

**KEBUTUHAN DEBIT PADA PROSES FLUIDISASI SEDIMEN NON KOHESIF
UNTUK PENANGANAN PENDANGKALAN MUARA SUNGAI**
(FLOW RATE REQUIREMENT ON FLUIDIZATION PROCESS OF NON-COHESIVE SEDIMENT FOR
SEDIMENTATION MAINTENANCE IN ESTUARY)

MOH FAIQUN NI'AM⁵⁾

ABSTRAK

Permasalahan pendangkalan muara sungai biasanya disebabkan oleh proses dinamik daerah pantai. Usaha stabilisasi yang biasa dilakukan adalah dengan pengerukan atau membuat bangunan sipil. Metoda fluidisasi yang merupakan alternatif baru untuk penanganan sedimentasi di daerah muara dan estuari, sangat menarik untuk dikaji dengan harapan nantinya dapat diaplikasikan di Indonesia. Makalah ini membahas kajian/penelitian model fisik tentang metoda fluidisasi dasar menggunakan sedimen non kohesif (pasir). Pengamatan hasil yang terbentuk, diujicoba dengan menggunakan variasi parameter: ketebalan sedimen / kedalaman penanaman pipa (d_b), debit fluidisasi (Q_F), dan kepadatan sedimen (γ_k). Skala model yang dipakai 1 : 15 dengan pertimbangan pada ketelitian pengukuran serta keterbatasan alat laboratorium dan ruangan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa lebar dan kedalaman alur yang terbentuk membutuhkan besarnya debit fluidisasi dan dipengaruhi oleh ketebalan dan kepadatan sedimen. Debit fluidisasi pada kondisi inisial (Q_i) berkisar antara $0,33 d_b^2 - 0,38 d_b^2$, sedangkan saat tercapai full fluidisasi (Q_F) dibutuhkan debit antara $0,85 d_b^2 - 1,74 d_b^2$.

Kata kunci : Fluidisasi dasar, sedimentasi, muara sungai, estuari.

ABSTRACT

Sedimentation problem at river mouth is caused by dynamic coastal process. Remedy that generally performed was by dredging the sediment or constructing civil work. Fluidization method is an option and new alternative to handle sedimentation problem at river mouth and estuary area, much needed to study for application in Indonesia. This paper explains the method based on physical model using a non-cohesive sediment material. There were tested with varying parameters: sediment thickness/bed depth (d_b) fluidization flow rate (Q_F), and sediment density (γ_k). The model scale was 1: 15 to enhance the measurement accuracy and to meet the limitation of laboratory equipment and space. The result revealed that to form a certain width and depth of channel requires a certain fluidization flow rate and influenced by the sediment thickness and density. At initial condition require fluidization flow rate $Q_i = 0,33 d_b^2 - 0,38 d_b^2$ and $Q_F = 0,85 d_b^2 - 1,74 d_b^2$ at full fluidization.

Keywords: Bed Fluidization, sedimentation, river mouth, estuary.

⁵⁾ Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil UNISSULA Semarang

I. LATAR BELAKANG

Proses dan pola sedimentasi di muara sungai dipengaruhi oleh sedimen dasar, arus, dan hidrodinamika laut. Banyaknya endapan yang terjadi di muara sungai akan menyebabkan gangguan pembuangan debit sungai ke laut. Untuk perawatan muara serta mengatasi masalah pendangkalan ini ada beberapa cara yang dapat dilakukan. Dalam menentukan dan memilih cara-cara yang tepat, perlu dipertimbangkan cara yang paling ekonomis.

Cara-cara perawatan muara yang selama ini dilakukan, adalah: pengerukan dengan tenaga manusia, pengerukan dengan alat berat, membuat bangunan jetty, dan membangun struktur ambang bawah air.

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.

Metoda fluidisasi ini dilakukan dengan menggunakan pipa dengan diameter 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. Jika daerah yang difluidisasi merupakan garis, ia dapat membuka lidah pasir di muara sungai atau memperdalam alur pelayaran sebuah pelabuhan (Triatmadja R, 2001).

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui fenomena yang terjadi dalam proses

pembentukan alur dan faktor-faktor yang berpengaruh dari metoda fluidisasi dasar saluran (M.F. Nilam, Radiana T., dan Nizam, 2002), antara lain :

- a. Merinci kembali permasalahan fluidisasi.
- b. Mencari kelengkapan informasi tentang pengaruh kinerja pompa, pengaruh penyumbatan dan pengaruh sifat fisis sedimen.

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 dan alur pelayaran.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Prinsip Dasar Dan Fenomena Fluidisasi

Fluidisasi adalah suatu proses dimana fluida (gas atau zat cair) disemprotkan ke dalam media butiran (*granular medium*) yang menyebabkan partikel atau butiran tersebut terangkat dan terpisah (Anonim, 1992). Metode fluidisasi biasa dimanfaatkan dalam bidang-bidang rekayasa kimia dan rekayasa penyehatan untuk proses pembakaran, perpindahan panas dan massa, serta proses *backwashing* media filter. Metode fluidisasi dalam bidang teknik sipil khususnya bidang rekayasa pantai dipakai untuk penggelontoran sedimen pasir di muara sungai, *inlet* pasang surut, dan pemeliharaan alur pelayaran di mulut pelabuhan.

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 drag* atau gaya seret.

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, dalam Triatmadja R, 2001) prinsip keseimbangan gaya tersebut di atas dapat direpresentasikan dalam persamaan :

$$\rho g h_c A = AL_c(1 - \varepsilon)(\rho_s - \rho)g \quad (2.1)$$

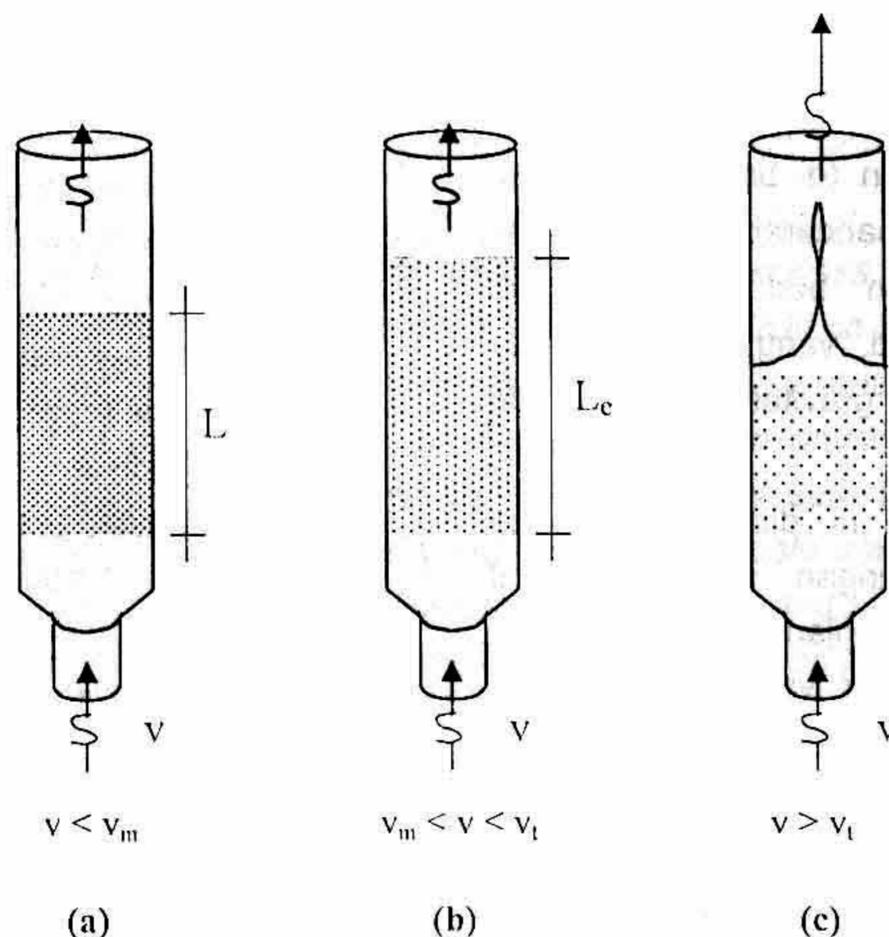
- dengan :
- ρ = rapat massa air.
 - ρ_s = rapat massa sedimen.
 - ε = porositas pasir saat terfluidisasi.
 - A = luas tampang silinder pasir.
 - L_c = panjang silinder pasir yang terfluidisasi.
 - h_c = kehilangan tenaga.

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

$$h_c = L(1 - \varepsilon) \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \quad (2.2)$$

- dengan :
- ε = porositas sebelum fluidisasi.
 - L = panjang silinder pasir mula-mula.

GAMBAR 2. 1.
PRINSIP DASAR FLUIDISASI



Sumber: Triatmadja R, 2001

Proses fluidisasi seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.1 adalah dimana material pasir setebal L dalam tabung akan dialiri zat cair

dengan kecepatan v . Menurut Chase (2002), jika kecepatan aliran lebih kecil dari kecepatan minimum fluidisasi ($v < v_m$) material pasir tak

terusik (Gambar 2.1.a). Jika kecepatan aliran ditambah sehingga berada diantara kecepatan minimum fluidisasi dan kecepatan endap butiran ($v_m < v < v_t$), maka pasir akan mengembang mencapai ketebalan L_e (Gambar 2.1.b). Dan pasir akan terangkat mengikuti kecepatan aliran, jika $v > v_t$ (Gambar 2.1.c).

III. Metode Fluidisasi Di Bidang Rekayasa Sipil

Metode fluidisasi yang diterapkan di bidang rekayasa sipil dititikberatkan pada proses penanganan sedimen. Dengan metode fluidisasi diharapkan dapat mempermudah proses pemindahan sedimen (*sand bypassing*) maupun pembentukan geometri alur.

Proses pembentukan geometri alur yang didapatkan, dipengaruhi oleh parameter-parameter aliran melalui pipa (aliran saluran tertutup). Parameter-parameter aliran tersebut adalah diameter pipa (D), diameter lubang (s_h),

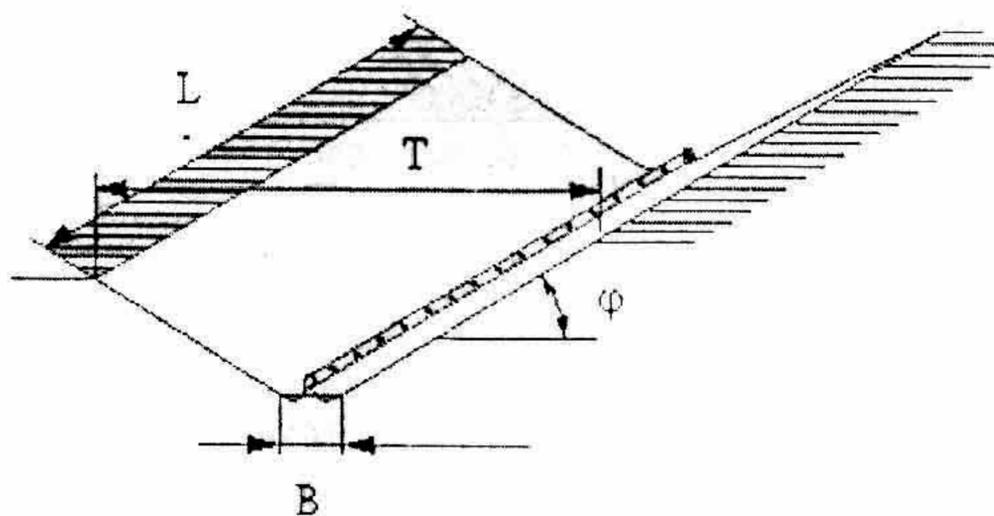
jarak antar lubang (s_h), debit fluidisasi (Q_F), dan tinggi tekanan (p).

3.1. Proses Pembentukan Alur

Metode fluidisasi dilakukan dengan menggunakan pipa yang disebut pipa fluidizer. Pipa fluidizer adalah sebuah pipa yang bermulut banyak (*manipol*) yang berfungsi menciptakan aliran keluar yang seragam melalui lubang-lubang (*perforasi*) dengan diameter yang diperlukan, ditentukan untuk memberikan ujung hidrolis (*hydraulic head*) yang cukup konstan sepanjang pipa fluidizer (Mc Nown, 1953 dalam Weisman dan Lennon, 1994).

Metode fluidisasi dasar yang digambarkan di atas adalah dengan 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.

GAMBAR 3. 1.
SKETSA METODA FLUIDISASI



Sumber: Weisman & Lennon, 1994.

Prinsip dasar fluidisasi adalah mengubah sedimen padat menjadi fluid. Sedimen yang terusik hingga terfluidisasi akan mengalir secara gravitas ke area lain yang lebih rendah. Bagian yang ditinggalkan merupakan lubang yang

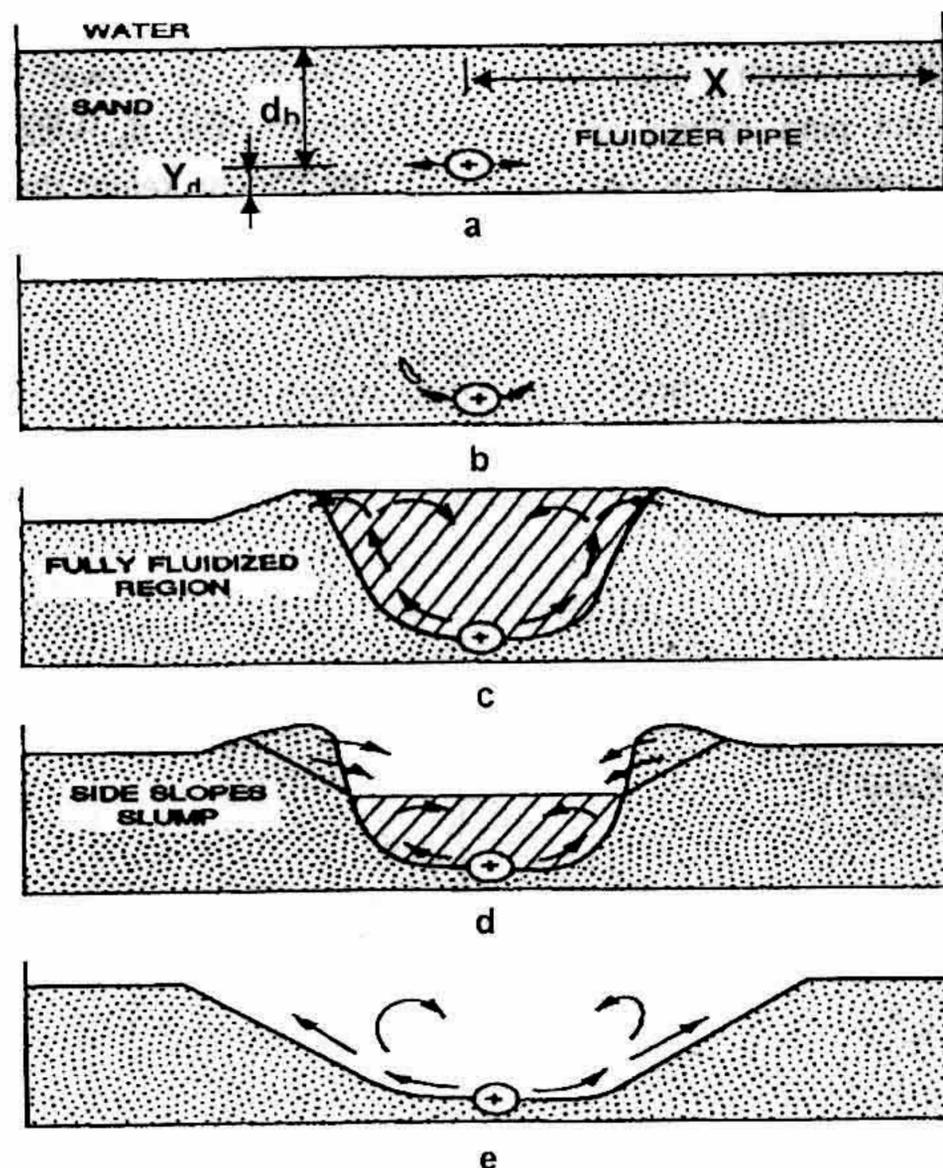
bermanfaat untuk berbagai hal (Triatmadja R, 2001). Bila daerah yang difluidisasi berupa garis, maka akan terbentuk alur dengan panjang, lebar dan kedalaman tertentu dan dapat diaplikasikan untuk membuka lidah pasir di

muara sungai atau untuk menjaga kedalaman alur pelayaran dari adanya sedimentasi.

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 3.2.a).
- Sebelum awal fluidisasi: untuk kecepatan aliran yang lebih tinggi, kantung isolasi untuk pasir yang terganggu pindah ke atas (Gambar 3.2.b).
- Fluidisasi penuh: Terjadi bila seluruh daerah di atas pipa fluidisasi membentuk slurry. (Gambar 3.2.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 3.2.d).
- Erosi aliran jet: Jika slurry dihilangkan dengan sempurna, gerusan akan tampak dekat pipa dan akan terbentuk konfigurasi akhir trench. (Gambar 3.2.e).

GAMBAR 3.2.
TAHAPAN-TAHAPAN FLUIDISASI



Sumber: Weisman & Lennon, 1994

Setelah pembuangan slurry pada saat erosi aliran jet selesai, lebar atas alur yang terbentuk adalah :

$$T = \frac{2d_h}{\tan\phi} + B \quad (3.1)$$

dengan :

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

Geometri trench merupakan pertimbangan pertama dalam proses fluidisasi. Unsur geometri yang penting dari trench adalah mencakup potongan lintang (T), panjang (L), dan kemiringan (ϕ). (lihat Gambar 3.1).

2.2. Diameter dan Panjang Pipa

Menurut Mc Nown (1953, dalam Weisman & Lennon, 1994) bahwa pemilihan besarnya diameter pipa adalah untuk memberikan head hidrolis agak konstan sepanjang pipa fluidisasi. Semakin besar diameter pipa, kecepatan aliran dan tinggi tenaga yang hilang akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan persamaan kehilangan tekanan dari Darcy Weisbach, yaitu:

$$h_f = 8f \frac{L}{D^5} \frac{Q^2}{\pi^2 g} \quad (2.2)$$

dengan panjang pipa L, diameter pipa D dan debit aliran Q.

Penentuan panjangnya pipa juga harus dipertimbangkan. Semakin panjang pipa fluidisasi, akan menyebabkan kehilangan tekanan semakin besar. Pipa yang lebih panjang membutuhkan diameter yang lebih besar pula. Selain itu juga membutuhkan kecepatan aliran atau debit yang lebih besar.

2.3. Diameter Lubang dan Jarak antar Lubang

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.

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.

3.4. Debit Fluidisasi

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

$$Q_F = F \cdot Q_1 \quad (3.3)$$

dengan : F = faktor empirik (> 1.0).

Q_F = debit fluidisasi.

Q_1 = debit awal fluidisasi.

Debit melalui lubang (Q_h) pada pipa yang terpendam, oleh Weisman dan Lennon (1994) didekati dengan persamaan :

$$Q_h = C_Q A_h \sqrt{2g \frac{\Delta P_0}{\gamma}} \quad (3.4)$$

$$Q_h = \frac{Q_F}{n} \quad (3.5)$$

dengan :

$\frac{\Delta P_0}{\gamma}$ = Kehilangan tenaga pada lubang

(Orifice head loss)

C_Q = Koefisien debit.

A_h = Luas penampang lubang.

ΔP_0 = Beda tinggi tekanan dari dalam ke luar lubang.

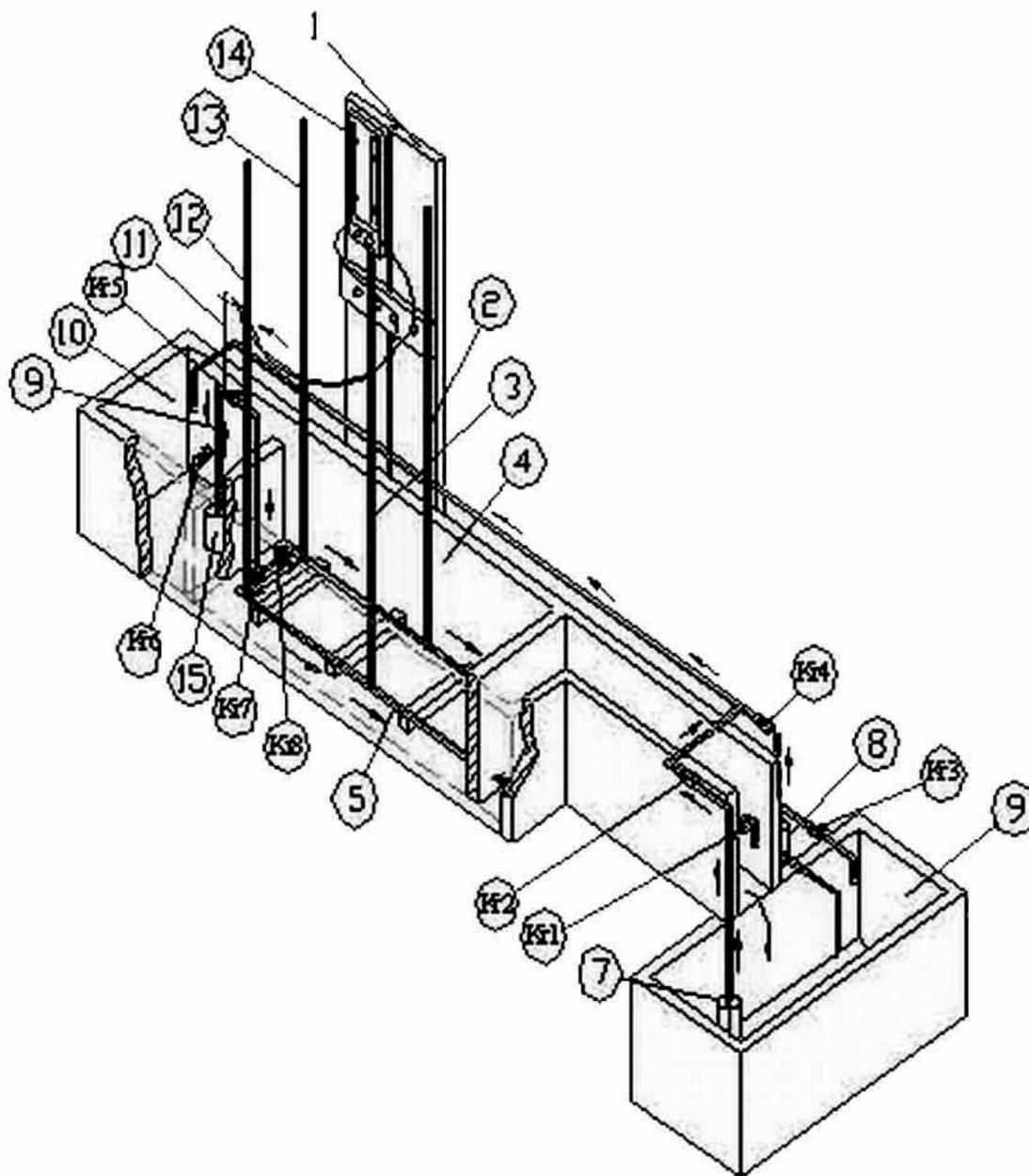
- γ = Berat jenis air.
- G = Gaya gravitasi.
- Q_F = Debit fluidisasi.
- n = Jumlah lubang.

IV. CARA PENELITIAN

Model dibuat dengan menggunakan pipa PVC 2 batang tebal 3 mm berdiameter 2" dan panjang 14 meter, dalam suatu saluran. Pipa yang dilubangi sepanjang 5.30 meter dengan diameter lubang 3 mm dan jarak antar lubang 5 cm. Lubang dibuat horizontal arah berlawanan, dengan menghubungkan bagian pangkal pipa ke pipa suplai air dan bagian hilir pipa diberi penutup yang sewaktu-waktu dapat dibuka.

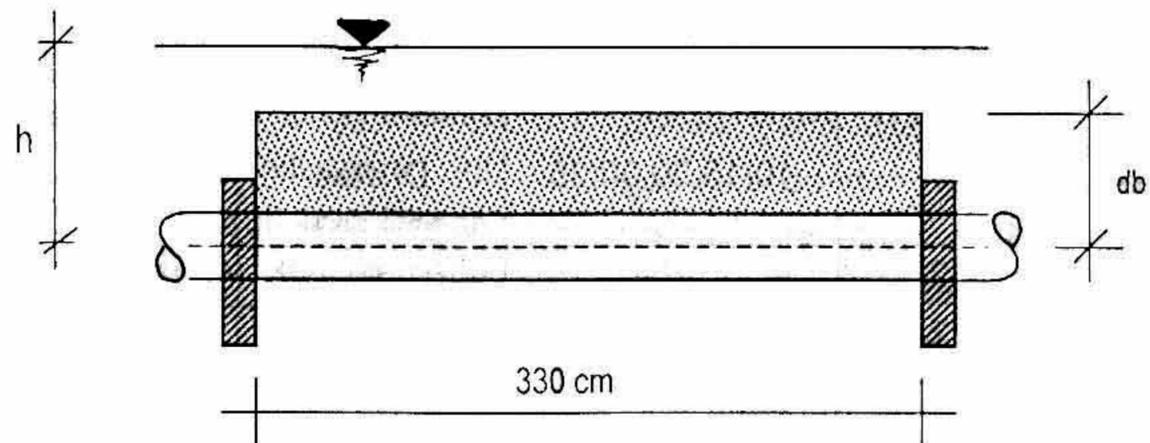
Model dibuat dengan menggunakan pipa PVC 2 batang tebal 3 mm berdiameter 2" dan panjang 14 meter, dalam suatu saluran. Pipa yang dilubangi sepanjang 5.30 meter dengan diameter lubang 3 mm dan jarak antar lubang 5 cm. Lubang dibuat horizontal arah berlawanan, dengan menghubungkan bagian pangkal pipa ke pipa suplai air dan bagian hilir pipa diberi penutup yang sewaktu-waktu dapat dibuka.

GAMBAR 4. 1.
TATA LETAK SALURAN, SUSUNAN PIPA DAN PERALATAN

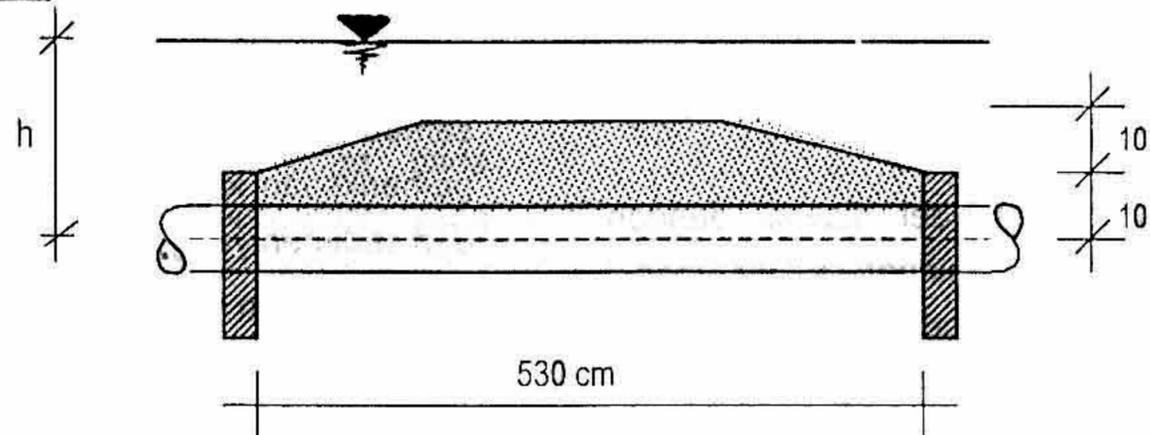


GAMBAR 4 . 2 .
TIGA VARIASI BENTUK MODEL FLUIDISASI

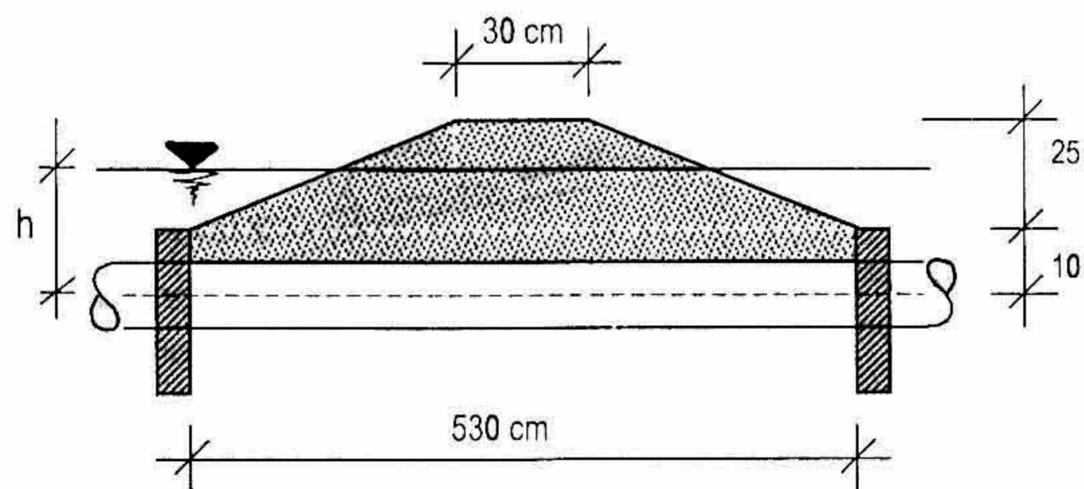
Model Fd-0 :



Model Fd-1 :



Model Fd-2 :



Pembuatan model fluidisasi ini didasarkan pada spesifikasi sebagai berikut :

1. Skala model ditetapkan 1 : 15 dengan pertimbangan peralatan, bahan dan ketersediaan ruangan laboratorium.
2. Panjang efektif efektif 3.30 meter untuk model Fd-0 dan 5.30 meter untuk model Fd-1 dan Fd-2.
3. Simulasi model Fd-0 menggunakan 2 macam variasi ketinggian air, yaitu model kering dan basah, bertujuan untuk mengetahui besarnya debit pada awal fluidisasi (Q_i) dan debit fluidisasi penuh (Q_F).
4. Simulasi fluidisasi penuh dengan model yang mendekati prototipe, digunakan 2 macam model yaitu model Fd-1 dan Fd-2.

TABEL 4.1.
VARIASI PENGUJIAN MODEL

Bentuk Model	Variasi Banyak Pipa	Kedalaman sedimen (db) (cm)	Kedalaman air (h) (cm)	Variasi $Q_{\text{Fluidisasi}} (Q_F)$	Variasi $Q_{\text{Aliran}} (Q_S)$
Model Fd-0 Kering *)	1	10;15;20;30;35	-	3	-
Terendam*)	1	10;15;20;30;35	Di atas sedimen	3	-
Model Fd-1	2	20	0	3	-
Model Fd-2	2	35	0	3	-
Model Fd-1	2	20	20 ; 25 ; 30	3	2
Model Fd-2	2	35	20 ; 25 ; 30	3	2

4.1. Pelaksanaan Penelitian

a. Model Fd-0

Pelaksanaan uji model diawali dengan menguji model Fd-0. Mengingat ketersediaan / volume bahan sedimen model yang ada, maka panjang efektif dari model Fd-0 dibuat sepanjang 3,30 m dengan lebar sesuai lebar saluran 1,50 m dan ketebalannya bervariasi 10 cm sampai dengan 35 cm dihitung dari as pipa fluidizer. Sebelum pelaksanaan running fluidisasi, diambil sampel pada setiap ketebalan sedimen untuk pemeriksaan kepadatan dan berat jenis butiran dari sedimen yang akan difluidisasi.

Pada model Fd-0 diuji dengan dua macam keadaan sedimen, yaitu kondisi terendam / basah dan tak terendam / kering. Kondisi terendam adalah dimana ketinggian air di atas permukaan sedimen model, dan sebaliknya dinamakan kondisi kering jika permukaan air selalu berada di bawah ketebalan sedimen.

b. Model Fd-1 dan Fd-2

Model Fd-1 dan Fd-2 diuji dengan dua kondisi yaitu kering / tanpa arus permukaan dan dengan variasi ketinggian air dan arus permukaan. Timbunan sedimen dibentuk trapesium menyerupai bentuk lidah pasir. Panjang efektif pipa fluidizer adalah 5,30 m dengan lebar sesuai lebar saluran 1,50 m.

Sebelum pelaksanaan running fluidisasi, diambil sampel pada setiap variasi model untuk pemeriksaan kepadatan dan berat jenis butiran dari sedimen yang akan difluidisasi.

4.2. Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi dengan batasan-batasan sebagai berikut :

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

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Ketebalan Sedimen Dasar

Ketebalan sedimen dasar (d_b) atau dapat disebut dengan kedalaman penanaman pipa (*depth of burial* / d_b) merupakan salah satu parameter penting yang divariasikan untuk diperiksa seberapa besar pengaruhnya pada fenomena proses fluidisasi.

Gambar 5.1. memaparkan hasil pengamatan dari uji model Fd-2 tentang pengaruh ketebalan sedimen terhadap lebar alur

yang terbentuk karena proses fluidisasi. Hasil yang ditampilkan adalah murni karena proses fluidisasi, tanpa ada pengaruh luar lainnya seperti aliran atau arus permukaan. Sebagai perbandingan, ditampilkan juga kurva pengaruh ketebalan sedimen terhadap lebar alur yang terbentuk, dengan hitungan menggunakan persamaan (3.1). Pada perhitungan ini digunakan asumsi dasar, sudut kemiringan lereng (ϕ) = 35° (Anonim, 1992) dan diameter pipa (D) = 5,08 cm.

Dari hasil uji model pada Gambar 5.1 terlihat bahwa pada saat terjadi fluidisasi penuh, semakin tebal sedimen yang difluidisasi akan diperoleh alur yang semakin lebar. Dan jika debit fluidisasi ditingkatkan, maka akan terjadi peningkatan tinggi tekanan sehingga pada ketebalan yang sama dengan debit yang

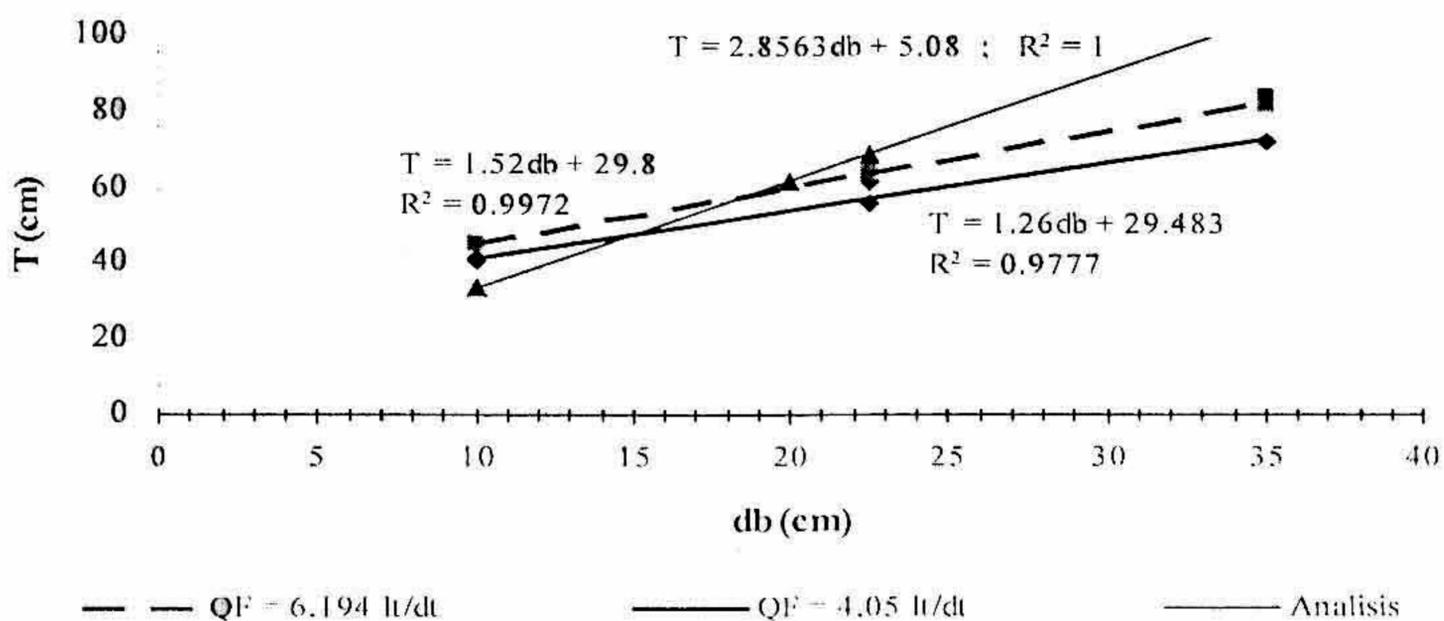
semakin besar akan mendapatkan alur yang semakin lebar. Dengan demikian jika tinggi tekanan meningkat, maka pada ketebalan yang sama akan didapatkan alur yang semakin lebar.

Hasil uji model yang ditunjukkan oleh persamaan kurva pada Gambar 5.1 menjelaskan bahwa pada dasar alur ternyata telah terjadi gerusan dengan lebar (B) berkisar 29,4 cm sampai dengan 29,8 cm. Sehingga jika dikembalikan pada teori dasar, maka pada penelitian ini lebar alur yang terjadi mengikuti persamaan (3.1), yaitu :

$$T = \frac{2d_b}{\tan\phi} + B ; \text{ dengan } B \text{ sebesar } 29,48$$

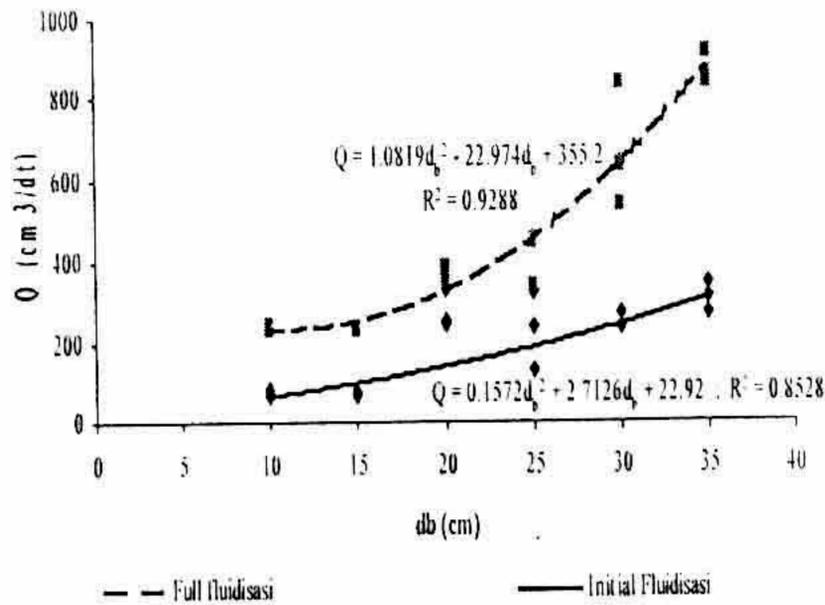
cm untuk $Q_F = 4,050 \text{ lt/dt}$ dan B sebesar 29,80 cm untuk $Q_F = 6,194 \text{ lt/dt}$.

GAMBAR 5 . 1 .
HUBUNGAN KETEBALAN SEDIMEN (DB) DENGAN LEBAR ALUR (T)

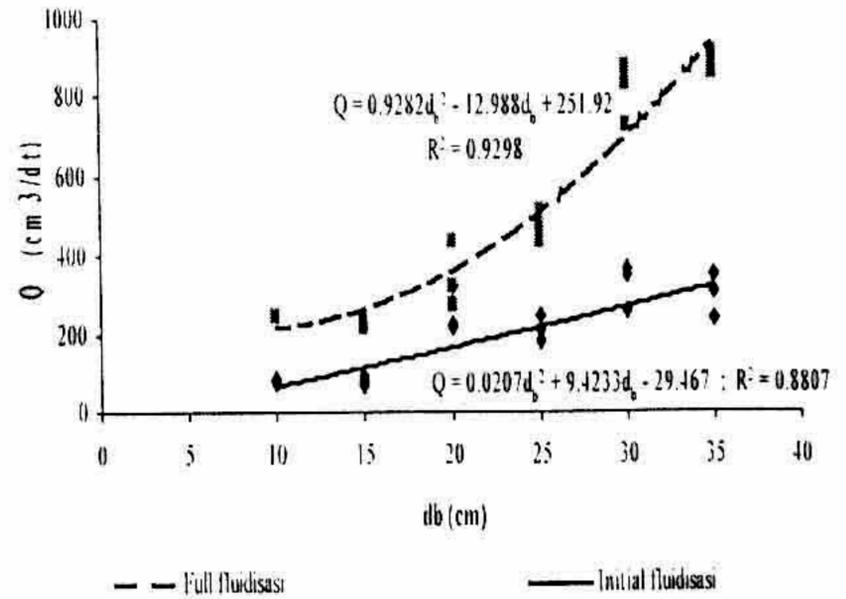


Sumber: Hasil Analisis

GAMBAR 5 . 2 .
HUBUNGAN KETEBALAN SEDIMEN (D_B) DENGAN DEBIT (Q)



a). Sedimen basah



b). Sedimen kering

Sumber: Hasil Analisis

Sesuai dengan persamaan (3.1) di atas, sudut lereng yang terbentuk pada persamaan kurva Gambar 5.1 ini, diatas sudut 50° . Hal ini dapat terjadi karena pada saat proses fluidisasi berlangsung, gerusan di bagian dasar menyebabkan tumpukan sedimen bagian atas tidak stabil dan runtuh dengan sendirinya. Keruntuhan ini menciptakan tebing-tebing dengan sudut kemiringan yang besar/terjal. Disamping itu karena kondisi sedimen adalah pasir halus yang basah tetapi tak jenuh air dan kohesifitasnya masih tinggi, menyebabkan terjadinya keruntuhan dengan tebing-tebing yang terjal.

Pengaruh ketebalan sedimen terhadap debit yang dibutuhkan dalam suatu proses fluidisasi merupakan fenomena lain yang diuji dalam penelitian ini. Data pengujian yang dilakukan pada tiap variasi ketebalan sedimen memberikan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.

Gambar 5.2 menjelaskan bahwa semakin tebal sedimen yang akan difluidisasi membutuhkan debit fluidisasi yang semakin besar. Kebutuhan debit yang semakin meningkat

ini dikarenakan pada saat itu tinggi tekanan yang diperlukan juga semakin besar, dengan demikian kecepatan aliran juga akan semakin besar. Jika kecepatannya membesar maka debit juga akan semakin besar.

Pada kondisi sedimen terendam air/basah, debit yang dibutuhkan saat tercapai fluidisasi awal (*initial*) sebesar $Q = 0,1572 d_b^2 + 2,7126 d_b + 22,92$ atau $Q = 0,33 d_b^2$. Selanjutnya pada saat fluidisasi penuh (*full fluidization*), kebutuhan debitnya mencapai $Q = 1,0819 d_b^2 - 22,974 d_b + 355,2$ atau $Q = 1,74 d_b^2$.

Sedangkan pada kondisi sedimen tak terendam air / kering, kurva pada Gambar 5.2b menunjukkan kebutuhan debit saat tercapai awal fluidisasi adalah sebesar $Q = 0,0207 d_b^2 + 9,4233 d_b - 29,467$ atau $Q = 0,38 d_b^2$. Kebutuhan debit yang relatif lebih besar bila dibandingkan pada kondisi sedimen basah ini, disebabkan pada kondisi sedimen kering dibutuhkan banyak zat cair untuk mengisi pori lebih dulu sebelum tercapainya awal fluidisasi. Gambar 6.2b juga menjelaskan bahwa saat tercapai fluidisasi penuh dibutuhkan tinggi

tekanan sebesar $Q = 0,9282 d_b^2 - 12,988 d_b + 251,92$ atau $Q = 0,85 d_b^2$.

5.2. Kehilangan Tenaga dan Debit pada Fluidisasi

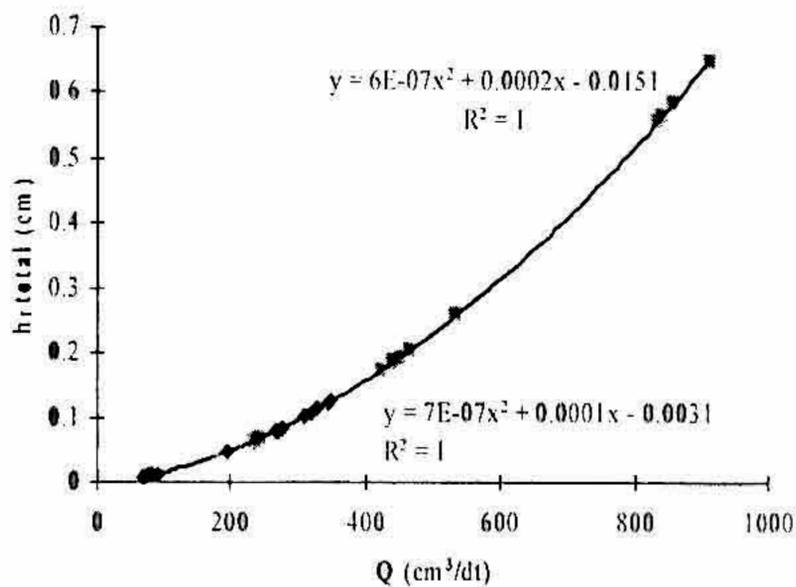
Gambaran hubungan antara debit dengan kehilangan tenaga telah dijelaskan oleh Darcy Weisbach pada persamaan (3.2), dengan h_f adalah kehilangan tenaga akibat gesekan zat cair dengan dinding pipa. Pada penelitian ini dianalisis hubungan antara keduanya, dengan menghitung nilai h_f total akibat gesekan dengan dinding pipa dan akibat lubang fluidisasi.

Gambar 5.3 menjelaskan bahwa semakin besar debit fluidisasi akan mengakibatkan kehilangan tenaga yang semakin besar. Besarnya kehilangan tenaga tersebut merupakan fungsi kuadrat dari debit, hal ini sesuai dengan persamaan (3.2) dari Darcy Weisbach. Dari pengujian ini didapatkan bahwa

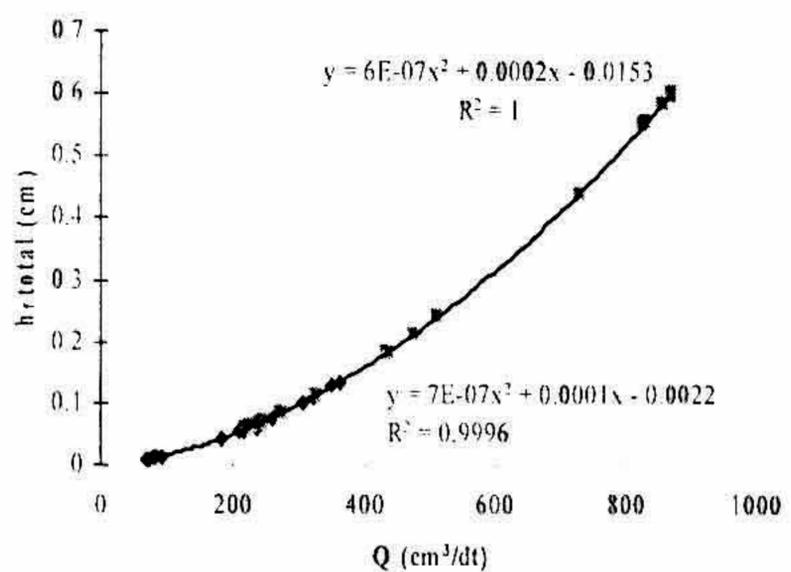
kehilangan total dari debit fluidisasi pada sedimen basah dan kering mempunyai nilai koefisien yang sama, dikarenakan pada kedua kondisi tersebut menggunakan pipa dengan diameter yang sama, lubang dengan diameter dan jarak yang sama. Kurva yang terdapat pada Gambar 5.3 secara matematik dapat dinyatakan sebagai $h_f = 0,0000006 Q^2$ atau dengan rumus Darcy Weisbach sebagai $h_f = k \cdot Q^2$ dengan nilai $k = 0,0000006$.

Gambar 5.4 menjelaskan hubungan antara debit fluidisasi penuh (Q_F) dengan debit awal fluidisasi (Q_i), sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (3.3) bahwa Q_F adalah sama dengan Q_i dikalikan dengan suatu nilai faktor empirik. Menurut Lennon (1994), besarnya nilai faktor empirik adalah di atas angka satu (> 1). Pada pengujian ini diperoleh nilai F untuk kondisi sedimen basah dan kering berkisar $1 \leq F < 4$ dengan prosentase sebagai berikut:

GAMBAR 5.3.
KURVA NILAI FAKTOR EMPIRIK (F) DARI HASIL PENGUJIAN

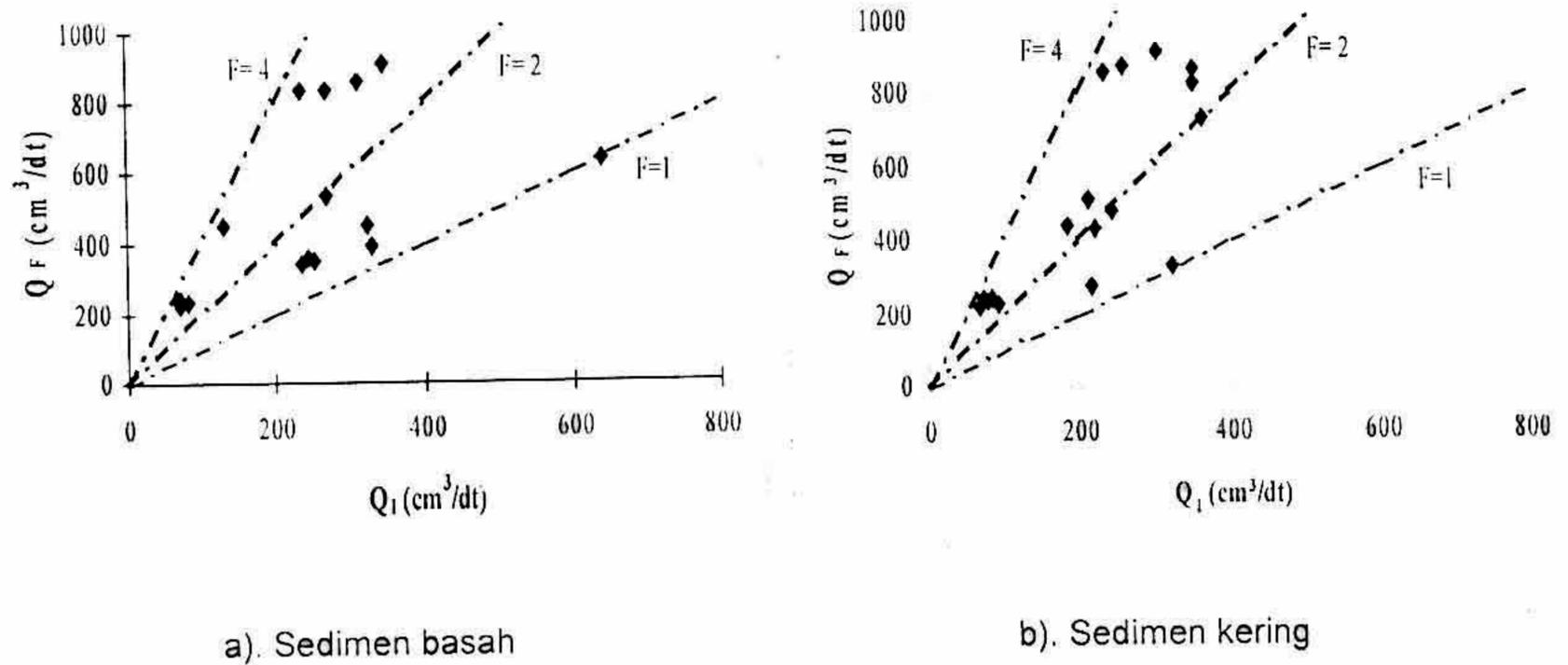


a). Sedimen basah



b). Sedimen kering

GAMBAR 5.4.
HUBUNGAN DEBIT (Q) DENGAN KEHILANGAN TENAGA (H_F TOTAL)



Sumber: Hasil analisis

TABEL V.1.
PROSENTASE KISARAN NILAI F PADA PENGUJIAN

Kisaran Nilai F	Prosentase Kisaran Nilai F		
	0 - 1	1 - 2	2 - 4
Sedimen basah	0 %	38.89 %	61.11 %
Sedimen kering	0 %	27.78 %	72.22 %

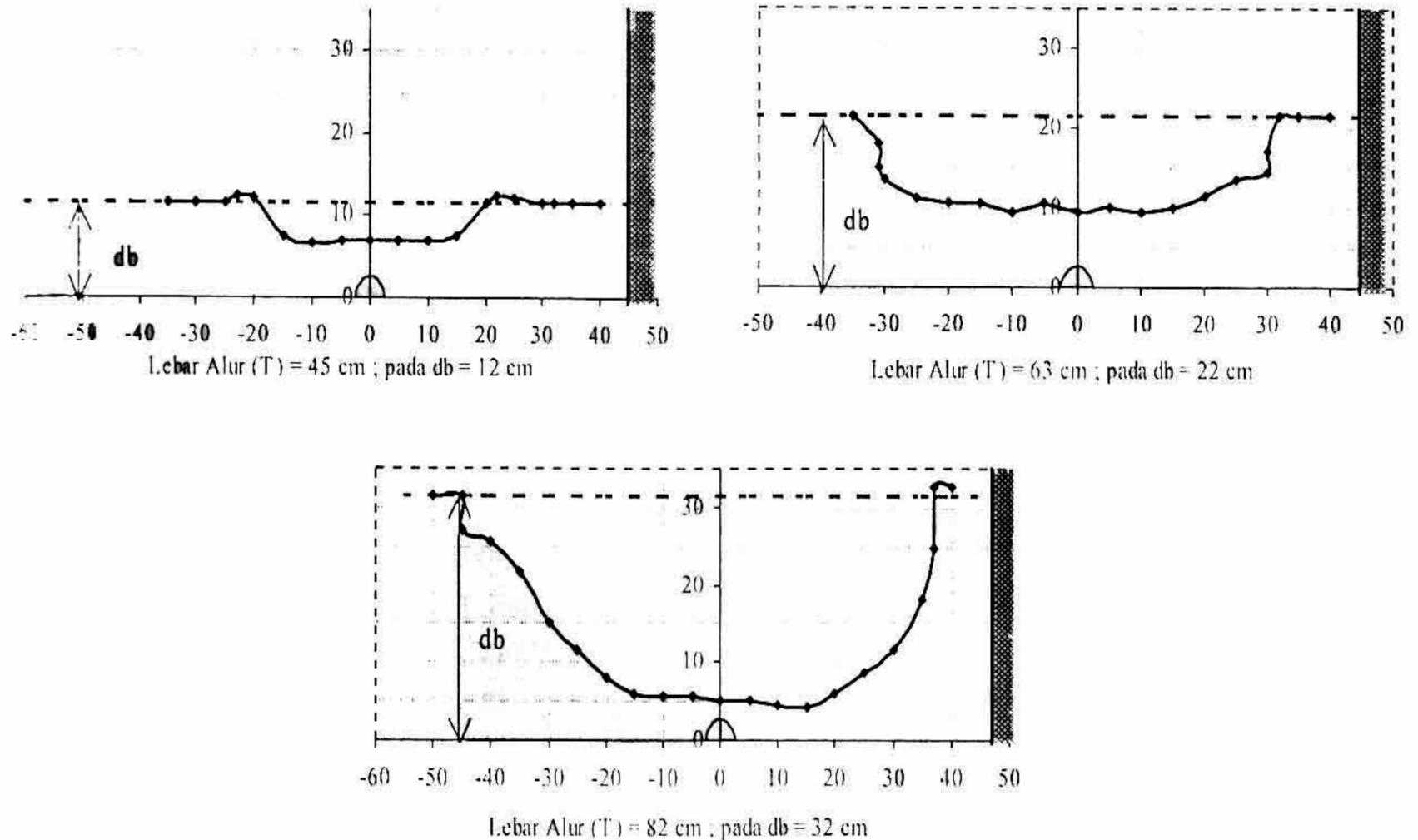
Sumber: Hasil analisis

5.3. Geometri Alur yang terbentuk

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. Pengamatan visual dari penampang alur yang terbentuk saat tercapai tahapan full fluidisasi, ditampilkan pada Gambar 5.5.

GAMBAR 5. 5.
PENAMPANG LINTANG GEOMETRI ALUR YANG TERBENTUK



Sumber: Hasil analisis

VI. KESIMPULAN

Berdasar pada uraian dan analisis membahas di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Lebar alur yang terbentuk dari proses fluidisasi dipengaruhi oleh kedalaman penanaman pipa atau ketebalan sedimen (d_b). Semakin tebal sedimen yang tertumpuk di atas pipa akan menghasilkan alur yang semakin lebar.
- Lebar gerusan pada dasar saluran (B) akan semakin besar seiring dengan semakin meningkatnya debit fluidisasi.
- Debit fluidisasi yang dibutuhkan saat kondisi inisial pada sedimen terendam sebesar $Q_1 = 0,33 d_b^2$ dan $Q_1 = 0,38 d_b^2$ untuk sedimen tak terendam. Sedangkan kebutuhan debit

fluidisasi untuk kondisi fluidisasi penuh adalah sebesar $Q_F = 1,74 d_b^2$ pada sedimen terendam dan $Q_F = 0,85 d_b^2$ pada sedimen tak terendam.

VII. 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.

VIII. DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1992, *Fluidizer System Design for Channel Maintenance and Sand*

- Bypassing**, Dredging Research Technical Notes, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS
- Bowles J.E., Hainim J.K., 1986, **Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)**, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
- CERC, 1984, **Shore Protection Manual**, Department of The Army, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi
- Chase, G.G., 2002, **Fluidization**, Solids Notes 5, The University of Akron
- 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
- Mardjikoen, P., 1988, **Transpor Sedimen**, PAU IT UGM, Yogyakarta
- M.F. Niam, Radianta 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
- Nur Yuwono, 1994, **Perencanaan Model Hidraulik**, Lab. Hidraulik & Hidrologi, PAU IT UGM, Yogyakarta
- Triatmadja R, 2001, **Simulasi Jaringan Penyedia Air Bersih**, Seri Bahan Kuliah, MPSA-UGM.
- 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 keempat, Beta Offset, Yogyakarta
- Triatmodjo B, 1996, **Pelabuhan**, Cetakan pertama, 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