



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Rancangan sistem fluidisasi dua arah (hybrid fluidization) untuk rekayasa pemeliharaan alur

R Azis^{a,*}, F Maricar^b, M A Thaha^b dan B Bakri^b

^a Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Malino No.8 F, Romang Lompoo, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

^b Dosen Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Malino No.8 F, Romang Lompoo, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171Institusi

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 1 Oktober 2021

Direvisi: 26 November 2021

Diterbitkan: 14 Desember 2021

Kata kunci:

Fluidisasi

Penggelontoran Sedimen

Lubang Perforasi

Hybrid Fluidization

Lubang Hisap (Suction)

ABSTRAK

Metode fluidisasi merupakan salah satu alternatif dari pemeliharaan alur pada muara sungai selain dredging. Hal ini berguna untuk kepentingan alur pelayaran maupun menjaga keseimbangan aliran sungai terhadap sedimentasi pada wilayah hilir. Adanya hambatan pada metode penggelontoran sedimen menggunakan sistem fluidisasi terutama pada muara yang memiliki kecepatan aliran permukaan yang minim, sehingga diperlukan alternatif. Sistem penggelontoran dua arah (hybrid system) merupakan sistem fluidisasi yang memanfaatkan fluktuasi tekanan pada arah aliran searah. Penelitian ini menitikberatkan pada rancangan sistem pemindahan lumpur sedimen (slurry) melalui pipa perforasi yang dikembangkan pada sistem fluidisasi hybrid. Kinerja fluidisasi dan hisap pada pipa dioperasikan melalui sistem kerja katup yang dirancang dengan mekanisme otomatis. Sedangkan pada pipa perforasi, kinerja hisap (suction) ditentukan oleh parameter pipa yang dapat menghasilkan kinerja lubang perforasi berupa nilai koefisien sharing (Cs) yang dapat menentukan besarnya distribusi tekanan pada aliran balik arah hisap sedimen melalui pipa fluidisasi. Hasil penggelontoran sedimen dapat dipindahkan pada zona tererosi atau ke area paling dalam disekitar pantai.

1. Pendahuluan

Diberbagai negara muara telah digunakan sebagai wilayah yang mampu mendatangkan keuntungan bagi penduduk sekitar. Pelabuhan-pelabuhan besar pada umumnya terletak di muara sungai selain karena fungsi jalur tersebut baik, faktor keterlindungan Pelabuhan dari gelombang laut. Pelabuhan yang terletak pada Muara ada yang bersifat alami dan adapula yang menggunakan bangunan pelindung dari gelombang selain untuk

melindungi Pelabuhan juga untuk memelihara alur kapal dari erosi pantai (Triadmodjo, 2009).

Selain bersumber dari sungai penumpukan sedimen di sekitar muara juga dipengaruhi oleh pasang surut dan gelombang laut. Tingginya suspensi pada dasar permukaan saat pasang menyebabkan konsentrasi sedimen tersuspensi meningkat dan juga menyebabkan pelambatan pergerakan air menuju hulu sehingga memungkinkan terjadinya pengendapan yang lebih

* Penulis korespondensi.

E-mail: rudiazis.civil@yahoo.co.id.

intensif kearah dasar. Pada saat fase titik balik (fase slack) setelah air pasang menuju air surut menyebabkan konsentrasi sedimen tersuspensi meningkat (Satriadi. A., Widada. S, 2012).

Ukuran partikel sedimen berupa boulder dengan campuran kayu atau biasa disebut aliran debris umumnya berada di wilayah upstream (hulu) yang mengalir dan tertahan pada wilayah alluvial (*flood plain*) atau bahkan aliran debris dapat sampai ke wilayah hilir. Jenis karakteristik sedimen seperti itu tidak dapat di selesaikan dengan metode fluidisasi melainkan dengan jenis bangunan pengendali sedimen lainnya seperti check dam (Maricar dan Lopa, 2013). Oleh karena itu karakteristik dan distribusi sedimen sedimen penting diketahui untuk penanganan sedimentasi muara sungai maupun desain struktur bangunan air (Bakri dkk, 2019).

Peningkatan konsentrasi sedimen di sekitar muara menyebabkan pendangkalan serta tertutupnya aliran sungai (Gambar 1). Pendangkalan muara dapat menyebabkan terhambatnya jalur transportasi kapal dengan draft tertentu pada wilayah yang umumnya menjadikan muara sebagai jalur menuju Pelabuhan (Triadmodjo, 2014). Sedangkan pada tertutupnya aliran sungai menjadi hambatan bagi distribusi air saat terjadi curah hujan tinggi di daerah hulu sehingga dapat menyebabkan banjir pada daerah sekitar sungai. Pada alur pelayaran, sedimentasi mengurangi kedalaman alur sehingga kapal tidak dapat tertambat sedangkan pada Pelabuhan yang berada disisi alur muara peran sedimentasi dapat menyebabkan pendangkalan pada kolam Pelabuhan. Jika laju transportasi sedimen menyusuri pantai tidak berubah maka dapat menyebabkan lidah pasir yang akan berkembang memotong alur pelayaran masuk Kawasan Pelabuhan (Thaha, 2006).

2.1. Strategi Penanganan Sedimentasi Muara Sungai

Penanganan masalah sedimentasi di sekitar alur umumnya dilakukan dengan teknologi pengerukan (dredging). Berbagai literatur menyebutkan bahwa metode ini termasuk kedalam metode yang mahal karena membutuhkan biaya dan peralatan yang mahal. Oleh karena itu sekitar tahun 70-an metode fluidisasi di rancang untuk memenuhi kebutuhan pemeliharaan alur sebagai alternatif dari metode pengerukan. Metode fluidisasi untuk pengerukan merupakan metode yang belum banyak diterapkan di Indonesia karena masih kurangnya penerapan metode tersebut (Thaha, 2006).

Metode fluidisasi relatif lebih ekonomis dibandingkan dengan pengerukan atau membuat struktur ambang bawah air (*underwatersill*) dimana pada penerapannya untuk mengatasi pendangkalan muara Sambong hanya memerlukan pompa dengan daya 26,58 kW (Dharma dkk, 2005). Akan tetapi teknologi

fluidisasi masih memiliki kelemahan dalam operasionalnya seperti belum dapat direkomendasikan untuk mengagitasi jenis material yang mengandung sifat kohesif serta fraksi kasar, tidak efektif digunakan pada alur yang tidak didominasi oleh aliran permukaan atau debit sungai yang kecil (Thaha, 2006).

Bruun P (1988) mengusulkan mekanisme pemeliharaan alur pada muara pasang surut dengan menggunakan tekanan hidraulik pada pipa perforasi. Sistem bypassing dengan pipa parallel yakni pipa fluidisasi dan pipa hisap cenderung lebih efektif dan menguntungkan. Hal yang sama dilaporkan oleh Weismann dan Lennon (1994) pada proyek sand bypassing Anna Maria di California tahun 1994. Metode yang digunakan adalah system fluidisasi dengan pipa perforasi terendam dibawah lapisan sedimen.

Noguchi, H dan Fujita, Y tahun 2006 menyampaikan hasil eksperimen sand bypassing pada muara di Jepang yang diaplikasikan pada suatu sistem yang disebut *self-sinking suction pipe with holes*. Pada sistem ini pipa fluidisasi dengan orientasi jet tunggal kebawah dipararelkan dengan pipa hisap yang dioperasikan secara bersamaan (Noguchi dan Fujita, 2006). Sistem yang diaplikasikan dengan metode tersebut telah membantu system pengoperasian dan pengelolaan yang lebih ekonomis dibandingkan dengan metode dredging.

Penelitian ini menitikberatkan perhatian pada sistem fluidisasi dua arah (*hybrid fluidization*) yang merupakan fluidisasi dengan dua arah aliran fluida yang bekerja pada satu pipa fluidisasi.

2. Metodologi

Studi dilakukan berdasarkan literatur hasil eksperimen yang selanjutnya dilakukan pendugaan berupa hipotesis terhadap rancangan system fluidisasi dua arah. Akan tetapi dalam studi ini telah dilakukan persiapan laboratorium untuk pengujian fisik baik 2 Dimensi maupun 3 Dimensi di Laboratorium Hidraulika Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

2.1. Persiapan Simulasi Fisik

Bahan yang digunakan dalam rancangan pengujian fisik pada penelitian ini terdiri dari pasir sedang (d_{50}), pipa dia 2 inchi dengan lubang perforasi, bak uji, manometer, flow meter, pompa sentrifugal. Seluruh rangkaian pengujian fisik baik 2 Dimensi maupun 3 Dimensi dilakukan di Laboratorium Hidraulika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

a. Desain Pengujian Fisik 2 Dimensi

Pengujian fisik 2 Dimensi terdiri dari pengujian lubang perforasi horizontal tunggal dan pengujian lubang horizontal seri. Tujuan pengujian ini adalah :

Kajian lubang horizontal tunggal

- 1) Mengkaji mekanisme flushing pada lubang bukaan langsung horizontal
- 2) Identifikasi bentuk dan bagian zona keruntuhan sedimen termasuk lebar keruntuhan.
- 3) Pengaruh ketebalan sedimen (db) terhadap tekanan dan debit flushing
- 4) Identifikasi kondisi awal flushing melalui pengukuran distribusi tekanan hisap dalam media pasir (sedimen)
- 5) Menentukan koefisien hisap pada lubang bukaan langsung
- 6) Menentukan hubungan spasi lubang (a) dalam rasio diameter-spasi lubang (Df/a) terhadap tinggi tekanan dan debit flushing.

Kajian lubang horizontal seri

- 1) Mengkaji pengaruh rasio spasi lubang-ketebalan sedimen (a/db) terhadap tinggi tekanan dan debit flushing.
- 2) Merumuskan hubungan tak berdimensi (he/db teoritis) dengan Df/a eksperimen, (he/db teoritis) dengan (fh/db) eksperimen, (fh/db) dengan (Df/a) eksperimen.

b. Desain Pengujian Fisik 3 Dimensi

Pengujian fisik 3 Dimensi dilakukan dengan mengamati kinerja sistem fluidisasi dan flushing secara hybrid pada pipa fluidizer secara aktual. Parameter yang diamati berupa pola geometrik alur, volume sedimen yang digelontorkan melalui lubang perforasi.

Seluruh kinerja sistem dalam pengujian 3 Dimensi dirancang untuk kebutuhan lapangan yakni menggunakan skala 1:1. Pengujian 3 Dimensi dilakukan pada laboratorium Teknik pantai yang merupakan bagian dari fasilitas yang dimiliki oleh laboratorium hidraulika Universitas Hasanuddin.

Tabel 1. Bahan untuk Rancangan Pengujian Fisik

Dimensi Pipa	Pengujian Fisik	
	2 Dimensi	3 Dimensi
Pipa hybrid*	2 inchi	3 inchi
Pipa Suplay	2 inchi	3 inchi
Kapasitas Pompa	4 ltr/detik	14 ltr/detik
Katup	Manual	Otomatis

Ket:

*pipa fluidisasi dan flushing (*hybrid fluidization*)

2.2. Peralatan Pendukung

Peralatan pendukung dalam studi ini berupa jurnal dan laporan (report) hasil eksperimen studi terdahulu.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Sistem Fluidisasi

Fluidisasi adalah interaksi antara aliran zat cair atau gas dengan fraksi solid dasar (*bed deposit*) yang umumnya berbentuk butiran granular menyebabkan butiran tersebut terangkat, teragitasi dan berpindah dari posisinya semula. Penggunaan fluidisasi sebagai metode pembersihan saringan pasir dimulai sejak tahun 1960an. Amirtharajah (1970), Amirtharajah dan Cleasby (1972), Cleasby dan Fan (1981) dalam Weisman, Lennon dan Robert (1988) melakukan optimalisasi fluidisasi 1 dimensi untuk pembersihan filter secara efektif tanpa menghilangkan partikel pasir saringan itu sendiri. Kajian lanjutan metode fluidisasi untuk pembersihan filter (*filter backwashing*) telah dilakukan oleh Amburgey dan Amirtharajah (2005). Metode fluidisasi untuk aplikasi pengolahan limbah juga telah dikaji oleh Chen, Li dan Shieh (1997) dalam (Thaha 2006). Teknik pembuangan limbah ke laut dengan metode jet horisontal dari Rosette type riser telah dikaji secara eksperimen oleh Kwon dan Seo (2005) dalam (Thaha 2006).

Dalam beberapa hasil penelitian dan hasil percobaan dilapangan, metode fluidisasi telah berkembang pesat terutama pada bidang rekayasa pantai dan Teknik keairan. Diindonesia metode fluidisasi telah dikembangkan pada proses pengendalian waduk yang mengkombinasikan sistem penggelontoran (flushing) sedimen (Suroso, Widiyanto, 2009). Beberapa penelitian terkait pengembangan fluidisasi alur terutama pada muara sungai seperti pada penanganan pendangkalan sungai (Ni'am. M.F, 2003), fluidisasi untuk pemeliharaan akur pelayaran (Widiyanto, Soedirman, 2018). Beberapa pengembangan penelitian fluidisasi terutama pada pemecahan masalah clogging (penyumbatan) dilakukan pada tahun 2006 (Thaha, 2006), dan perkembangannya hingga pada sistem pengurusan dan pengisapan slurry pada proses fluidisasi yang dilakukan oleh (Pristianto. H dkk, 2019) dan (Anas dkk, 2018).

3.2. Sistem Flushing

Penelitian untuk menambah kinerja fluidisasi dilakukan dengan menambah pipa hisap (suction pipe) juga telah dilakukan di Indonesia namun belum diaplikasikan pada skala lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja fluidisasi akan semakin baik dengan menambahkan pipa hisap dengan lubang perforasi diameter 6 mm dan jarak antar lubang 5 cm seperti pada Gambar 2 (Anas dkk, 2018).

Penggunaan pipa hisap (*suction pipe*) juga telah diterapkan pada pembersihan sedimen di waduk dengan menggunakan teknologi suction method dengan menggunakan 4 (empat) variasi tipe model pipa hisap

(Mawardi dkk, 2010). Metode suction pipe ini memanfaatkan perbedaan tinggi energi potensial air yang berada di sekitar lubang pipa hisap dengan dibagian hilirnya.

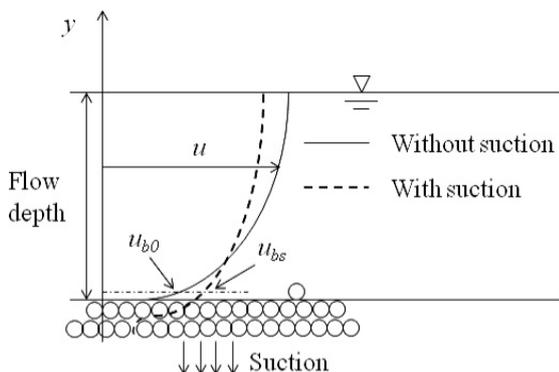
3.3. Sistem Hybrid (Fluidisasi dan Flushing)

Penelitian untuk menambah kinerja fluidisasi dilakukan dengan menambah pipa hisap (suction pipe) juga telah dilakukan di Indonesia namun belum diaplikasikan pada skala lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja fluidisasi akan semakin baik dengan menambahkan pipa hisap dengan lubang perforasi diameter 6 mm dan jarak antar lubang 5 cm seperti pada Gambar 2 (Anas dkk , 2018).

Mekanisme fluidisasi dua arah (hybrid fluidization) terjadi saat pencapaian full fluidization yakni ketika tercapai porositas kritis pada lapisan sedimen yang selanjutnya fluktuasi aliran berubah dari aliran bertekanan tinggi menjadi aliran bertekanan rendah. Saat fluktuasi tekanan dalam pipa fluidisasi menjadi tekanan hisap dimana mekanisme pengaliran lumpur sedimen masuk kedalam pipa melalui pipa perforasi yang selanjutnya di alirkan menuju outlet yang berada pada lokasi pembuangan slurry.

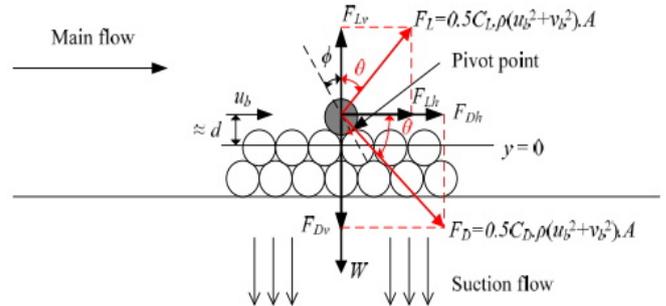
Pipa fluidisasi dapat berfungsi hybrid (fluidisasi dan flushing) melalui perubahan fluktuasi tekanan dalam pipa dimana bubuk sedimen (slurry) masuk ke dalam pipa fluidisasi melalui lubang perforasi. Oleh karena itu arah garis energi dan kehilangan tenaga aliran dalam pipa memiliki karakteristik yang berbeda namun tetap menunjukkan fungsi dari fluktuasi tenaga yang sama. Parameter pipa dan lubang yang menjadi faktor penentu dalam desain pipa fluidisasi adalah diameter pipa (D), diemeter lubang perforasi (D_f), dan spasi lubang perforasi (α) (Thaha, 2006).

Hitoshi dan Fujita, (2006) dalam eksperimen melalui analisis Ansys Fluent menggambarkan Gerakan partikel sedimen yang melalui lubang hisap dimana dalam analisisnya terdapat perubahan arah aliran sedimen dengan variasi kecepatan.



Gambar 1. Profil kecepatan aliran dengan dan tanpa lubang hisap (sumber : Noguchi dan Fujita, 2006).

Kecenderungan kecepatan aliran permukaan diatas lapisan sedimen sejajar untuk setiap lapisan menunjukkan bahwa terdapat pengaruh lubang hisap yang mereduksi energi kecepatan aliran hingga ke permukaan (Gambar 1). Pada zona lapisan dasar gerak sedimen secara individu lebih dominan mengikuti gaya berat (W) (Gambar 2).



Gambar 2. Gerakan partikel sedimen disekitar lubang hisap (sumber : Noguci dan Fujita, 2006).

Berdasarkan uji hisap sedimen pada eksperimen Noguchi dan Fujita 2006 menunjukkan bahwa rapat massa (ρ) dan kecepatan endap (ω₀) berperan penting dalam mempengaruhi gerak individu partikel sedimen pada lubang hisap. Kecenderungan mengikuti gaya berat (W) merupakan salah satu arah gaya yang menghasilkan resultan F_D.

3.4. Energi Pada Lubang Perforasi

Pada dasarnya baik pipa fluidisasi maupun flushing selalu bekerja hukum kontinuitas sehingga aliran bergerak dengan debit dan kecepatan tertentu.

Pada (Gambar 3) menjelaskan bahwa apabila persamaan kontinuitas diaplikasikan pada sistem pipa flushing melalui lubang perforasi pada titik 1 dan 2, maka tenaga dan kehilangan energi pada lubang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta h = h_1 + h_k = (1 + k) \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \tag{1}$$

Dimana h₁ = tinggi tenaga di dalam pipa; h₂ = tinggi tenaga di luar pipa; v₂ = kecepatan hisap, g = percepatan gravitasi dan k = koefisien kehilangan energi pada lubang. Koefisien kehilangan energi pada lubang sangat ditentukan oleh tipe lubang perforasi (Thaha, 2006).

Kehilangan energi yang terjadi sepanjang pipa fluidisasi/flushing dimulai pada terjadinya kontraksi pada lubang perforasi saat peralihan metode fluidisasi ke metode flushing dimana tekanan dalam pipa berubah dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Sehingga besarnya kehilangan energi pada lubang proporsional dengan total tinggi tenaga, kecepatan aliran dan koefisien kehilangan energi pada lubang.

Koefisien kehilangan energi pada lubang yang terdiri dari dua tipe yakni tipe bukaan langsung dan tipe menggunakan curat. Kedua nilai k tersebut adalah :

$$k = \left(\frac{1}{C_v^1} - 1 \right) \tag{2}$$

Nilai k untuk tipe curat

$$k = \left(\frac{1}{C_v^1} - 1 + f \frac{x}{D_f} \right) \tag{3}$$

Dimana f = koefisien kekasaran curat lubang; x = Panjang curat dan D_f = diameter lubang.

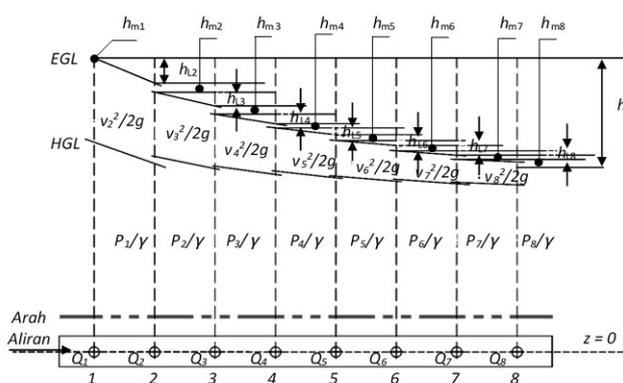
Lubang tipe curat adalah lubang dengan hantaran pipa hisap dengan diameter lubang yang lebih besar dibandingkan dengan tipe curat yang digunakan pada fluidisasi dengan sistem semburan jet (Thaha, 2006).

3.5. Koefisien Sharing (C_s) Pada Lubang Perforasi

Desain pipa fluidisasi merupakan faktor yang penting dalam mencapai kinerja metode penggelontoran sedimen melalui lubang perforasi. Jenis pipa fluidisasi (*fluidizer pipe*) adalah pipa dari bahan PVC dengan deretan lubang lebih dari satu baik bersifat deretan tunggal maupun deretan seri (lubang perforasi) atau biasa juga disebut *manifold* yang berfungsi memancarkan air ke dalam endapan sedimen sehingga menyebabkan terbentuknya bubur sedimen (*slurry*) (Thaha, 2006).

Banyaknya kehilangan energi pada pipa fluidisasi atau pipa hisap melalui lubang perforasi akan dipengaruhi oleh jumlah, bentuk dan ukuran lubang. Gambar 4 menguraikan skema garis energi Dalam arah memanjang (horizontal) pipa fluidisasi dimana besarnya kehilangan tinggi tenaga total (h_t) yang diklasifikasi menjadi tenaga mayor dan minor (h_L dan h_m) (Thaha, 2006).

Parameter lubang perforasi yang terdiri dari variasi diameter lubang, jarak antar lubang (α) dan bentuk lubang memberi kontribusi terhadap rasio kecepatan yang cenderung linear pada setiap penambahan nilai parameter. Akan tetapi komponen bentuk lubang memberikan pengaruh terhadap komponen hidraulik pada lubang (h_o) melalui kehilangan energi (h_k). Debit optimal (Q_i) sepanjang pipa diberikan oleh rasio ketebalan sedimen terhadap diameter lubang (D_f/a), dimana nilai tersebut menunjukkan terdapatnya hubungan Kerjasama antar lubang dalam menghasilkan debit yang sama yang dirumuskan dalam bentuk koefisien sharing (C_s).



Gambar 4. Skema Garis energi pada pipa lubang Perforasi (sumber : Thaha 2006).

Sehingga secara teoritis terdapat hubungan antara rasio D_f/a terhadap nilai Q_i optimal disepanjang pipa dimana nilai tersebut merupakan hasil sharing untuk semua kinerja lubang secara bersamaan yang disebut Koefisien sharing (C_s). Nilai C_s adalah kebalikan dari R_v , dimana R_v adalah rasio kecepatan ($V_o/2g$) dan parameter lubang (ζ) (Thaha, 2006). Sehingga persamaan koefisien sharing pada lubang dapat ditulis

$$C_s = 1 - R_v$$

$$C_s = 1 - 0,65 \zeta \tag{7}$$

Dimana

$$R_v = \frac{V_o (seri)}{V_o (tunggal)} = 0,65 \zeta \tag{6}$$

V_o = kecepatan aliran pada lubang, (ζ) = parameter lubang

Nilai koefisien sharing yang semakin besar (rentang nilai 0.5 – 0.9) akan menentukan keseragaman debit pada lubang perforasi (Thaha, 2006).

3.6. Penggelontoran Sedimen

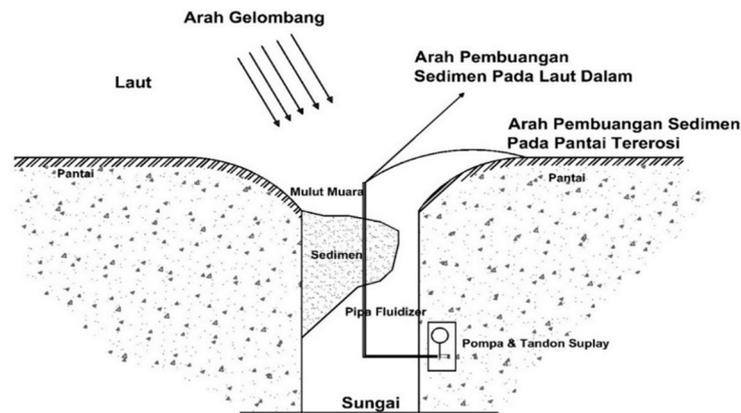
Sistem penggelontoran sedimen dengan menggunakan metode fluidisasi pada prinsipnya mengandalkan aliran permukaan untuk menggelontorkan sedimen. Fluidisasi yang diterapkan pada pengendalian sedimentasi waduk, seperti yang dilakukan pada Waduk Mrica yang berada di Kabupaten Banjarnegara dengan menghasilkan penelitian meliputi kombinasi system penggelontoran (flushing) menggunakan debit aliran permukaan, dengan fluidisasi menggunakan pipa fluidizer pada berbagai variasi ketebalan sedimen (60, 80 dan 100 cm), variasi debit aliran fluidisasi untuk melihat volume sedimen terbuang (mm^3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi flushing dan fluidisasi mampu meningkatkan volume sedimen terbuang (Suroso and Widiyanto, 2009).

Pada metode flushing tanpa dilakukan fluidisasi terlebih dahulu telah di uji coba sistem penggelontoran nya yang dilakukan melalui pengujian fisik 3 dimensi menghasilkan volume sedimen tergelontor lebih besar dengan memperpendek pipa hisap (pipa hisap berbentuk curat). Debit aliran yang besar dalam pipa fluidisasi menambah jumlah volume gelontor dari sedimen yang masuk melalui lubang perforasi (Mansida. A, dkk 2018). Hal tersebut sesuai dengan banyaknya lubang hisap, ukuran diameter lubang hisap yang dapat menurunkan tekanan (P) dalam pipa flushing dimana jumlah lubang hisap dan ukuran diameter lubang proporsional dengan besarnya volume gelontor (Ulfa & Mastra, 2018).

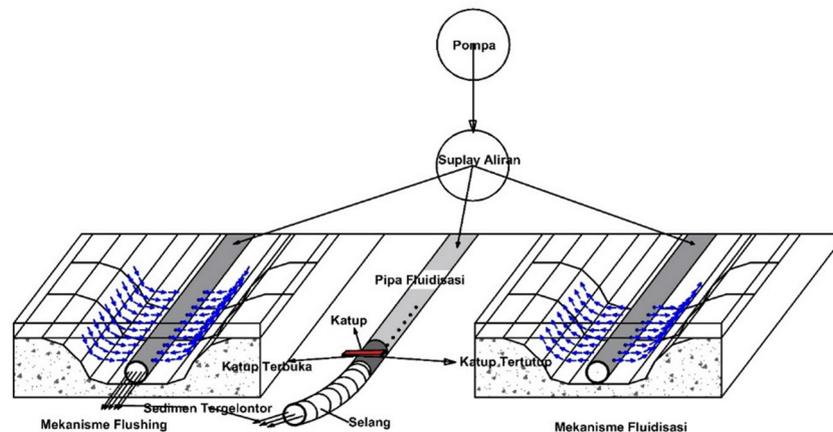
Pada metode fluidisasi pencapaian full fluidization saat tercapai porositas kritis pada lapisan sedimen dan debit fluidisasi konstan selama pembentukan alur (Thaha, 2006). Pada saat tersebut adalah saat dimana lapisan sedimen teragitasi menjadi lumpur (slurry). Saat

tercapai full fluidisasi maka fluktuasi tekanan dalam pipa fluidisasi menjadi tekanan hisap di lakukan dengan mekanisme pengaliran lumpur sedimen masuk kedalam pipa melalui pipa perforasi yang selanjutnya di alirkan menuju outlet yang berada pada lokasi pembuangan slurry (Gambar 6).

Mekanisme fluidisasi secara bergantian (Gambar 6) diterapkan untuk dapat memindahkan lumpur sedimen pada area yang tererosi disekitar muara pantai (Gambar 5). Sistem penggelontoran ini membutuhkan pipa atau selang discharge yang lebih Panjang hingga ke lokasi pembuangan slurry. Mekanisme ini dilakukan pada aliran muara yang tidak memiliki kecepatan aliran permukaan atau muara yang dipengaruhi oleh gelombang dan arus laut.



Gambar 5. Layout sistem fluidisasi dua arah (hybrid fluidization) pada Muara dan titik pembuangan sedimen (sumber : Azis 2021)



Gambar 6. Layout sistem fluidisasi dua arah (hybrid fluidization) pada Muara dan titik pembuangan sedimen (sumber : Azis 2021)

Untuk dapat mengoptimalkan kerja system fluidisasi dua arah (Gambar 6), maka diperlukan desain pipa fluidisasi yang kinerja lubang perforasinya dapat difungsikan secara hybrid. Oleh karena itu, diperlukan beberapa hal (a) Kebutuhan debit fluidisasi dan hisap, (b) Kebutuhan tekanan sepanjang pipa dan (c) Kebutuhan nilai sharing antar lubang yang sama digunakan pada kedua metode (fluidisasi dan hisap).

4. Kesimpulan

Sistem fluidisasi dua arah (*hybrid fluidization*) merupakan system fluidisasi dengan dua arah aliran fluida yang bekerja pada satu pipa fluidisasi. Mekanisme fluidisasi secara bergantian diterapkan untuk dapat memindahkan lumpur sedimen pada area yang tererosi disekitar muara pantai.

Parameter lubang perforasi yang terdiri dari variasi diameter lubang, jarak antar lubang (α) dan bentuk lubang memberi kontribusi terhadap rasio kecepatan aliran pada lubang perforasi. Debit optimal (Q_i) sepanjang pipa diberikan oleh rasio ketebalan sedimen terhadap diameter lubang (D/a), dimana nilai tersebut menunjukkan terdapatnya hubungan Kerjasama antar lubang dalam menghasilkan debit yang sama yang dirumuskan dalam bentuk koefisien sharing (C_s).

Mekanisme *hybrid fluidization* dapat diterapkan untuk memindahkan lumpur sedimen pada area yang tererosi disekitar muara pantai atau dialirkan ke laut dalam. Mekanisme penggelontoran dilakukan secara sistemik melalui dua fase yakni fase agitasi sedimen melalui pancaran fluida dan fase hisap sedimen melalui tekanan hisap. Besarnya volume sedimen tergelontor proporsional dengan debit optimum dan kecepatan aliran hisap pada lubang perforasi.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih kepada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Laboratorium Riset Sungai Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang telah memberikan fasilitas dalam melakukan pengujian.

Daftar Pustaka

- Allen, R. (1996). Relating The Hazen-Williams and Darcy-Weisbach Friction Loss Equations For Pressurized Irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(6), 685-693.
- Amburgey, J.E., Amirtharajah, A., (2005) Strategic Filter Backwashing Techniques and Resulting Particle Passage. *Journal of Environmental Engineering* 131(4), doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:4(535).
- Anas, A.B.T., Latif, F. (2018). Efektifitas Penambahan Pipa Pengisap Pada Proses Fluidisasi. *Jurnal Teknik Hidro*, 11(2), 59-70.
- Azis, R. (2021). Sistem Penggelontoran Dengan Pipa Fluidisasi Untuk Rekayasa Pemeliharaan Alur. *Proposal Disertasi*, Program Doktor Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Bakri, B., Pallu, S., Lopa, R.T., Maricar, F., Maricar, M.F., Ridwan. (2019). Analysis of Sedimen Distribution at the Intake Structure. *The 3rd EPI International Conference on Science and Engineering 2019 (EICSE2019)*, 1-9. doi:10.1088/1757-899X/875/1/012031
- Deping CAO., Yee-Meng CHIEW., (2013). Suction Effects On Sediment Transport In Closed-Conduit Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*. doi:doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000833
- Dharma, B., Yuwono, N., Nizam., (2005). Pengaruh Diameter Lubang, Jarak Lubang, Dan Posisi Lubang Fluidisasi Dengan Aliran Permukaan Pada Metode Fluidisasi. *Teknosains*, 165-181.
- Mansida. A., Mut. L., Irmawati (2018) Pengaruh variasi Panjang Pipa Isap Flushing Conduit terhadap Volume Penggelontoran Sedimen di Waduk (Uji Eksperimental). *Jurnal Teknik Hidro*. Vol 11 No. 2.
- Maricar, F., Lopa, R.T. (2013). Studi Perilaku Bangunan Pengendali Sedimen Yang Berwawasan Lingkungan. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*, 79-86.
- Mawardi, E., Isdiyana., Wibawa, Y. (2010). Pengaruh Desain Pipa Hisap Terhadap Kinerja Penghisapan Sedimen Ke Hilir Waduk. *Jurnal Teknik Hidraulik*, Vol. 1(No. 1), 83-94.
- Noguchi, H., Fujita, Y. (2006). Development of Sand Bypass System Using Self-Sinking Suction Pipe With Holes For Automation and Labor Saving. *2006 Proceedings of the 23rd ISARC, Tokyo, Japan*, 654-659. doi:https://doi.org/10.22260/ISARC2006/0122
- Kelley, J.T. (1977). Fluidization Applied to Sediment Transport (f.a.s.t), M.S. thesis. Lehigh University. <http://preserve.lehigh.edu/engr-civil-environmental-fritz-labreports>
- Liu, H., Zong Q., Hongxing Lv, Jin, J. (2017). Analytical Equation For Outflow Along The Flow In a Perforated Fluid Distribution Pipe. *12(10)*. doi:https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185842
- Ni'am, M.F. (2002). Simulasi Fluidisasi Dasar Pada Saluran Dengan Aliran Permukaan Untuk Perawatan Muara dan Alur Pelayaran. *Universitas Gadjah Mada*.
- Pristianto. H., Thaha. M.A., Hatta. M.P., Selintung. M., (2019) Sistem pengurusan untuk pembersihan pipa fluidisasi, (May). doi: 10.31227/osf.io/taq8h.
- Satriadi. A., Widada. S., (2012) Distribusi Muatan Padatan Tersuspensi di Muara Sungai Bodri, Kabupaten Kendal. *Journal of marine Science*, 9(2), hal. 101-107, doi:10.14710/ik.ijms.9.2.101-107
- Suroso., Widiyanto (2009) 'Model Pengendalian Sedimentasi Waduk Mrica Dengan Fluidisasi (Sedimentation Control Model Of Mrica Reservoir)', *Dinamika Rekayasa*, 5(2).
- Thaha, M.A., Triatmadja, R., Dwipuspita, A.I. (2013). The Hydraulic Behavior of Vertical Jet Sediment Bed Fluidization from the Vortex Growth Point of View. *International Journal of Hydraulic Engineering*, 85-92.
- Thaha, M.A. (2006). Sistem Fluidisasi Untuk Rekayasa Pemeliharaan Alur. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

- Triadmodjo, B. (2009). Perencanaan Pelabuhan. (Edisi Pertama).
- Triadmodjo, B. (2014). Perencanaan Bangunan Pantai. (Cetakan Kedua).
- Ulfa, M., Mastra, N., (2018) Pengaruh Jumlah Lubang Pipa Isap Flushing Conduit Sebagai Alat Penggelontoran Terhadap Volume Sedimen di Waduk (Uji Eksperimental). Jurnal Teknik Hidro
- Vironita, F., Rispiningtati., Marsudi, S. (2014). Analisis Stabilisasi Penyumbatan Muara Sungai Akibat Fenomena Gelombang, Pasang Surut, Aliran Sungai dan Pola Pergerakan Sedimen Pada Muara Sungai Bang, Kabupaten Malang. 1-13.
- 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, September/October 1994, ASCE, ISSN 0733-950X/94/0005-0468. Paper No. 7008, 468-487.
- Widiyanto. W., Soedirman, U. J. (2018) Kebutuhan Debit untuk Fluidisasi di Muara Sungai dan Alur Pelayaran. <https://www.researchgate.net/publication/323472007>
- Wilson, K.C., Addie, G.R., Sellgren, A., Clift, R. (2006). Review of Fluid And Particle Mechanics pada *Slurry Transport Using Centrifugal Pumps*. Third Edition. Halaman 18-19, Springer, New York.