



Minimalisir Pendangkalan Danau Tondano Melalui Pemanfaatan
Material Kerukan Sebagai Bahan Timbunan -
Suatu Uji Geoteknik Pada Perbaikan Tanah Lunak
Dengan Memanfaatkan Water Hyacinth

Oktoavian B. A. Sompie^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Roski R. I. Legrans^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^ab_sompie@unsrat.ac.id, ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id, ^clegransroski@unsrat.ac.id

Abstrak

Pembangunan infrastruktur yang pesat di wilayah Indonesia membutuhkan ketersediaan lahan yang memadai. Ketersediaan tanah lempung lunak di beberapa wilayah di Indonesia, memungkinkan pelaksanaan konstruksi tidak dapat dihindari pada kondisi tanah tersebut. Walaupun karakteristik lempung lunak yang memiliki daya dukung yang rendah, kuat geser yang rendah, kemampumampatan tinggi, rendahnya permeabilitas dan tingginya kemampuan mengikat air (Liquid Limit tinggi) menjadikan lempung lunak sebagai tanah yang sangat jelek untuk struktur. Karena itu upaya perbaikan tanah banyak dilakukan untuk maksud tersebut. Salah satu usaha untuk menstabilkan tanah lunak adalah dengan percepatan konsolidasi yaitu proses pemampatan tanah akibat terdisipasinya air pori. Dengan demikian kepadatan relatif tanah dapat ditingkatkan, dan kuat geser tanah meningkat pula. Konsolidasi pada tanah dengan kadar air yang sangat tinggi dapat dilakukan dengan dua tahap. Pertama dengan konsolidasi akibat berat tanah sendiri, dimana partikel padat akan turun ke bawah melalui proses sedimentasi. Selanjutnya setelah kadar air menjadi normal ($w < 150\%$), peristiwa konsolidasi dilakukan baik secara mekanik maupun dengan bahan tambahan. Penelitian ini memberikan solusi, pemanfaatan tanah dasar dengan material lempung lunak untuk memenuhi tersedianya lahan. Metode yang akan digunakan yaitu dengan memanfaatkan bahan tambahan yang banyak terdapat di Sulawesi Utara dalam hal ini arang eceng gondok (charcoal water hyacinth).

Kata kunci: Danau Tondano, self-consolidation, tanah lunak, water hyacinth

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Yang menjadi latar belakang permasalahan adalah tidakseimbangnnya ketersediaan lahan dengan pertambahan penduduk, melimpahnya ketersediaan waterhyacinth di Sulawesi Utara, dan keberadaan tanah lunak yang banyak dijumpai diberbagai wilayah. Sehingga upaya pemenuhan ketersediaan lahan dapat dilakukan dengan mengubah tanah lunak yang tidak cocok untuk struktur menjadi tanah siap pakai untuk konstruksi dengan menggunakan charcoal waterhyacinth.

Keberadaan tanah lunak banyak dijumpai diberbagai belahan bumi. Seperti *Shanghai Clay* di China, *Ariake Clay* di Jepang, *Bangkok Clay* di Thailand, dan Kalimantan Peat di Indonesia. Karakteristik tanah tersebut adalah: memiliki kuat geser yang rendah, daya dukung yang rendah, liquid limit yang tinggi, indeks mampat yang tinggi serta koefisien rembesan yang rendah (Chai et. al 2006; Rondonuwu 2015). Kondisi ini membuat tanah lunak tidak baik bagi struktur teknik sipil (*poor geotechnical properties*).

Namun demikian ada beberapa proyek besar yang dikerjakan pada tanah lunak, seperti: *Shanghai expressway* di China, *Kansai International Airport* di Jepang, *Changi Airport* di Singapura dan lain sebagainya. Hal ini memungkinkan dengan perbaikan tanah lunak. Beberapa

perbaikan tanah lunak dilakukan dengan cara mekanik seperti penggunaan alat berat untuk pemadatan. Adapula yang dikerjakan dengan mengendalikan air yang ditahan oleh tanah lunak yang memiliki liquid limit (Kemampuan menahan air) yang tinggi yaitu menghisap air tanah atau dewatering. Selain itu ada metode perbaikan tanah lunak dengan memberi tambahan material kimia untuk memperbaiki parameter tertentu. Masalah iptek yang dihadapi disini adalah beberapa metode perbaikan tanah yang digunakan selama ini memberi efek kerusakan lingkungan/ tidak ramah lingkungan, sehingga perlu diupayakan metode perbaikan tanah yang ramah lingkungan.

Metode yang ditawarkan disini adalah dengan menambah biochar ke dalam massa tanah. Biochar adalah material bakaran yang berasal dari tanaman. Penelitian sebelumnya melaporkan penggunaan biochar sebagai material untuk mereduksi CO₂, belum ada laporan pemanfaatan biochar untuk perbaikan tanah (Ammonete dkk 2009; Cornette dkk 2018). Biochar yang digunakan disini adalah charcoal water hyacinth atau bakaran eceng gondok. Water hyacinth adalah tanaman air yang perkembangannya sangat cepat di Danau Tondano Sulawesi Utara, hal ini dipicu oleh efek fertilisasi dan eutrofikasi akibat industri pertanian padi dan perikanan air tawar di sekitar danau. Charcoal waterhyacinth dapat mengendalikan liquid limit tanah lunak yang sangat tinggi, sehingga dapat mempercepat proses konsolidasi, dengan demikian memperbaiki parameter geoteknik tanah lempung lunak.

Perbaikan tanah lunak disini adalah dengan percepatan konsolidasi tanah (konsolidasi adalah proses pemampatan tanah dengan keluarnya air dari dalam pori tanah). Dalam kondisi normal proses ini bisa memakan waktu yang lama, bahkan sampai berpuluh tahun. Karena itu perlu upaya untuk mempercepat proses konsolidasi. Berbagai teori untuk mempersingkat periode konsolidasi telah dilakukan dalam menanggapi upaya perbaikan tanah. Dalam keadaan kadar air yang sangat tinggi ($w > 400\%$) peristiwa konsolidasi terjadi karena berat sendiri dari partikel padat, atau peristiwa berpindahannya partikel padat ke bagian bawah (sedimentasi). Sementara, eksperimen untuk mendukung pemahaman tentang karakteristik sedimen telah dilakukan (Kondo dan Torrance, 2009, Sinolungan dkk 2008). Diantaranya dengan pemberian bahan tambahan sebagai dispersan untuk mempercepat sedimentasi. Di sisi lain penggunaan bahan kimia sebagai aditif untuk meningkatkan stabilitas tanah, menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan. Karena, menyentuh tanah langsung sebagai sumber kehidupan yang juga menyentuh air yang terkandung dalam tanah. Oleh karena itu, upaya mencari solusi untuk perbaikan tanah harus memperhitungkan usaha untuk memperbaiki kadar kontaminan/ racun dalam tanah.

Perbaikan tanah lunak dengan water hyacinth adalah karena mudah didapat sehingga ekonomis dan ramah lingkungan, karena tidak memberikan efek pencemaran lingkungan. Inovasi yang ditawarkan adalah penggunaan biochar merupakan hal yang baru bagi perbaikan tanah.

1.2. Tujuan dan Sasaran Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan cara / teknik yang tepat dalam: 1). Memanfaatkan material lempung lunak sebagai material dalam pekerjaan teknik sipil (seperti material untuk pekerjaan penimbunan tanah); 2). Mendefinisikan karakteristik konsolidasi material lempung lunak, sehingga layak digunakan sebagai material konstruksi; 3). Merekomendasikan charcoal waterhyacinth sebagai bahan tambahan yang tepat untuk percepatan konsolidasi akibat berat sendiri; 4). Merekomendasikan bahan yang tepat untuk menaikkan kuat geser tanah; 5). Menghasilkan inovasi dalam bidang ketersediaan material tanah dasar untuk konstruksi Teknik Sipil.

Sedangkan sasaran penelitian adalah water hyacinth sebagai pemberi kontribusi signifikan pada pendangkalan Danau Tondano, dan ketersediaan lahan yang memadai untuk kebutuhan masyarakat.

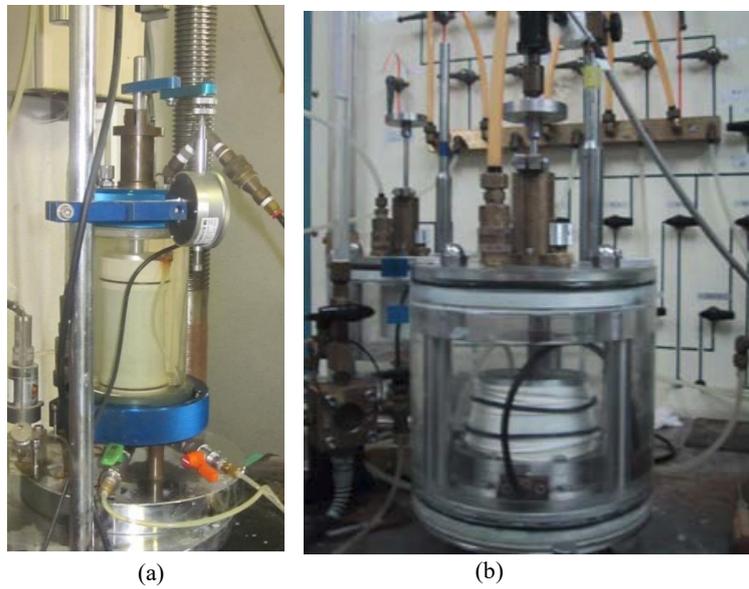
2. Metode

2.1. Data

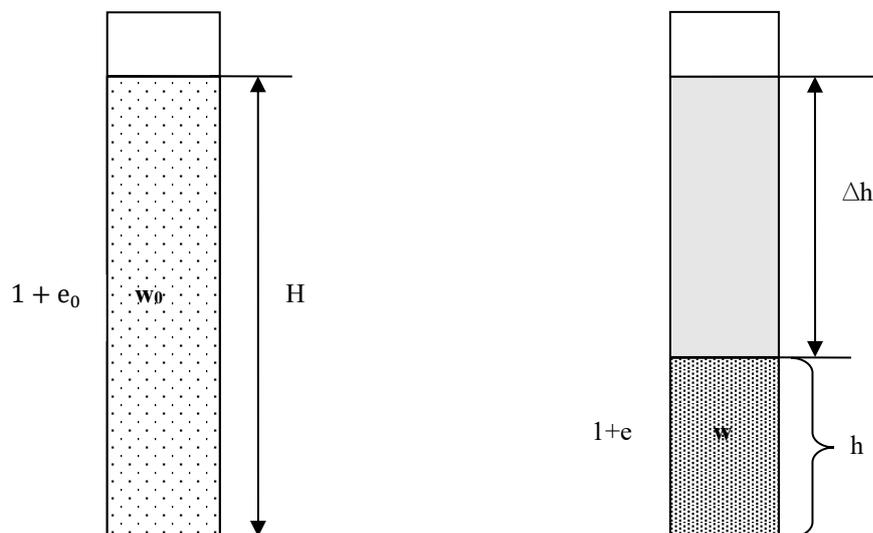
Data dalam penelitian ini diambil dengan test lapangan dan uji laboratorium untuk konsolidasi dan kuat geser. Sedangkan untuk karakteristik sedimentasi akan menggunakan metode sedimentasi. Data parameter dasar tanah akan diperiksa di laboratorium dengan membandingkan data sekunder yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 1. Test Silinder untuk Uji Sedimentasi



Gambar 2. (a) Triaksial test (b) Odometer test untuk uji konsolidasi dan geser



Gambar 3. Sketsa Larutan pada Proses Sedimentasi (a) Sebelum Sedimentasi; (b) Sesudah Sedimentasi

2.2. Metode Analisis

Mekanisme menetapkan karakteristik konsolidasi pada tanag dengan kadar air sedang ditafsirkan oleh Mikasa (1963) dengan teori konsolidasi nya untuk tanah lempung lunak. Perbandingan volume (f) definisikan dalam $f = 1 + e$, yang mewakili volume tanah, selain itu menggunakan perbandingan volume dari rasio pori tanah dalam analisa kepadatan relatif (Kondo et.al. 1999) . Beberapa hubungan perhitungan untuk menyelesaikan tingkat kepadatan, koefisien permeabilitas, rasio volume dan tegangan efektif disajikan. Persamaan yang digunakan

$$\begin{aligned} H &= h + \Delta h \\ h &= H - \Delta h \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} h + h e_0 &= H + H e \longrightarrow H e = h + h e_0 - H \\ e &= \frac{h}{H} + \frac{h}{H} e_0 - 1 \\ e &= \frac{h}{H} (1 + e_0) - 1 \\ e &= \frac{H - \Delta h}{H} (1 + e_0) - 1 \\ e &= \left(1 - \frac{\Delta h}{H}\right) (1 + e_0) - 1 = 1 + e_0 - \frac{\Delta h}{H} - \frac{\Delta h}{H} e_0 - 1 \\ &= e_0 - \frac{\Delta h}{H} - \frac{\Delta h}{H} e_0 \\ e &= \left(1 + \frac{\Delta h}{H}\right) e_0 - \frac{\Delta h}{H} \end{aligned} \quad (2)$$

$$e_0 S_r = G_s w_0 \rightarrow e_0 = \frac{G_s - w_0}{S_r} = \frac{G_s w_0}{100} = \frac{G_s w}{100} \quad (3)$$

Dimana, e , S_r , G_s , w , dan H , secara berurutan adalah angka pori, derajat kejenuhan, spesifik gravity, kadar air and dan tinggi larutan.

3. Kajian Literatur

3.1. Karakteristik Konsolidasi

Empat jenis karakteristik sedimentasi telah diklasifikasikan (Imai 1980). 1) *Dispersed Free Settling* (DFS) didefinisikan, partikel tanah tidak terflokulasi tapi menyebar, dan tersedimentasi dengan bebas tanpa interaksi timbal balik. Partikel kasar tersedimentasi lebih awal dari partikel halus. 2) *Flocculated Free Settling* (FFS), partikel tanah terflokulasi dan membentuk gumpalan dengan ukuran yang berbeda. Partikel tersebut tersedimentasi secara bebas berdasarkan ukuran , oleh karena itu, tidak ada batas partikel yang terlihat dengan jelas pada kontainer uji sedimentasi. 3) *Zone Settling* (ZS), gumpalan terbentuk karena flokulasi dan tersedimentasi menurut interaksi timbal balik yang kuat di antara partikel. Oleh karena itu, sedimentasi seragam terjadi dalam agregat membentuk batas yang jelas, yang tersedimentasi konstan selama proses berlangsung. 4). *Consolidation Settling* (CS), keterlihatan gumpalan tidak dapat dibentuk. Campuran tersedimentasi secara keseluruhan terutama karena konsolidasi.

3.2. Material tambahan dalam geologi teknik

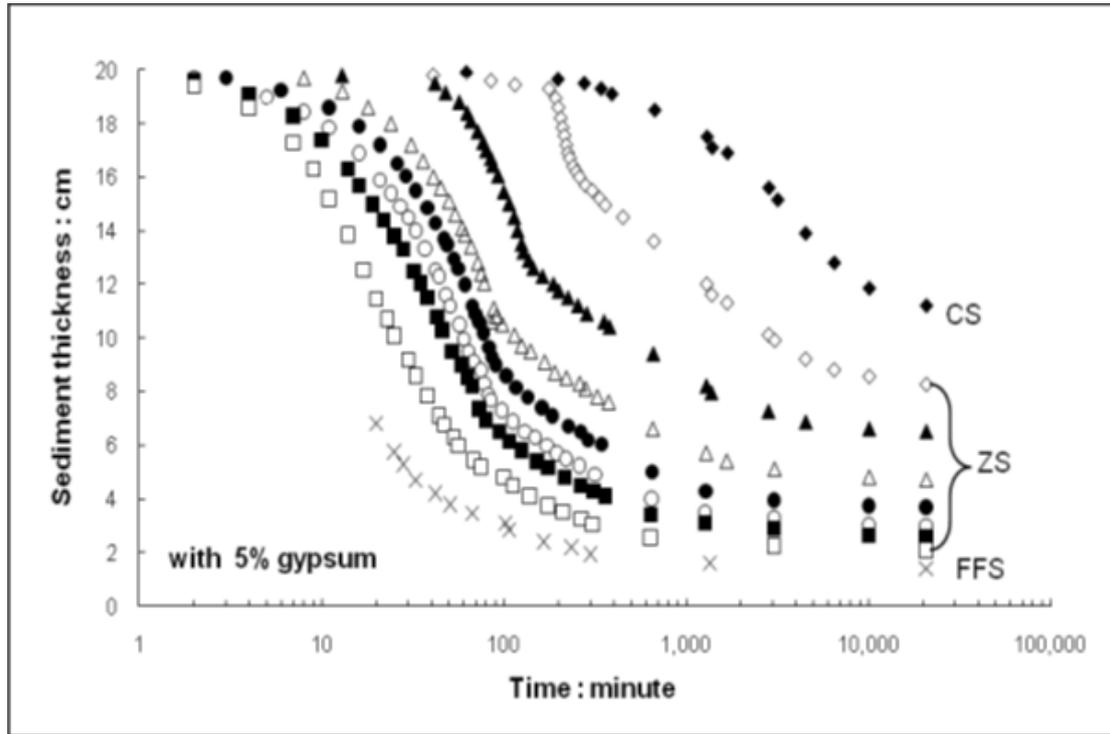
Dalam penelitian tentang perbaikan tanah lunak telah banyak digunakan bahan tambahan untuk mengendalikan laju konsolidasi dan kekuatan tanah. Bahan tambahan yang digunakan diantaranya campuran semen dan kapur, semen dan abu terbang juga pemanfaatan serat alami seperti eceng gondok (Rondonuwu dkk (2011); Vinod, P. and Bhaskar, A.B. (2012).

3.3 Studi Terdahulu tentang Karakteristik konsolidasi pada Sedimen

Karakteristik konsolidasi akibat berat sendiri pada tanah lumpur telah dilaporkan oleh Kondo et al. 1999. Namun belum ada teori yang melaporkan hubungan antara konsolidasi akibat berat sendiri pada material kerukan dengan range kadar air yang besar.

Yang menjadi *state of the art* dalam bidang yang diteliti ini adalah laju konsolidasi dapat di atur dalam pekerjaan perbaikan tanah dengan memanfaatkan material kerukan. Sehingga lebih

ekonomis dalam hal waktu dan efisiensi pekerjaan. Penelitian ini sangat signifikan dilakukan di negara – negara berkembang termasuk Indonesia karena pendangkalan sungai dan kurangnya lahan menjadi masalah dalam setiap aspek kehidupan.



Gambar 4. Karakteristik sedimen di Sungai Ariake Jepang dengan bahan tambahan
 Sumber: Characteristics Sediment of dredged material (Rondonuwu 2011)

4. Hasil dan Pembahasan

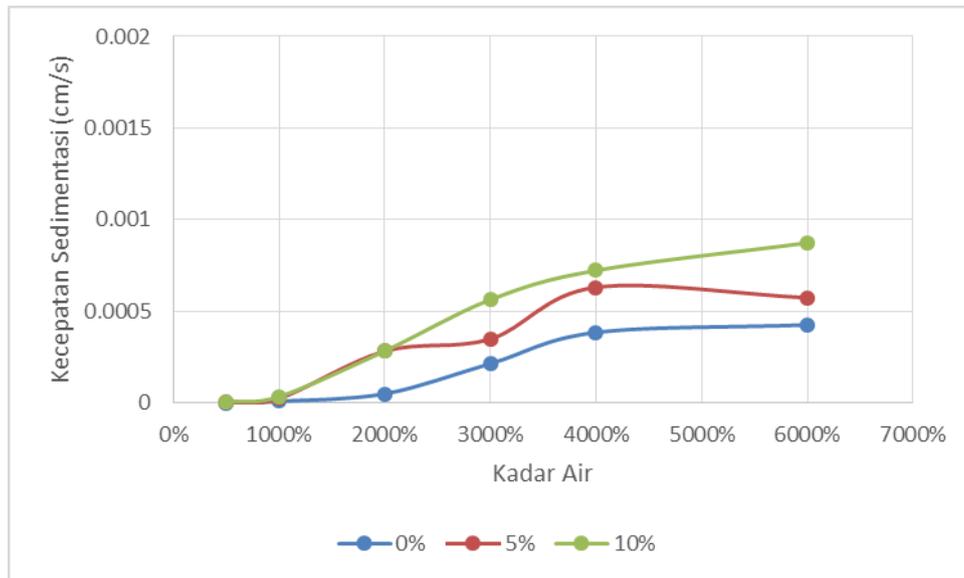
4.1. Kecepatan Sedimentasi

Pada percobaan sedimentasi yang telah dilakukan didapatkan grafik hubungan antara ketebalan dan waktu pengendapan maka dari data tersebut dapat digunakan untuk menghitung kecepatan sedimentasi. Perhitungan kecepatan rata-rata sedimentasi material kerukan ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Perhitungan kecepatan sesaat dapat dihitung dengan melihat kemiringan yang paling terjal pada grafik yang telah didapatkan pada saat pengujian sedimentasi. Perhitungan kecepatan sesaat sedimentasi material kerukan ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 6.

Tabel.1 Kecepatan rata-rata Sedimentasi Material Kerukan

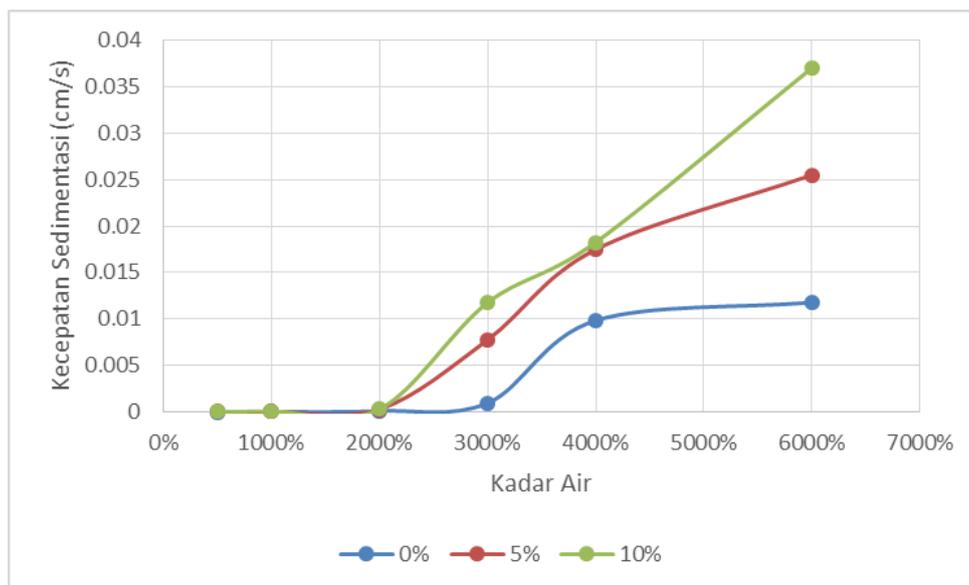
Nomor	Variasi Kadar air	Variasi Arang			Satuan
		0%	5%	10%	
1	500%	0	3.71.E-06	6.36.E-06	cm/s
2	1000%	9.51.E-06	2.49.E-05	3.47.E-05	cm/s
3	2000%	5.04.E-05	2.83.E-04	2.84.E-04	cm/s
4	3000%	2.15.E-04	3.49.E-04	5.64.E-04	cm/s
5	4000%	3.85.E-04	6.31.E-04	7.23.E-04	cm/s
6	6000%	4.26.E-04	5.74.E-04	8.74.E-04	cm/s



Gambar 5. Grafik Kecepatan rata-rata Sedimentasi Material Kerukan

Tabel 2. Kecepatan sesaat Sedimentasi Material Kerukan

Nomor	Variasi Kadar air	Variasi Arang			Satuan
		0%	5%	10%	
1	500%	0	3.47E-06	6.00E-06	cm/s
2	1000%	8.45E-06	3.704E-05	8.13E-05	cm/s
3	2000%	9.98E-05	2.74E-04	2.94E-04	cm/s
4	3000%	9.51E-04	7.75E-03	1.18E-02	cm/s
5	4000%	9.85E-03	1.75E-02	1.83E-02	cm/s
6	6000%	1.18E-02	2.55E-02	3.70E-02	cm/s



Gambar 6. Grafik Kecepatan Sesaat Sedimentasi Material Kerukan

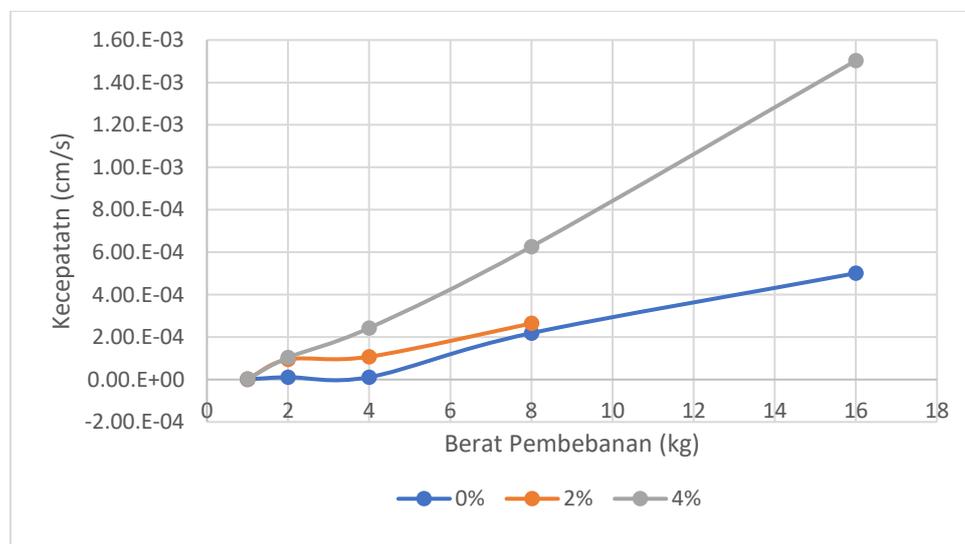
4.2. Hubungan Stabilisasi dan Sedimentasi

Pada pengujian sedimentasi yang telah dilakukan, telah diketahui bahwa penambahan

arang eceng gondok dapat mempercepat proses sedimentasi pada material kerukan. Kecepatan sedimentasi akan bertambah bersamaan dengan penambahan arang eceng gondok. Untuk mengetahui hubungan antara stabilisasi dan sedimentasi dapat dilihat dari pengujian konsolidasi yang dilakukan oleh Syawie pada tahun 2021 (Analisis Lempung Lunak dengan tambahan Charcoal Eceng Gondok) dari data pengujian konsolidasi dapat dihitung *rate of consolidation* pada material kerukan dengan bahan tambahan arang eceng gondok. Perhitungan *rate of consolidation* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 7.

Tabel 3. *Rate of Consolidation* dengan Bahan Tambahan Arang Eceng Gondok

Nomor	Berat Pembebanan (kg)	Variasi Arang			Satuan
		0%	2%	4%	
1	1	7.81.E-07	2.04.E-06	2.35.E-06	cm/s
2	2	1.10.E-05	9.45.E-05	1.03.E-04	cm/s
3	4	1.13.E-05	1.07.E-04	2.43.E-04	cm/s
4	8	2.19.E-04	2.64.E-04	6.26.E-04	cm/s
5	16	5.01.E-04		1.50.E-03	cm/s



Gambar 7. Grafik Rate of Consolidation dengan Bahan Tambahan Arang Eceng Gondok

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian sedimentasi menggunakan silinder kaca didapatkan kesimpulan bahwa penambahan arang eceng gondok dapat mempercepat penurunan larutan partikel padat dan mempercepat proses sedimentasi. Saran yang dapat disampaikan adalah melakukan penambahan variasi untuk presentase penambahan arang pada pengujian sedimentasi.

Referensi

- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Kanisius
- Imai, G. 1980. Settling behaviour of clay suspension. *Soils and Found*, 20 (2): 61-77
- Isnansetyo A, Thien ND, Seguchi M, Koriyama M, Koga A, 2009. Nitrification potential and effect of several environment parameters on nitrification rate of the Ariake sea mud sediment. *Proceeding of the annual meeting of Japanese Society of Irrigation Drainage and Reclamation Engineering*. Kyushu branch: 48-51
- Japanese Agricultural Water Standard. 2008. <http://keea.or.jp/qkan/water16.html>, Japan
- Japanese Industrial Water Standard. 2008. <http://env.go.jp/kijun/wt2-1-2.html>, Japan
- Kondo F, Sarkar MAA, Nakazono T, Kunitake M., 1999. Parameter estimation and numerical analysis of self weight consolidation of slurried marine clay. *Int. Journal of Offshore and Polar Engineering*

- 9(4). 314-319
- Kondo,F, and Torrance, J.K. 2005 . Effects of smectite, salinity and water content on sedimentation and self weight consolidation on thoroughly disturbed soft marine clay. *Paddy Water Environment*, 3: 155-164
- Kondo,F, Torrance.J.K., 2009. Effects of Grain-Size distribution, Iron oxide, and organic matter in sedimentation and self-weight consolidation on thoroughly disturbed soft marine clay, *Transactions of the Japanese Society of Irrigation Drainage and Reclamation Engineering*. 260, 57-67
- Mitchell J.K. 1993. *Fundamentals of Soil Behaviour*. John Wiley and Sons, Inc., 61-64
- Menteri Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air
- Metcalf & Eddy, Inc. 1991. *Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse*.3rd ed. (Revised by: G. Tchobanoglous and F.L. Burton). McGraw-Hill,Inc. New York, Singapore. 1334 p
- Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2021 tentang Penyelamatan Danau Prioritas Nasional.
- Rondonuwu, S. G., Kondo, F. 2010. Sedimentation Characteristics and Changes of Water Quality Due to Additional Materials in Ariake Creek Sediment. *PIT XIV HATTI*
- Rondonuwu, S. G., Sarajar, Alva N. Mandagi, A. T. Effect of Salt Leaching on Sedimentation and Self Weight Consolidation. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- S Putri Elisa, Sasmita Aryo, HS Edward. 2016. Pengaruh Campuran Lempung dan Eceng Gondok Sebagai Adsorben untuk Penyisihan Besi (Fe), Mangan (Mn) dan Warna pada Air Gambut. *JOM Fakultas Teknik*. Vol. 4 No. 1
- Sastrapradja, S., Bimantoro R., Tumbuhan Air. 1981. Lembaga Biologi Nasional LIPI
- Sinolungan,T.M., Kondo F., Koumoto T,. 2009. Effect of gypsum addition on sedimentation characteristics of Tondano Lake clay, Indonesia. *Journal of the Japanese Society of Soil Physics*, No 111, 43-51
- Situmorang, M. 2017 *Kimia Lingkungan*. Raja Grafindo Persada