

PENGGUNAAN SILT SCREEN UNTUK PROTEKSI ALUR PELAYARAN TERHADAP SILTASI

Alfalah *)

ABSTRACT

Indonesian beaches commonly took mud as basic material which are washed away by river flow from mainland during flood period. Navigational channels built in muddy beaches surely suffer from siltation resulted from wave and current transported fluid mud. Siltation in navigational channels mostly formed by fluid mud sedimentation and with a little contribution from accumulated suspended sediment. Common strives taken after are to build fix structure such as breakwater and submerge dike. The research will examine movable structure (silt screen) to decrease siltation rate in navigational channels. In the process, the research will use 2 dimensional mathematical model as well as physical one. The expected results would be optimal silt screen form and the value of siltation reduction rate in the navigational channels comparing with those without silt screen.

Keywords : *Silt screen, fluid mud sedimentation*

LATAR BELAKANG

Pembangunan pelabuhan memberikan kontribusi terhadap pembangunan ekonomi tidak hanya pada kota-kota di belakangnya. Hal ini dapat tercapai hanya jika pelabuhan tersebut dioperasikan dengan baik, sehingga kapal-kapal yang memasuki pelabuhan dapat melaksanakan bongkar muat dan berangkat sesuai dengan jadwal. Untuk mewujudkan hal tersebut dibutuhkan manajerial dan pengelolaan prasarana dan sarana yang baik dan teratur. Pengelolaan prasarana pelabuhan termasuk pengerukan alur pelayaran serta kolam pelabuhan, sehingga memiliki lebar dan kedalaman alur / kolam yang cukup.

Sedimen kohesif yang mengendap dialur pelayaran dan kolam pelabuhan disebut siltasi yang dapat mengakibatkan gangguan pada pergerakan kapal. Hal ini biasanya terjadi pada daerah perairan dangkal, seperti dipantai Utara Jawa. Pergerakan kapal yang aman pada saat memasuki dan meninggalkan pelabuhan melalui alur pelayaran hanya dapat terwujud jika kedalaman alur yang cukup.

Pengerukan membutuhkan biaya yang sangat besar dan harus ditanggung oleh pihak pelabuhan. Sebagai contoh Amerika telah mengeluarkan biaya lebih dari 500 juta US dollar pertahun . Menurut Partheniades, biaya tersebut dipergunakan untuk mengeruk lumpur yang ada dialur pelayaran dan kolam

*) - Pengajar Jurusan Sipil FT. Universitas Diponegoro
- Mahasiswa S3 Teknik Sipil Universitas Diponegoro

pelabuhan dengan volume diperkirakan sebesar $215 \times 10^6 \text{m}^3$.

Masalah yang sama mengenai pendangkalan dan pengerukan juga terjadi di bagian lain di dunia. Penyebab utama dari pendangkalan ini adalah siltasi yang disebabkan oleh lumpur cair yang terbawa ombak dan arus. Masalah siltasi sering terjadi pada pelabuhan-pelabuhan di Eropa dan Amerika, dimana sebagian besar lokasi pelabuhan terletak dialur sungai. Di negara-negara Asia-Pasifik seperti India, Pakistan, China, Thailand, dan Indonesia, penanganan terhadap siltasi dipelabuhan menjadi penting semenjak volume pengerukan tahunan naik pada angka jutaan meter kubik untuk setiap pelabuhan.

Sehubungan biaya pengerukan sangat mahal, dan harus dilakukan setiap tahun, serta pembuangan lumpur hasil pengerukan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, maka diperlukan alternatif solusi untuk mengurangi terjadinya siltasi (pendangkalan) dialur pelayaran dan kolam pelabuhan dengan menggunakan rekayasa teknik Sipil yang efektif dan efisien.

Silt screen adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk mengaduk *fluid mud* (lumpur cair) agar pada saat melintasi alur pelayaran berubah menjadi sedimen melayang, sehingga siltasi (pengendapan) di alur pelayaran dapat dikurangi.

Fluid mud (lumpur cair) adalah sedimen melayang dengan konsentrasi tinggi dan terjadi di dekat dasar pantai yang apabila terkena gelombang atau arus akan bergerak. Konstruksi *silt screen* terdiri dari tumpuan (ambang tetap), screen yang terbuat dari kain / plastik / geomembran dan di ujungnya diberi

pelampung sehingga merupakan *movable structure* (bangunan yang dapat bergerak / bergoyang) apabila terkena arus / gelombang

IDENTIFIKASI MASALAH

Di pantai Utara Jawa banyak terdapat muara sungai yang setiap tahunnya mensuplai debit banjir dan sedimen dari hulu (daratan). Dengan adanya perubahan tata guna lahan di hulu, maka suplai debit banjir dan sedimen kepantai semakin meningkat. Sedimentasi dari hulu pada umumnya berupa tanah kohesif.

Kondisi pantai Utara Jawa sangat datar dan tinggi gelombangnya relatif kecil, sehingga mudah terjadi sedimentasi di muara sungai. Dengan adanya arus dan gelombang, maka terjadi angkutan sedimen sejajar pantai dan tegak lurus pantai, maka sedimentasi yang ada di muara sungai menyebar disepanjang pantai, sehingga setiap tahunnya terjadi sedimentasi disepanjang pantai. Sehubungan dengan sedimentasi dari hulu berupa tanah kohesif, maka sedimentasi yang terjadi dipantai disebut siltasi.

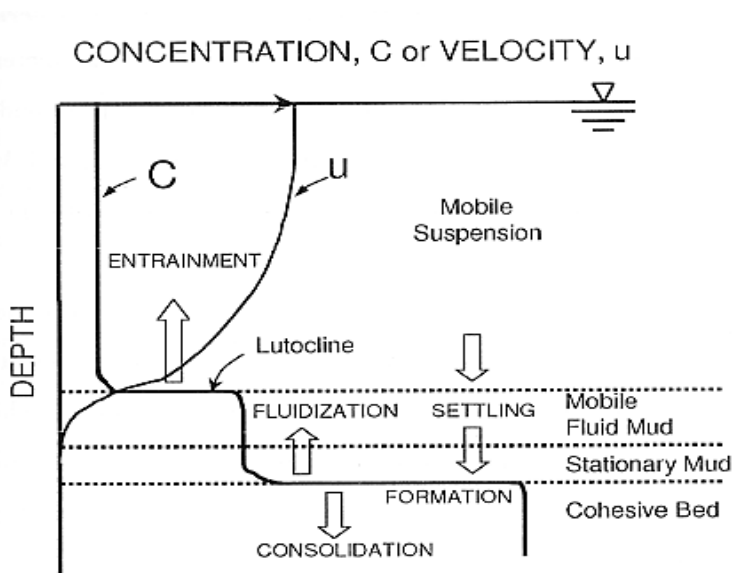
Apabila pada pantai tersebut terdapat alur pelayaran yang masuk kepelabuhan atau muara sungai yang tidak dilindungi dengan *breakwater* atau *submerge dike*, maka alur pelayaran tersebut akan segera terjadi siltasi akibat adanya *long shore transport* (angkutan sedimen sejajar pantai) yang ditimbulkan oleh angin dan gelombang.

PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan siltasi alur pelayaran yang terletak pada pantai dengan kondisi material pantai berupa *mud*

(lumpur) akibat adanya arus dan gelombang telah dilakukan penelitian oleh peneliti terdahulu. Terjadinya siltasi pada alur pelayaran sebagian besar disebabkan karena adanya aliran *fluid*

mud (lumpur cair) dan sebagian kecil dari *suspension mud* (lumpur melayang) yang mengendap dialur pelayaran. Distribusi konsentrasi lumpur (arah vertikal) dapat dilihat pada Gambar 1.

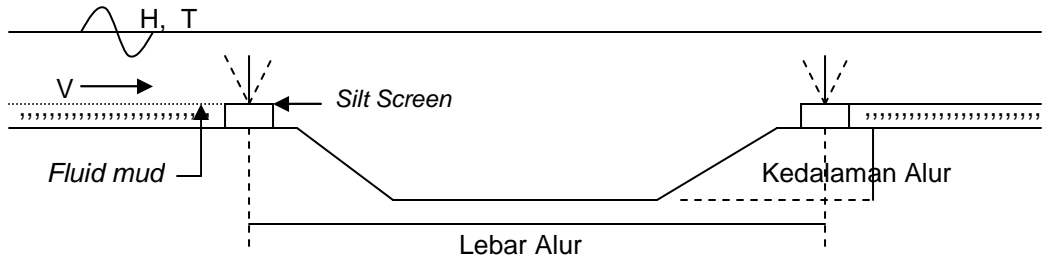


Gambar 1. Distribusi konsentrasi lumpur dipantai (arah vertikal)

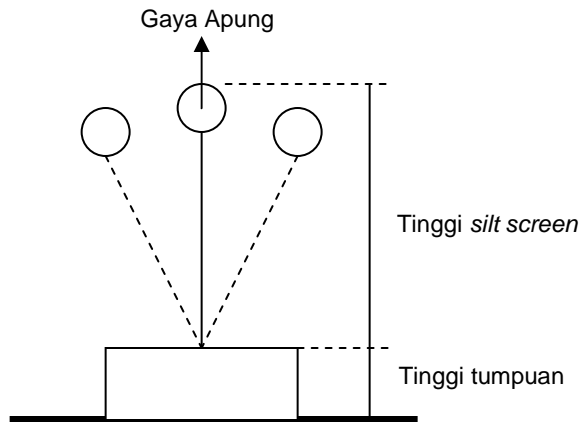
Upaya untuk mereduksi terjadinya siltasi pada alur pelayaran telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan menggunakan *submerged dike* (tanggul dibawah permukaan air). Penelitian yang telah dilakukan hanya meneliti perbedaan distribusi konsentrasi lumpur dibagian hilir *submerged dike* (alur pelayaran) dibandingkan dengan sebelum adanya *submerged dike*. Dalam penelitian ini mengabaikan pengaruh kedalaman alur,

lebar alur dan *submerged dike* yang ada diseberrangya.

Penelitian yang akan dilakukan adalah upaya untuk mereduksi siltasi dialur pelayaran dengan menggunakan *silt screen* dan memperhitungkan pengaruh kedalaman alur, lebar alur serta keberadaan *silt screen* diseberrang alur. Rencana penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2 dan gambar detail konstruksi *silt screen* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Rencana penelitian penggunaan silt screen untuk proteksi alur pelayaran



Gambar 3. Detail konstruksi *silt screen*

Variabel yang ada dilapangan dan mempunyai pengaruh signifikan dalam penelitian ini antara lain:

- Kedalaman air laut
- Distribusi konsentrasi lumpur arah vertikal
- Tinggi dan periode gelombang
- Kecepatan arus
- Kedalaman dan lebar alur pelayaran
- Dimensi *silt screen* (tinggi tumpuan, tinggi *silt screen* dan gaya apung)
- Rapat masa air laut
- Rapat masa lumpur
- Kecepatan endap lumpur
- Waktu / lama pengamatan.

Tebal *fluid mud* dimasing-masing lokasi tidak sama. Sehubungan dengan

konstruksi *silt screen* tidak mempunyai kemampuan untuk menahan *fluid mud*, maka tinggi tumpuan *silt screen* disesuaikan dengan ketebalan *fluid mud*.

Pengaruh gaya gelombang dan arus terhadap *silt screen* telah dilakukan penelitian oleh peneliti terdahulu.

MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud diadakannya penelitian penggunaan *silt screen* untuk proteksi alur pelayaran terhadap siltasi adalah:

- Untuk mendapatkan desain *silt screen* yang paling optimal untuk mereduksi siltasi yang terjadi dialur pelayaran

- Untuk mengetahui besarnya reduksi siltasi dialur pelayaran akibat adanya *silt screen* dibandingkan dengan tanpa menggunakan *silt screen*.

Tujuan diadakannya penelitian penggunaan *silt screen* untuk proteksi alur pelayaran terhadap siltasi adalah:

- Untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi kadar lumpur dan kedalaman air, sehingga ketebalan fluid mud dapat diketahui.
- Membuat model matematik pergerakan *fluid mud* dan pengaruhnya terhadap siltasi dialur pelayaran untuk berbagai kondisi (variabel) yang berpengaruh.
- Membuat model matematik pengaruh *silt screen* terhadap pergerakan *fluid mud* dan pengaruhnya terhadap siltasi dialur pelayaran untuk berbagai kondisi (variabel) yang berpengaruh.
- Membuat model fisik pergerakan fluid mud dan pengaruhnya terhadap siltasi dialur pelayaran untuk berbagai kondisi (variabel) yang berpengaruh.
- Membuat model fisik pengaruh *silt screen* terhadap pergerakan fluid mud dan pengaruhnya terhadap siltasi dialur pelayaran untuk berbagai kondisi (variabel) yang berpengaruh.
- Membandingkan hasil perhitungan model matematik dan model fisik dan hasilnya harus fit (cocok).
- Mengaplikasikan hasil penelitian terhadap studi kasus yang ada dilapangan.

MANFAAT PENELITIAN

Hasil penelitian *silt screen* diharapkan dapat dimanfaatkan untuk proteksi alur pelayaran terhadap siltasi , sehingga

siltasi yang terjadi dialur pelayaran dapat direduksi semaksimal mungkin. Dengan penggunaan *silt screen* diharapkan pelaksanaannya lebih mudah dan biayanya lebih murah.

PEMBATASAN MASALAH (RUANG LINGKUP PENELITIAN)

Silt screen termasuk jenis *submerge dike* (tanggul dibawah permukaan air) dengan konstruksi yang *movable* (dapat bergoyang), sehingga tidak mampu menahan momen. *Silt screen* hanya berfungsi untuk mereduksi siltasi dialur pelayaran, tetapi tidak dapat difungsikan sebagai pemecah gelombang.

Penggunaan *silt screen* hanya berlaku pada pantai dengan material dasar mud (lumpur). *Mud* adalah material yang berbutir sangat halus dengan *diameter* (D_{50}) 0,001 – 0,01 mm. *Silt screen* tidak dapat difungsikan untuk menahan angkutan sedimen pantai yang berupa pasir, sehingga *silt screen* tidak dapat digunakan pada zona pantai dengan material dasar berupa pasir (*sandy coast*).

PERILAKU SEDIMEN KOHESIF DI AIR

Telah dilakukan banyak penelitian mengenai karakteristik sedimen kohesif dan permasalahan siltasi baik dari laboratorium maupun penyelidikan lapangan. Penelitian di laboratorium yang pertama kali dilakukan oleh Krone dan Partheniades. Sebuah ringkasan yang memuat faktor-faktor yang mempengaruhi proses erosi yang dibuat oleh the *Task Committee on Erosi Materials*, Mehta, Parchure dan Mehta serta Dyer memberikan pandangan mengenai proses tersebut berkaitan dengan perpindahan sedimen kohesif, seperti deposisi, erosi, flokulasi dan

konsolidasi. Maa et al. mensimulasikan gerakan interkasi gelombang-lumpur untuk menghitung tingkat erosi dari kohesif oleh gelombang.

Ali et al. meneliti efek dari perilaku gelombang pada formasi dan perpindahan lumpur cair dengan mempertimbangkan efek dari bed slope. Kusuda et al. mempelajari mass flux dengan konsentrasi sedimen yang tinggi dan kondisi aliran laminer pada dasar aliran yang miring. Abdel-Maula et al menunjukkan pada gradien tekanan dan shear stress pada dasar aliran dimana faktor pemindahan sedimen dipengaruhi gelombang. Eksperimen-eksperimen dengan fokus pada proses flokulasi telah dilakukan oleh Mehta dan Partheniades, Mimura et al, Ogura et al, Oda et al, dan Winterwerp.

Gerakan sedimen kohesif pada daerah-daerah estuari yang diakibatkan oleh gelombang dan arus termasuk fenomena yang rumit. Pada aliran alami, sedimen kohesif memiliki empat macam komponen dalam pergerakannya, yaitu Gerakan Brownian, pengendapan secara gravitasi, pergerakan fluida ambient, serta pantulan akibat benturan antar partikel [2]. Untuk mengetahui lebih jelas mengenai gerakan dari struktur vertikal dari suspensi sedimen kohesif pada berbagai macam keadaan hidrodinamik, dapat dilihat pada sketsa dari Mehta seperti pada gambar 3.1. Gambar ini hanya tepat pada keadaan konsentrasi C di bagian tengah arus turbulen, terkait dengan kecepatan horisontal u. Kondisi yang tertera pada gambar telah diidealkan dengan hanya mencantumkan dua gradien konsentrasi yang signifikan. Bagian bawah menggambarkan endapan kohesif sedangkan bagian atas menunjukkan lapisan dengan konsentrasi yang relatif

tinggi, yaitu lumpur cair, yang bergerak secara horisontal maupun diam.

Tidak mudah untuk membedakan proses erosi dan deposisi. Sebagai contoh pengenceran dari endapan kohesif dan aliran lumpur cair akibat gaya hidrodinamis, keduanya dapat dikategorikan sebagai proses erosi, sedangkan pengendapan sedimen secara gravitasi pada lutocline dapat dianggap sebagai fenomena pengendapan. Secara umum, profil konsentrasi ini dapat dikategorikan dalam tiga proses yaitu erosi, deposisi, dan konsolidasi dasar aliran.

Konsekuensinya, model-model dari erosi sedimen kebanyakan sangat empiris dan site-specific. Berdasarkan keadaan ini, tingkat erosi umumnya dinyatakan pada rumus berikut :

$$E = M \frac{T_b - T_c}{T_c} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana T_b adalah bagian bawah *shear stress*, T_c adalah *shear stress* kritis, dan M adalah tingkat erosi konstan. Nilai M tidak berhubungan dengan nilai σ_{td} tanah mekanis seperti *Atteberg limits*, tetapi tergantung dari parameter fisiokimia (seperti cation exchange capacity, *CEC*) menunjukkan kekuatan ikatan antartikel. Pada sistem c.g.s, E dalam $g/cm^2/sec$ dan T in $dyne/cm^2$, dan M is in sec/cm .

Persamaan 1 menyatakan bahwa tingkat erosi meningkat secara linear dengan pengaruh *shear stress* pada dasar aliran. Deposisi adalah proses dimana partikel-partikel sedimen yang mengendap meninggalkan kolom air, secara sementara atau permanen untuk menjadi bagian dari dasar aliran. Deposisi dari sedimen kohesif dipengaruhi oleh perlawanan dari

lapisan-lapisan yang beragam yang harus ditembus oleh partikel tersebut untuk mencapai dasar aliran. Proses dari deposisi sedimen kohesif tergantung dari kombinasi beberapa faktor yang berbeda, termasuk ukuran, kecepatan pengendapan, serta kekuatan dari bagian yang mengendap.

Sebuah ringkasan mengenai proses agregasi ditulis oleh Van Leussen pada estuary, ketebalan dari endapan yang pekat (lumpur cair) dapat meningkat dengan cepat dalam sesaat, dan material yang tertinggal pada campuran tersebut mengendap, dan terjadilah proses konsolidasi, campuran tersebut berubah menjadi dasar aliran yang solid, dimulai dari dasar, tingkat deposisi disajikan sebagai berikut:

$$\frac{dm}{dt} = -w_f C \left(1 - \frac{T_b}{T_c}\right) T_b T_c \dots\dots\dots(2)$$

dimana m adalah massa dari endapan per unit area dasar aliran, $\left(1 - \frac{T_b}{T_c}\right)$ adalah probabilitas dari deposisi sedimen, w_f adalah kecepatan pengendapan, dan C adalah kedalaman rata-rata dari konsentrasi endapan sedimen.

Persamaan 2 tepat hanya jika tumbukan antara partikel-partikel yang mengendap sangat jarang dan gumpalan yang ada benar-benar mengendap. Tumbukan dan ikatan diantara partikel-partikel sedimen kohesif akan menyebabkan flokulasi, dimana gumpalan yang lebih besar terbentuk dari ikatan partikel-partikel yang lebih kecil. Kohesi di antara partikel-partikel sangat tergantung dari jenis mineral-mineral yang terkandung dalam tanah dan kandungan fisiokimia dari air di sekitarnya. Tumbukan-tumbukan

tersebut diakibatkan oleh gerakan Brownian, geser lokal (terjadi karena gradien aliran lokal), dan kecepatan pengendapan dari partikel. Secara umum, tumbukan antar partikel akibat geser lokal adalah mekanisme yang terpenting di estuari.

Gerakan Brownian, yang diakibatkan oleh energi panas yang dimiliki oleh partikel-partikel, adalah alasan utama mengapa partikel-partikel koloid yang terdispersi tidak mengendap, bahkan pada kondisi yang paling tenang. Tumbukan-tumbukan juga terjadi selama pengendapan karena gumpalan-gumpalan yang terbentuk memiliki kecepatan pengendapan yang berbeda-beda.

Hanya gumpalan yang cukup kuat untuk menahan tekanan kekuatan geser dari dasar aliran yang dapat mengendap. Gumpalan-gumpalan yang kekuatannya terlampaui rendah akan pecah dan akan larut kembali ke dalam fluida akibat gaya angkat hidrodinamis.

Ketika sering terjadi tumbukan dari partikel-partikel terlarut maka pada persamaan 2 harus ditambahkan pengaruh pertumbuhan dari gumpalan. Pada konsentrasi yang tinggi, flokulasi menyebabkan w_f naik. Pada kasus ini hubungan antara kecepatan pengendapan w_f dan konsentrasi, C seperti berikut:

$$w_f = k_1 C^n \dots\dots\dots(3)$$

dimana k_1 tergantung pada komposisi sedimen dimana nilai n bervariasi antara 1 dan 2 dengan mean sekitar 1,3.

Saat gumpalan-gumpalan terjadi, kecepatan pengendapan bertambah dibandingkan dengan partikel-partikel yang berdiri sendiri. Namun pada konsentrasi tertentu, agregat partikel mulai saling menghalangi dan

kecepatan pengendapan menurun dengan cepat. Gumpalan-gumpalan lumpur jarang mengendap sebagai partikel. Saat nilai konsentrasinya menjadi cukup tinggi, gumpalan-gumpalan yang mengendap mulai saling menghalangi gerakan satu sama lain, proses ini biasa disebut *hindered settling*. Secara umum, pada konsentrasi rendah, probabilitas dari tumbukan antar partikel dibatasi oleh kurangnya jumlah partikel-partikel pada suspensi, dan w_f adalah faktor independent dari konsentrasi. Pada konsentrasi menengah, campuran partikel saling terjadi, sehingga nilai w_f naik. Pada konsentrasi tinggi, nilai w_f turun dengan naiknya nilai konsentrasi C, karena pengendapan yang terhalangi. Pada kasus ini, persamaannya menjadi seperti berikut :

$$w_f = w_{f0} (1 - k_2 C)^\beta \dots\dots\dots(4)$$

dimana w_{f0} adalah referensi kecepatan pengendapan, k_2 adalah koefisien yang tergantung pada komposisi sedimen dan $\beta \simeq 5$. Secara umum permulaan dari pengendapan yang dihalangi terjadi pada konsentrasi antara 3 dan 15 g/l. Menurut Mehta, jika konsentrasi dari material terlarut terdiri atas silt dan clay kurang dari 2 g/l, maka kecepatan pengendapan menurun. Nilai ini telah diaplikasikan pada studi ini sehingga, rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan pengendapan adalah persamaan 5:

$$W_f = \begin{cases} 0,11c & c < 2(g/l) \\ 0,37(1-0,01)c & c < 2(g/l) \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

PERILAKU ALIRAN DI SEKITAR SILT SCREEN

Berdasarkan pada hasil dari eksperimen terdahulu, kita mengetahui bahwa perbedaan tingkatan aliran dari lumpur cair terjadi akibat efek dari arus dan gelombang. Penyebab dari perbedaan tersebut, masih belum jelas. Karena itu, untuk menjelaskan efek aliran di sekitar *silt screen* akan dihitung secara numerik.

Untuk menghitung aliran di sekitar *silt screen*, persamaan penentu dirubah ke dalam persamaan yang relevan untuk fungsi arus. Secara umum, analisis numerik adalah berdasarkan metode Galerkin dan dipecahkan dengan memperkenalkan Prandtl's teori panjang campuran. Persamaan Poisson dan perubahan persamaan untuk aliran dua dimensi adalah berdasarkan pada Takikawa et.al sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -w \dots\dots\dots(6)$$

persamaan perpindahan vortex,

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = (v + v_t) \nabla^2 \omega \dots\dots\dots(7)$$

dimana, x dan y adalah koordinat horizontal dan vertikal, t adalah waktu, ψ adalah fungsi arus, ω ; adalah vortex, u dan v adalah arah kecepatan vertikal dan horizontal. v adalah koefisien viskositas dinamik, dan v_t adalah koefisien vortex, dan $V2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ Arah dari vortex diasumsikan berlawanan arah dengan jarum jam :

$$w = \frac{\partial \omega}{\partial t} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \dots\dots\dots(8)$$

Kecepatan aliran u dan v dalam fungsi arus adalah sebagai berikut:

$$u = \frac{\partial \omega}{\partial y} \quad v = \frac{\partial \psi}{\partial x} \dots\dots\dots(9)$$

Tekanan Reynolds pada aliran turbulen flow secara sederhana diperkirakan oleh teori campuran panjang Prandtl, dan koefisien vortex v_t dapat dinyatakan sebagai berikut : [43]:

$$v_t = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right| \dots\dots\dots(10)$$

Dimana, l adalah panjang campuran. Dalam teori campuran panjang Prandtl, $l = ky^*$, dimana k adalah konstanta Karman ($k=0.41$) dan y^* adalah jarak dari dinding.

Kondisi Batas di bawah gerakan gelombang (gelombang osilasi) adalah sebagai berikut. Batas atas yang didapat diberikan dengan mengambil teori fungsi arus ψ , dimana, kondisi dari perubahan sinusoidal seperti $\psi = \psi_t \sin \sigma t$ untuk menghitung profil muka gelombang, dan vortex ω dianggap sebagai nilai yang tidak diketahui. Disini ψ_t adalah amplitudo dari fungsi arus pada batas atas, dan t adalah waktu. Pada batas bawah, dianggap $\psi = 0$, dan vortex ω diberikan oleh Thorn sebagai berikut :

$$w = \frac{2\psi_1}{h^2} \dots\dots\dots(11)$$

dimana ψ_1 adalah fungsi arus pada puncak dari salah satu bagian yang lebih tinggi dari dasar, h adalah jarak ke satu puncak dari dasar. Untuk memenuhi efek dari viskositas di sekitar bagian dasar, batasan samping (kiri dan kanan) menggunakan satu dimensi

lapisan batas turbulen pada arah y dan kemudian diaplikasikan pada sistem. Penghitungan tersebut dilakukan secara terpisah dari nilai kecepatan, dan diberikan sebagai berikut :

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial u_p}{\partial t} + (v + vt) \frac{\partial \omega}{\partial y} \dots\dots\dots(12)$$

dimana, u_p adalah kecepatan horisontal aliran pada sudut luar lapisan batas, v_t adalah sebagai berikut:

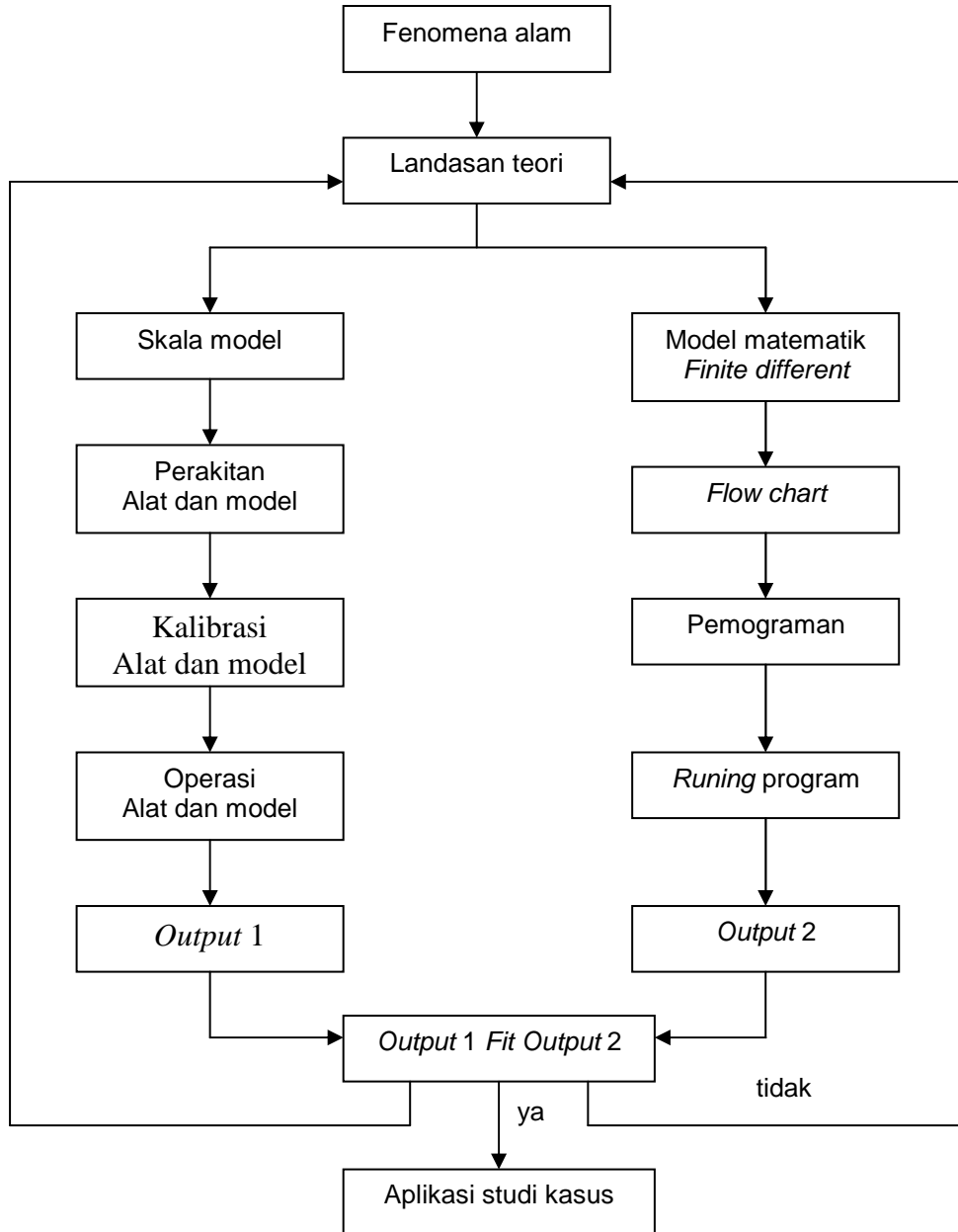
$$vt = (ky)^2 \frac{\partial u}{\partial y} \dots\dots\dots(13)$$

dimana y^* adalah jarak dari dasar.

Kondisi batas pada kasus dimana keadaan aliran adalah sebagai berikut. Batas atas adalah nilai definit, sebagaimana nilai untuk ψ , batas bawah adalah sama dengan kasus dari gelombang (gelombang osilasi), yaitu $\psi=0$ dan $\omega= 2 \psi_1 / h^2$, Gambar 4.18 dan 4.19 memperlihatkan distribusi kecepatan dari batas samping dalam kasus gelombang (gelombang osilasi) yang terjadi dan arus (aliran normal) yang terjadi.

TAHAPAN PELAKSANAAN PENELITIAN

Tahapan pelaksanaan penelitian penggunaan *silt screen* untuk proteksi alur pelayaran terhadap siltasi dapat dilihat pada gambar 6:



Gambar 6. Bagan alir tahapan pelaksanaan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

1. Hidayat, Rahman, *Study of submerged dike roles for protecting*

siltation in harbours and acces channels, Department of marine system engineering, graduate

- school of engineering, Kyushu University, Fukuoka-Japan 2004
2. Nurhasanah, Any, *Pengaruh gelombang terhadap perilaku silt screen*, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 2003
 3. Bangguna, David S, *Pengaruh Arus Pada Simpangan dan Gaya Yang Ditimbulkan Pada Silt Screen*, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 2003
 4. Wahyu Widiyanto, *Studi Model Fisik Silt Screen Untuk Mengurangi Pengendapan Sedimen Suspensi Dialur Pelabuhan*, Program Sarjana Universitas Gajah Mada , Yogyakarta, 2000.