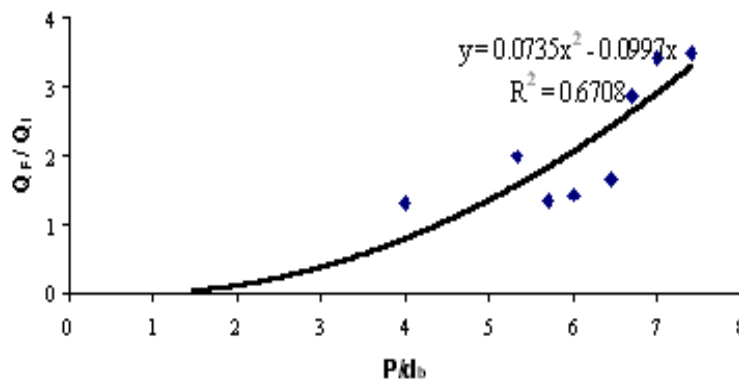
Debit yang dibutuhkan pada saat full fluidisasi (Q_F) sebagaimana dipresentasikan pada persamaan (8) adalah merupakan perkalian debit inisial (Q_I) dengan suatu faktor empirik (F). Pada Gambar 7 berikut ini, ditampilkan hubungan antara debit awal dan debit fluidisasi penuh, mengikuti persamaan $Q_F = 2,304 Q_I$ atau nilai $F = 2,304$.



Gambar 7. Hubungan debit inisial dengan debit full fluidisasi

Sedangkan hubungan antara faktor empirik (F) dengan tinggi tekanan saat fluidisasi awal (P_1) dan ketebalan sedimen (d_b) dijelaskan pada Gambar 8. Pada ketebalan sedimen yang

sama, nilai faktor empirik akan meningkat seiring dengan meningkatnya tinggi tekanan saat awal fluidisasi.



Gambar 8. Hubungan antara Q_F/Q_1 dengan P_1/d_b

Sebagaimana dijelaskan dalam teori Darcy Weisbach (Triatmodjo B, 1996) bahwa kehilangan tenaga yang disebabkan oleh tegangan gesek sepanjang pengaliran air dalam pipa berpenampang lingkaran dipresentasikan dengan persamaan :

$$h_f = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} Q^2 \quad (9)$$

dengan : f = Koefisien gesekan Darcy Weisbach.

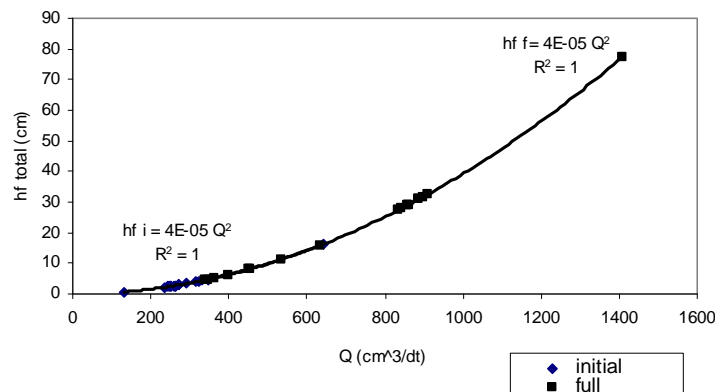
L = Panjang pipa.

D = Diameter pipa.

Q = Debit aliran.

Berdasarkan data pengujian didapatkan hubungan antara kehilangan tenaga dengan debit pada kondisi inisial dan full fluidisasi. Dari Gambar 9 berikut, diperoleh gambaran hubungan antara debit dan kehilangan tenaga, sesuai dengan persamaan (9) yaitu $h_f = k Q^2$

dengan $k = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5} = 0.00004$.

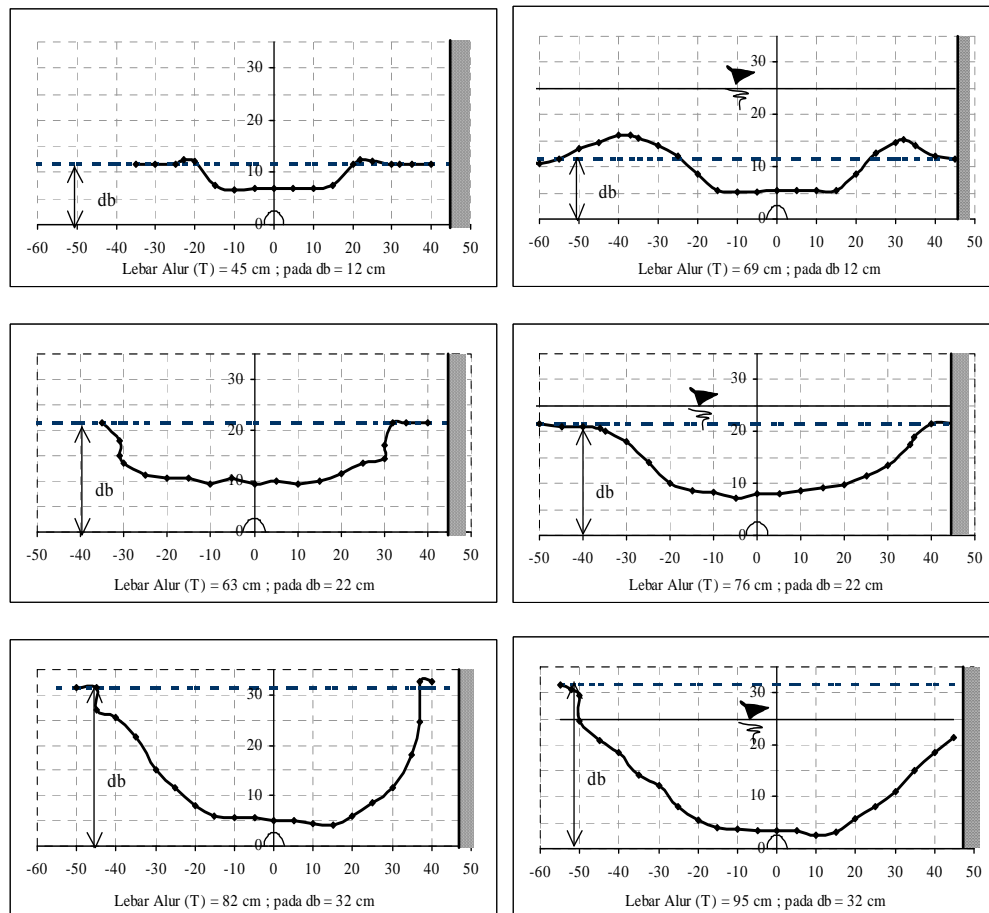


Gambar 9. Hubungan debit dengan kehilangan tenaga

c. Aliran Permukaan

Pengaruh aliran permukaan di saluran pada proses fluidisasi ini adalah membantu penggelontoran atau transport sedimen yang sudah berubah menjadi *slurry/suspended load* akibat proses fluidisasi. Saat proses fluidisasi mencapai tahapan full fluidisasi, *bed load* berubah menjadi *suspended load/slurry* yang akan mengalir sesuai dengan gravitasi ke area lain yang lebih rendah. Dengan bantuan aliran permukaan, proses penggelontoran atau pembuangan slurry dapat lebih mudah dan cepat serta mendapatkan geometri alur yang lebih bagus.

Pengamatan visual dari penampang alur yang terbentuk tanpa pengaruh aliran permukaan dan yang menggunakan aliran permukaan, ditampilkan pada Gambar 10. Dari penampakan visual pada gambar penampang lintang alur yang terbentuk, aliran permukaan memberikan pengaruh yang signifikan terutama pada lebar alur (T). Sedangkan berdasar pengamatan visual, pengaruh terhadap kedalaman alur tidak tampak dikarenakan aliran permukaan yang disimulasikan tidak mampu menggerus / menggelontor slurry yang terhambat tumpukan sedimen di bagian hilir alur.



(a) Tanpa aliran permukaan

(b) Dengan aliran permukaan

Gambar 10. Perbandingan geometri alur

KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat diambil sebagai kesimpulan dari kajian awal tentang metode fluidisasi ini, adalah sebagai berikut :

- 1). Tinggi tekanan awal akan bertambah mengikuti bertambahnya ketebalan sedimen. Tinggi tekanan awal yang dibutuhkan pada tahap inisial fluidisasi sebesar $P_1 = 5,2 d_b$, dan sebesar $P_1 = 8,6 d_b$ pada saat full fluidisasi.
- 2). Debit yang dibutuhkan pada saat full fluidisasi lebih besar dibandingkan pada saat inisiasi. Hal ini sesuai dengan teori dasar $Q_F = F Q_I$; dengan F adalah faktor empirik tak berdimensi yang besarnya lebih dari satu, pada pengujian ini diperoleh nilai $F = 2,304$.
- 3). Aliran permukaan berpengaruh secara signifikan terhadap geometri alur terutama pada lebar alur yang terbentuk, tetapi pengaruh utama proses fluidisasi ada pada besarnya tekanan dan debit fluidisasi itu sendiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak atas bantuannya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan, khususnya kepada Rektor UNISSULA, Dirjen DIKTI melalui Proyek EEDP, serta Departemen Kelautan dan Perikanan yang telah membiayai sebagian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, M.B., and Price, W.A., 1994, *Coastal, Estuarial and Harbour Engineers' Reference Book*, First Edition, E & FN Spon, London
- Armfield, 1993, *Permeability / Fluidisation Apparatus*, Instruction Manual
- De Vries, M., 1977, *Scale Models In Hydraulic Engineering*, International Institute For Hydraulic And Environmental Engineering, Delf
- Lennon, G. P., Chang, Tom, and Weisman, R. N., 1990, *Predicting Incipient Fluidization of Fine Sands in Unbounded Domains*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 116, No. 12, pp. 1454
- Mardjikoeno, P., 1988, *Transpor Sedimen*, PAU IT UGM, Yogyakarta
- M.F. Niam, Radiana T., dan Nizam, 2002, *Simulasi Fluidisasi Dasar pada Saluran dengan Aliran Permukaan untuk Perawatan Muara dan Alur Pelayaran*, Tesis, Program Studi Teknik Sipil, Pascasarjana-UGM, Yogyakarta
- Musriati, N., 2002, *Kebutuhan Tekanan Awal Fluidisasi Sedimen Basah Non Kohesif*, 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 II*, Cetakan ke empat, Beta Offset, Yogyakarta
- Triatmodjo B, 1999, *Teknik Pantai*, Cetakan Pertama, Beta Offset, Yogyakarta

Weisman, R. N., Lennon, G. P., and Roberts, E. W., 1988, *Experiment on Fluidization in Unbounded Domains*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 114, No. 5, pp. 502

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