

IDENTIFIKASI PENGARUH SEMEN DAN KAPUR PADA STABILISASI LIMBAH TERPOLUSI LOGAM BERAT PADA PEKERJAAN Pengerukan PELABUHAN

Ernesto Silitonga

Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia, 20221

email : ernestosilitonga@unimed.ac.id

ABSTRAK, Berdasarkan penelitian yang sebelumnya, pembuangan sedimen hasil pekerjaan pengerukan pelabuhan ke tengah laut seperti yang telah dilakukan selama ini memberikan dampak buruk terhadap lingkungan disekitar laut dan pelabuhan. Sedimen hasil pekerjaan pengerukan pelabuhan harus terlebih dahulu ditempatkan di lokasi yang aman bagi lingkungan sekitar. Limbah yang dihasilkan dari proses pekerjaan pengerukan pelabuhan ini akan terus meningkat setiap tahun. Peningkatan jumlah limbah ini tentunya secara langsung mengakibatkan perlunya peningkatan luas lokasi penampungan limbah tersebut. Lokasi penampungan limbah ini tentunya memerlukan biaya yang tinggi. Penelitian ini ditujukan untuk memberikan alternatif penggunaan dari sedimen (limbah) hasil pekerjaan pengerukan tersebut. Reutilisasi limbah pekerjaan pengerukan ditujukan pada bidang pekerjaan pembangunan jalan. Proses reutilisasi limbah ini dimulai dengan mengidentifikasi karakteristik dari sedimen dan campuran yang akan digunakan. Tahap berikutnya adalah memastikan apakah limbah yang telah distabilisasi tersebut dapat memenuhi syarat dalam pembangunan jalan dan lingkungan sehingga aman untuk digunakan. Menemukan formulasi campuran yang terbaik sehingga limbah sedimen ini dapat digunakan dalam pekerjaan pembangunan jalan merupakan salah satu tujuan dari penelitian ini.

Kata Kunci:

Stabilisasi limbah, sedimen hasil pekerjaan pengerukan, polusi logam berat.

PENDAHULUAN

Pelabuhan memiliki peranan yang sangat penting dalam pertumbuhan ekonomi dari suatu Negara. Pekerjaan pengerukan merupakan salah satu pekerjaan yang sangat penting untuk kelangsungan operasi pelabuhan dan kegiatan ini dilakukan secara kontiniu. Pekerjaan ini direalisasikan untuk mencegah pendangkalan yang mengganggu alur pelayaran. Problem pendangkalan pada pelabuhan ini merupakan masalah rutin dalam pelaksanaan aktivitas pelabuhan. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Colin 2003, Behmanesh 2008 dan Silitonga 2010^{*1}) dapat dibuktikan bahwa masalah sedimentasi atau pendangkalan ini menimbulkan masalah pada lingkungan sekitarnya. Hal ini dapat disebabkan oleh limbah industri dan domestik ikut terbawa oleh sedimen yang berasal dari sungai-sungai yang bermuara di pelabuhan. Sungai sungai ini dimanfaatkan untuk berbagai keperluan untuk kesejahteraan manusia sekitarnya. Namun, seiring dengan waktu, pertumbuhan industri dan jumlah penduduk, sehingga meningkatkan beban limbah industri dan domestik disungai-sungai dan menyebabkan sungai ini tercemar. Limbah domestik sebagai penyumbang terbesar pencemaran kedua sungai ini adalah timbunan sampah. Akibatnya seluruh limbah tersebut akan ikut terbawa oleh transportasi sedimen yang bermuara di pelabuhan. Secara otomatis, pembuangan sedimen ke tengah laut pada akhir dari proses pengerukan, dapat dianggap sebagai penyebaran limbah secara tidak langsung (Silitonga 2016^{*1} dan Silitonga 2016^{*2})

Negara-negara Eropah dan Amerika telah memulai tindakan pencegahan penyebaran limbah secara tidak langsung lebih dari 15 tahun yang lalu, dimana dalam penerapannya limbah (sedimen) hasil proses pengerukan harus langsung ditampung dilokasi yang telah dipersiapkan untuk diidentifikasi apakah kadar polusi dalam sedimen tersebut dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan (Silitonga 2009). Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan adanya ambang batas yang dapat diterapkan pada sedimen hasil pekerjaan pengerukan. Tingkat ambang batas polusi ini, dapat membantu menentukan apakah

sedimen dapat dibuang kembali ke laut atau harus ditempatkan pada suatu daerah tertentu, dan dilakukan penstabilisasian, sehingga dapat diberdayagunakan sebagai material baru (*Silitonga E. 2017*¹*, *Silitonga E. 2017*²* dan *Silitonga 2017*³*). Konferensi « Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est» pada tahun 1998 Konferensi ini dihadiri oleh Negara Jerman, Belgia, Denmark, Finlandia, Prancis, Inggris Irlandia Utara dan Swiss. dimana disepakati bahwa diperlukan tindakan pencegahan untuk pembuangan material hasil pekerjaan pengerukan di tengah laut. Setelah diadakannya Konferensi ini maka seluruh Negara anggota bersepakat bahwa negara-negara eropah memulai membuka lahan depot untuk tempat penimbunan sedimen-sedimen hasil pengerukan ini. Akan tetapi dikarenakan oleh volume dari sedimen hasil pengerukan ini semakin lama semakin meningkat, sehingga diperlukan tempat yang lebih luas untuk tempat penampungan (*Silitonga 2015 dan Silitonga 2016*²*). Dengan meningkatnya jumlah limbah pelabuhan setiap tahunnya maka dinyatakan bahwa solusi lahan depot untuk penampungan penimbunan sedimen hasil pengerukan ini tidak efisien dan disamping itu mengeluarkan dana yang sangat tinggi untuk tempat penyediaan lokasi penimbunan. Solusi berikutnya dalam menanggulangi sedimen hasil pengerukan ini adalah dengan menemukan pendayagunaan yang tepat, baik dari segi ekonomi dan lingkungan. Akan tetapi pendayagunaan ulang sedimen hasil pengerukan ini tergantung oleh karakteristik dan kadar polusi material tersebut sesuai dengan hasil syarat yang dibutuhkan.

Penggunaan sedimen limbah pelabuhan apabila akan digunakan sebagai material dalam pekerjaan pembuatan jalan harus dipastikan bahwa kandungan logam berat yang terdapat dalam sedimen tidak akan keluar, menyerap dan mencemari lingkungan sekitar. Beberapa kasus dimana tanah terpolusi oleh limbah yang berada disekitar lingkungan tersebut. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di India, terutama yang terjadi di areal sub urban Varanasi, India, diketahui bahwa kontaminasi logam berat cadmium, timbal dan nikel terdapat pada sayuran, tanaman tersebut tercemar dari limbah yang berada lingkungan, dimana mineral logam berat menyerap kedalam tanah melalui air dan mencemari tanaman, yang dimana tanaman tersebut membahayakan kesehatan manusia dikonsumsi oleh manusia (*Silitonga 2017*⁴*). Stabilisasi limbah dengan tujuan menetralsir kandungan logam berat yang tinggi telah dicoba dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian yang telah direalisasikan sebelumnya bertujuan untuk mencari bidang aplikasi penggunaan ulang sedimen hasil pekerjaan pengerukan ini contohnya *Silitonga (Silitonga 2010*¹ dan Silitonga 2010*²)* meneliti dengan menggunakan sedimen hasil pengerukan pelabuhan Cherbourg-Basse Normandie, Prancis. Penelitian ini direalisasikan dengan menggunakan limbah industri lainnya, yaitu Abu terbang, yang berasal dari Pertambangan Batubara di Lorraine Prancis, dikarenakan volume penimbunan limbah ini setiap tahunnya semakin meningkat. Selain mengidentifikasi karakteristik origin dari sedimen hasil pengerukan, penelitian ini juga mengidentifikasi pengaruh dua tipe kapur yang berbeda yang digunakan dalam percobaan ini.. Penelitian lainnya dari *Silitonga (Silitonga, 2008)* memperlihatkan bahwa, penggunaan abu terbang dalam campuran sangat berdampak positif untuk meningkatkan ketahanan daya tekan pada sampel yang dicampur dengan abu terbang. Dimana peningkatan terhadap daya tekan berbanding lurus terhadap peningkatan persentase campuran abu terbang di dalam sampel. Abu terbang juga terbukti meningkatkan ketahanan sampel pada pergantian kondisi lingkungan yang ekstrim. Melalui percobaan Freeze-Thaw test, dengan pergantian suhu dari 10°C ke -10°C setiap 8 jam, sampel dengan campuran Abu Terbang menunjukkan kinerja yang ketahanan yang sangat tinggi akan kondisi udara yang ekstrim. Selain ini kepekaan sampel terhadap air meningkat drastis. Hal ini dapat diperhatikan melalui percobaan Dry-Wet test. Dari hasil percobaan ini, dapat kita perhatikan bahwa ukuran abu terbang yang tergolong sangat kecil (0,5 sampai 200 µm). Kelebihan abu terbang inilah yang bertanggung jawab atas peningkatan kekuatan sampel akan pergantian suhu ekstrim. Kecilnya ukuran abu terbang,

memberikan peluang kepada material ini untuk dapat mengisi celah-celah atau ruang kosong dalam matrix sampel. Dengan terisinya celah-celah ini, maka matrix benar-benar solid sehingga tidak ada celah untuk air dapat masuk untuk mengisi ruang-ruang kosong. Penelitian yang dilakukan oleh Silitonga. (*Silitonga E. et al., 2009*)*¹ dimana sedimen hasil pekerjaan pengerukan pada pelabuhan Cherbourg-Basse Normandie, Prancis, menggunakan abu terbang sebagai binder Pengikat. Kadar polusi yang tinggi pada sedimen terbukti dapat mengganggu reaksi dari campuran untuk meningkatkan performa dari sedimen. Penelitian ini membuktikan bahwa elemen-elemen logam berat dalam sedimen dapat memperlambat atau proses reaksi kimia yang terjadi dalam matrik untuk mendapatkan kekuatan dan kepadatan (solid). Sebaliknya dalam penelitian ini juga dibuktikan bahwa dengan ditambahkan binder pozzolanic (abu terbang) dalam campuran sampel, selain meningkatkan performa mekanik juga menurunkan kadar polusi pada sedimen. Penelitian lainnya oleh Silitonga (*SILITONGA. dkk, 2011*), *SILITONGA, 2017**⁵ dan *SILITONGA, 2017**⁶) menggunakan sedimen hasil pekerjaan pengerukan pada pelabuhan Port En Bessin, Prancis yang akan digunakan sebagai material baru dalam pekerjaan pembangunan jalan, akan tetapi penggunaan limbah ini harus aman dari segi lingkungan, dan ekonomis. Hasil memperlihatkan bahwa sedimen dengan kadar polusi yang tertinggi memiliki peningkatan karakteristik mekanik yang terendah dibanding sedimen lainnya.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan terdiri langkah-langkah dibawah ini :

1. Identifikasi masalah dan pengumpulan data.

Penelitian ilmiah yang telah dilakukan di dalam ataupun diluar negeri yang bersangkutan dengan pendayagunaan sedimen hasil pengerukan akan dikumpulkan dan lalu didaftarkan sebagai referensi untuk penelitian.

2. Pengambilan Sampel

Penempatan titik pengambilan sample sangatlah penting untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Untuk menentukan titik pengambilan sample, sebelumnya harus mendapat gambaran letak strategis penimbunan sedimen yang berasal dari sungai disekitar pelabuhan, terutama yang bermuara di pelabuhan. Hal ini berguna untuk mendapatkan sample yang mewakili sedimen terpolusi dari berbagai daerah yang berbeda.

3. Identifikasi tipe penyimpanan dan pengeringan

Setelah tahap pengambilan sample, tahap berikutnya adalah menemukan sistem yang memadai dan efisien dalam upaya untuk mengurangi kadar air dari sediment. Seperti yang kita ketahui bersama, kadar air origin dari sedimen hasil pengerukan sangatlah tinggi, sehingga tidak memungkinkan untuk digunakan dalam campuran. Pemilihan system 'Dewatering' ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu: kwantitas material/ sediment yang dikeruk setiap tahunnya, dana yang tersedia dan Jenis pendayagunaan ulang dari material/ sedimen.

4. Identifikasi karakteristik material dan binder yang akan digunakan.

- a. Tahap pertama terdiri dari percobaan ini adalah, mengidentifikasi karakteristik/properti mekanik, mineralogi dan kimia, dari material yang digunakan, dalam hal ini Sedimen hasil pengerukan dari Pelabuhan. Identifikasi properti fisik / mekanik dari material ini dilakukan dengan melakukan percobaan- percobaan yang umumnya dilakukan dalam pekerjaan teknik sipil, contohnya: identifikasi distribusi granulometri, identifikasi kadar material organik, identifikasi batas plastisitas dan likuiditas dengan metode Atterberg, percobaan bleu de methylene untuk mengetahui perilaku tanah liat yang terkandung dalam material, percobaan Proctor, California

Bearing Ratio (CBR) dan lain-lain. Leaching test diperlukan untuk menentukan properti kimia dan kadar polusi dalam material.

- b. Tahap ketiga dari percobaan ini dimulai dengan melakukan identifikasi dari binder (bahan pengikat) yang akan digunakan dalam penelitian ini (semen, kapur ataupun binder pozzolonic). Hal ini diperlukan untuk mengetahui kelas atau kinerja dari binder yang digunakan, dan agar nantinya dapat dibandingkan dengan hasil percobaan setelah binder tersebut dicampur dengan sedimen hasil pekerjaan pengerukan.
5. Penentuan formulasi dari campuran.

Setelah mengidentifikasi kinerja binder kemudian tahap berikutnya direalisasikan dengan mencampur sedimen dengan binder (bahan pengikat) campuran (binder) yang umum digunakan dalam pekerjaan bangunan, seperti semen dan kapur. Binder ini diharapkan dapat mengurangi kadar polusi dari material/ sedimen yang digunakan. Tahap ketiga ini direalisasikan dengan tujuan untuk mengetahui perilaku material/ sedimen terhadap kehadiran binder dalam campuran. Percobaan-percobaan mekanik untuk mengukur ketahanan sebuah material yang akan digunakan dalam pekerjaan bangunan akan direalisasikan. seperti percobaan daya tekan, daya geser, percobaan permeability.

HASIL DAN ANALISA

A. Material

Sedimen yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari dua lokasi yang berbeda di pelabuhan Belawan yaitu :

- a) Kolam Citra Pelabuhan (L1)
- b) Depot perbaikan Kapal (L2)

Setiap lokasi pengambilan sampel diwakili oleh 4 sampel, menurut peneliti, jumlah tersebut dapat mewakili kondisi dari setiap lokasi.

B. Distribusi ukuran partikel

Ukuran sedimen hasil pekerjaan pengerukan ini mayoritas sangat kecil ($<200\mu\text{m}$), sehingga peneliti melakukan pengukuran distribusi granulometri dengan menggunakan alat pengukuran granulometri laser, metode manual tidak akan memberikan hasil yang diharapkan. Pengukuran granulometri laser (Tabel 1) diambil dari 2 lokasi yang berbeda (L1 dan L2) dimana masing-masing diwakili oleh 4 sampel yang diperoleh dari 2 titik yang berbeda pada setiap lokasi. Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa sedimen hasil bahan pengerukan dari pelabuhan Belawan ini terdiri dari 90% dari butir sedimen ini berukuran antara $66-78\mu\text{m}$. Hasil ini memperlihatkan bahwa ukuran dari sedimen ini dapat dikategorikan sangat kecil. Selain itu, dengan memperhatikan Tabel 1 maka dapat kita simpulkan bahwa ukuran dari sedimen yang diambil dari 2 lokasi (L1 dan L2) berbeda tergolong dalam kelas yang sama ($66-78\mu\text{m}$) terlihat tidak terdapat perbedaan yang mencolok antara sampel yang diperoleh, dengan demikian dapat kita simpulkan bahwa sedimen ini tergolong homogen.

TABEL 1 Distribusi granulometri sedimen hasil pekerjaan pengerukan

	P.B.L1(a)	P.B-L1(b)	P.B-L2(a)	P.B-L2(b)
D10 (μm)	2	1.92	1.5	2.2
D50 (μm)	12	11.1	10.6	12.5
D90 (μm)	78.4	66.7	72	75.6
(<2 μm) (%)	10.7	10.6	13.8	9
(2 à 63 μm) (%)	77.2	78.8	74.8	78.8
(> 63 μm) (%)	12.6	10.6	11.5	12.2

C. Indeks plastisitas tanah

Percobaan ini bertujuan mengetahui kadar Indeks Plastisitas dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan ini. Hasil percobaan Limite d'Atterberg memperlihatkan bahwa indeks Plastisitas dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan adalah 24 % dengan batas liquid 47%. Percobaan ini menyimpulkan bahwa sedimen belabuhan Belawan termasuk dalam golongan tanah liat dengan Plastisitas rendah. Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka tanah liat dengan nilai plastisitas rendah sebaiknya distabilisasi dengan persentase kapur yang tidak terlalu tinggi. Karakteristik mekanik sedimen dan campuran

D. California Bearing Capacity (CBR)

Percobaan ini dilaksanakan untuk mengetahui nilai IPI dari campuran pada kadar air optimal. Percobaan ini lazim digunakan untuk menentukan karakteristik material dalam penggunaannya dalam pekerjaan pembangunan jalan. Pada tabel 2 hasil percobaan California Bearing Ratio (CBR) memperlihatkan bahwa nilai IPI meningkat sesuai dengan bertambahnya persentase binder yang digunakan. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa nilai IPI yang tertinggi adalah sampel (B) dengan persentase binder 5% semen dan 10% kapur untuk lokasi pengambilan sampel L2, Namun untuk sampel dengan persentase yang sama dengan lokasi yang berbeda (L1). Sampel dengan lokasi pengambilan L1, apabila kita perhatikan antara sampel C (5% semen dan 5% kapur) sampel dan D (5% semen dan 10% kapur), hasil percobaan memperlihatkan bahwa dengan penambahan persentase kapur sebanyak 5% tidak memperlihatkan peningkatan nilai IPI yang signifikan sesuai dengan persentase penambahan kapur.

TABEL 2. Hasil percobaan CBR

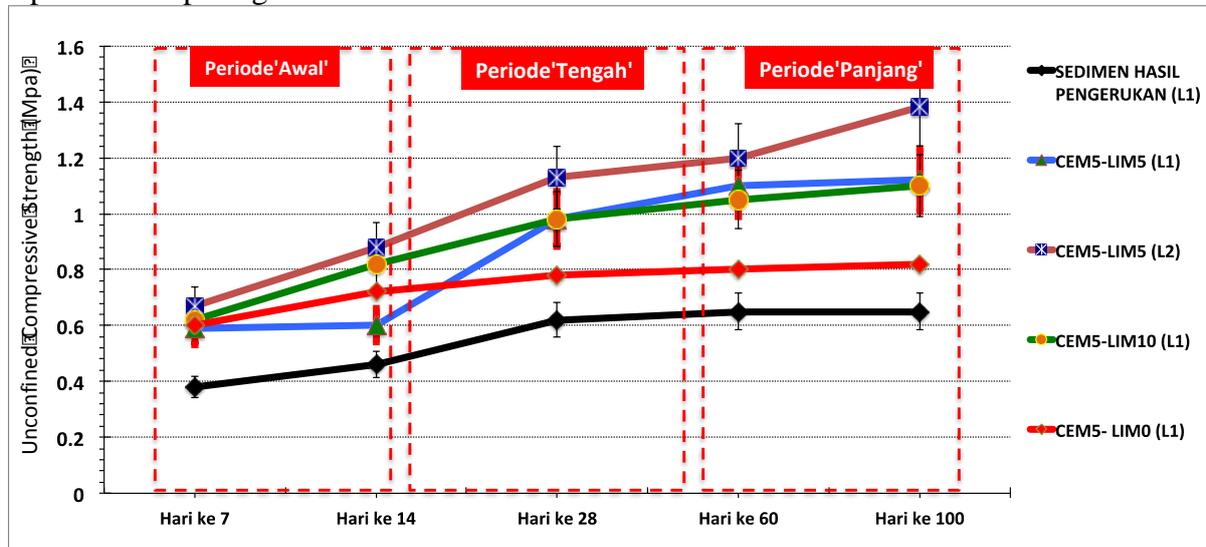
Nama	Kadar Air (%)	IPI (%)
SEDIMEN ORIGIN	2	1.92
CEM5-LIM5 (L2)	12	11.1
CEM5-LIM10 (L2)	78.4	66.7
CEM5-LIM0 (L1)	10.7	10.6
CEM5-LIM5 (L1)	77.2	78.8
CEM-LIM 10 (L1)	12.6	10.6

Hal ini disebabkan oleh kadar polusi yang terdapat pada sedimen sehingga mengganggu proses reaksi kapur. Penelitian sebelumnya menemukan bahwa penambahan binder kapur sangat membantu dalam menaikkan nilai pH sampel menjadi sangat tinggi (pH=12) dan hal ini memberikan dampak positif untuk kinerja binder lainnya. Pengaruh binder kapur akan terus memberikan ketahanan ekstra selama pH sampel diatas 12, tingginya nilai pH ini mengakibatkan disolusi dari ion Kalsium, sedimen mengeluarkan aluminium dan silica yang nantinya akan bereaksi terhadap ion Kalsium sehingga membentuk C-S-H dan C-A-H. Kedua elemen ini yang mempunyai andil besar dalam memberikan ketahanan dan menjadi solidanya sebuah sampel, akibat kekuatan ikatan mereka merekat unsur-unsur lainnya. Teori ini tidak sesuai dengan hasil yang didapatkan dalam percobaan ini, seperti kita sebutkan sebelumnya, penambahan persentase kapur tidak memperlihatkan perbedaan peningkatan nilai CBR yang signifikan, Hal ini disebabkan oleh hadirnya elemen polusi yang sangat mengganggu dalam memperoleh kekuatan dalam waktu yang dekat.

E. Percobaan Daya Tekan

Percobaan daya tekan ini (UCS) direalisasikan untuk mengidentifikasi peningkatan performa mekanik dari sampel, dan juga untuk mengidentifikasi efek yang diberikan oleh binder yang

digunakan dalam performa mekanik. Hasil dari percobaan daya tekan (UCS) ini diperlihatkan pada gambar. Hasil percobaan ini khusus direalisasikan untuk mengidentifikasi dampak persentase semen yang ditambahkan kedalam campuran. Pada hasil percobaan UCS ini sampel yang digunakan hanya sampel yang diambil pada lokasi depot perbaikan kapal (L1), untuk mempermudah pengidentifikasian dampak penambahan semen dalam campuran, penggolongan peningkatan nilai daya tekan dikategorikan dalam 3 periode yang akan diperlihatkan pada gambar.



Gambar 1. Hasil Percobaan Daya Tekan

(a) Dampak kapur terhadap performa mekanik.

Penambahan kapur dalam campuran direalisasikan dengan pertimbangan bahwa penggunaan kapur telah terbukti selama ini dapat meningkatkan performa dari sampel yang digunakan. Hasil Percobaan Unconfined Compressive Strength diperlihatkan di gambar 1, dimana 5 sampel dengan formulasi binder yang berbeda L1.

Persentase jumlah kapur didalam campuran dimulai dari 0% (CEM5-LIM0), 5% (CEM5-LIM5) dan 10% (CEM5-LIM 10). Berdasarkan pengalaman peneliti dalam pekerjaan stabilisasi tanah, persentase kapur pada campuran diatas 10% tidak direkomendasikan, dikhawatirkan dengan persentase kapur yang terlalu tinggi dapat memprovokasi pembengkakan akibat reaksi yang ditimbulkan oleh kapur. Untuk mempermudah analisa, hasil percobaan daya tekan ini (UCS) ini dikategorikan dalam 3 periode. Pada Periode curing age awal (a) nilai daya tekan (UCS) antara binder dengan persentase kapur 0%, 5% dan 10% tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Sampel dengan persentase semen 5% dan kapur 5% dan dari lokasi L2 memperlihatkan nilai daya tekan yang tertinggi (0,68 MPa) disbanding sampel dari lokasi. Hal ini disebabkan oleh reaksi kapur dalam memberi peningkatan performa mekanik tergolong lambat. Reaksi kapur umumnya memerlukan waktu sekitar 60 hari (tergantung kadar reaktif dari kapur itu sendiri) untuk dapat memberikan hasil yang maksimal. Reaksi kapur memprovokasi peningkatan pH sampel sehingga dengan waktu berjalan ion Kalsium dari matriks sedimen akan membentuk C-S-H dan C-A-H, yang mempunyai peranan utama dalam peningkatan performa dari sampel. Hal ini menjelaskan mengapa tidak terlihat perbedaan yang signifikan pada nilai daya tekan dari beberapa sampel (dengan formulasi yang berbeda). Pada periode curing age awal (7 hari) reaksi kapur dalam menaikkan pH diperkirakan hanya membantu mengendapkan air yang terdapat dalam sampel sehingga sampel lebih cepat mencapai tingkat solid, sehingga memperoleh performa mekanik. Periode curing age menengah (14-28 hari) perbedaan nilai daya tekan semakin terlihat jelas, dimana sampel dengan persentase kapur sebesar 10%

memperlihatkan peningkatan nilai UCS. Sampel dengan 5% kapur dan 5% semen (CEM5-LIM5) dengan sedimen berasal dari L1 tetap memperlihatkan nilai daya tekan terbesar, pada periode curing age menengah ini terutama pada hari ke 28, hanya sampel dengan sedimen L2 ini yang melewati kekuatan daya tekan sebesar 1 MPa. Nilai daya tekan 1MPa merupakan batas yang diperlukan dalam penggunaan pembangunan jalan. Sampel sedimen dari lokasi L1 memperlihatkan kekuatan daya tekan yang hampir mendekati 1 MPa. Perbandingan antara sampel dengan sedimen L1 dan L2 memperlihatkan perbedaan yang penting, walaupun dengan formulasi yang sama (5% semen dan 5% kapur). Hal ini disebabkan oleh tingginya tingkat polusi dari sampel dengan sedimen yang berasal dari lokasi alur kolam citra (L1). Berdasarkan pengalaman peneliti, elemen polusi apabila mencapai jumlah tinggi akan mengganggu reaksi dari binder yang digunakan, baik itu reaksi semen ataupun reaksi kapur. Tingginya elemen penyebab polusi ini dapat memperlambat proses pembentukan clinker (pada reaksi hidratisasi semen) dan menghambat kenaikan pH (pada reaksi kapur) sehingga hal ini menyebabkan terhambatnya sampel dalam mencapai performa mekanik yang maksimal. Hal ini dapat disimak dari tabel 1 dimana terlihat dari hasil Toxicity Characteristic Leaching procedure (TCLP) ditemukan bahwa sedimen berasal dari lokasi L1 jauh lebih terpolusi dari sedimen L2. Terutama Cadmium (Cd) dan Cooper (Cu). Faktor ini yang menyebabkan terhambatnya reaksi binder (semen dan kapur) sehingga sampel dengan sedimen dari lokasi L1 (CEM5-LIM5-L1) menghasilkan nilai daya tekan (UCS) lebih kecil dari sedimen dari lokasi L2 (CEM5-LIM5-L2). Period curing age jangka panjang (60-100 hari) hasil percobaan memiliki pola yang sama dengan Period curing age menengah, sampel dari Lokasi L2 (CEM5-LIM5-L2) masih menunjukkan hasil percobaan daya tekan yang terbaik, diikuti oleh (CEM5-LIM5-L1) dan (CEM5-LIM10-L1). Sampel dari lokasi L2 (CEM5-LIM5-L2) menunjukkan peningkatan yang tinggi dari kekuatan terhadap daya tekan, hal ini disebabkan oleh reaksi dari hidratisasi dari kapur dalam menaikkan pH dan hidratisasi dari ion Kalsium dan ion Aluminium lalu membentuk gel C-S-H dan C-A-H. Sampel dengan formulasi yang sama dengan sedimen dari L1 (CEM5-LIM5-L1) tidak memperlihatkan peningkatan daya tahan terhadap daya tekan sebaik sampel dari L2. Peningkatan nilai daya tekan pada hari ke 60 dan 90 disebabkan oleh reaksi hidratisasi kapur, hal ini dapat dibuktikan dengan memperhatikan gambar 7 dimana evolusi daya tekan sampel tanpa ada campuran kapur (0%) didalamnya (CEM5-LIM0), sampel ini hampir tidak memperlihatkan peningkatan nilai daya tekan setelah hari ke 28. Absennya kehadiran kapur dalam sedimen ini yang membuat tidak ada peningkatan daya tekan (UCS) karena setelah 28 hari, menurut teori, reaksi semen (hidratisasi clinker) hampir selesai setelah 28 hari. Hal ini dapat diverifikasi apabila kita perhatikan bahwa evolusi nilai daya tekan sampel ini (CEM5-LIM0) pada periode curing age dari 28 hari sampai 100 hari hampir sama dengan sampel origin (tanpa binder).

F. Karakteristik Kimia

Percobaan kimia ini direalisasikan dengan metode Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP). Tujuan utama dari percobaan ini adalah untuk mengetahui kadar polusi dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan. Percobaan dilakukan terhadap 6 sampel berbeda, 2 sampel mewakili lokasi pengambilan, 2 sampel terpisah dilakukan pada sedimen yang telah dikeringkan terlebih dahulu dibawah sinar matahari selama 4x 24 jam. Waktu yang diperlukan dari mulai persiapan sampel hingga hasil untuk menyelesaikan percobaan TCLP ini adalah 7 hari. Hasil dari percobaan TCLP ini dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini. Hasil percobaan direalisasikan pada sedimen hasil pekerjaan pengerukan pada 2 lokasi yang berbeda (L1 dan L2) dengan 2 sampel untuk mendapatkan variasi mewakili setiap sedimen dilokasi pengambilan.

Dari hasil percobaan TCLP dapat kita perhatikan bahwa sedimen berasal dari Alur kolam pelabuhan (L1) menunjukkan hasil yang tinggi dibanding sedimen yang diambil pada depot

perbaikan kapal (L2). Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan industri pelabuhan di daerah alur kolam lebih berpotensi dalam memproduksi sedimen berpolusi dibanding kegiatan perbaikan kapal. Melalui hasil percobaan TCLP ini juga dapat kita simpulkan bahwa sedimen hasil pekerjaan pengerukan dari Pelabuhan Belawan dapat dikategorikan sedimen dengan tingkat polusi yang cukup penting. Cadmium (Cd) dan Tembaga (Cu) merupakan elemen yang terlihat menunjukkan kwantitas cukup tinggi dalam sedimen Pelabuhan Belawan. Selain Cd dan Cu, kita dapat memperhatikan juga nilai Zinc (Zn) yang diatas rata-rata nilai rata-rata. Elemen-elemen tersebut apabila mencapai kadar yang tinggi dapat menimbulkan bahaya bahaya (lihat resiko kematian) apabila bersentuhan dengan manusia. Pemerintah Perancis mengeluarkan peraturan menyangkut ambang batas polusi dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan. Ambang batas dari polusi tersebut dapat diperhatikan di Tabel 4. Pada tabel diatas ini terlihat ambang batas dari elemen polusi yang dapat kita kategorikan dalam 3 golongan. Peneliti menggunakan ambang batas ini hanya untuk referensi dikarenakan belum adanya peraturan mengenai ambang batas polusi mengenai sedimen hasil pekerjaan pemerintah di Indonesia. Berdasarkan Ambang batas yang digunakan di Perancis, dapat kita simak bahwa dengan kandungan mereka yang tinggi dalam sampel maka elemen kandungan Cadmium dan Tembaga tergolong dalam kategori limbah berbahaya, dan elemen Zinc termasuk dalam kategori golongan limbah tidak berbahaya. Hal ini tentunya dapat memberikan referensi kepada pemerintah daerah atau instansi terkait agar tidak membuang sedimen hasil pekerjaan pengerukan ke tengah laut, (yang masih dilakukan sampai sekarang) Karena hal tersebut dapat mengakitbatkan penyebaran sedimen terpolusi dari pelabuhan Belawan ke daerah-daerah sekitarnya. Berdasarkan hasil TCLP ini diharapkan kegiatan pembuangan sedimen ke tengah laut dihentikan.

KESIMPULAN

Penelitian ini direalisasikan untuk menemukan bidang aplikasi untuk reutulisasi sedimen hasil pekerjaan pengerukan. Untuk memenuhi tujuan tersebut tentunya limbah harus memenuhi persyaratan dalam pembangunan jalan, hal ini ditentukan dengan merealisasikan berbagai percobaan sesuai persyaratan pembangunan jalan. Karakteristik mekanik dari sedimen origin berdasarkan penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa sedimen terkait termasuk dalam kategori tanah liat dengan plastisitas rendah, dengan ukuran mayoritas sekitar 66-78 μm . Percobaan Proctor dan CBR menunjukkan bahwa sedimen tersebut dengan campuran binder seperti semen dan kapur dengan persentase kapur 10% menunjukkan hasil IPI yang tertinggi. Efek dari binder semen maupun kapur dapat diidentifikasi melalui percobaan daya tekan (unconfined compressive strength). Melalui percobaan ini diketahui bahwa penambahan kwantiti semen mempengaruhi performa mekanik pada periode curing age jangka pendek (7-14 hari) dan penambahan kwantiti persentase kapur mempengaruhi performa mekanik pada periode curing age jangka panjang (60-100 hari). Pengaruh kadar limbah pada sedimen juga diteliti melalui percobaan ini, dimana sedimen L1 (dengan kadar polusi lebih tinggi) memperlihatkan performa mekanik lebih rendah dibanding L1. Komposisi binder yang menghasilkan performa mekanik terbaik adalah komposisi dengan 5% semen dan 5% kapur. Sampel dengan komposisi diatas tersebut dapat digunakan dalam pekerjaan pembangunan jalan dimana persyaratan nilai daya tekan diatas 1 MPa dapat dipenuhi oleh sampel. Karakteristik kimia melalui percobaan TCLP, hasil yang diperoleh menunjukkan sedimen mengandung elemen Cu dan Cd yang cukup tinggi, dan apabila diperbandingkan dengan referensi batas polusi sedimen yang digunakan di Eropah, Sedimen tersebut termasuk dalam kategori limbah berbahaya, dan akan sangat berbahaya untuk kehidupan manusia disekitar pembuangan sedimen limbah pekerjaan pengerukan ini.

Untuk menentukan apakah kadar polusi limbah tersebut berbahaya atau tidak bagi manusia dan lingkungan sekitar diperlukan referensi ambang batas sebagai acuan. Indonesia belum

memiliki referensi tersebut, sehingga disarankan agar pemerintah untuk menentukan referensi ambang batas polusi bagi sedimen hasil pekerjaan pengerukan pelabuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Colin D (2004) *Valorisation des sédiments fins de dragage en technique routière* Tesis Doktor, l'Université de Caen, 323 halaman [2] Situmorang, M., Sinaga, M., Tarigan, D.A., Sitorus, C.J, dan Tobing, A.M.L., (2011), *The Affectivity of Innovated Chemistry Learning*
- Javad BEHMANESH *Etude de la durabilité d'un sédiment, traité au ciment et additifs*. Tesis Doktor, l'Université de Caen. 214 halaman (2008)
- Mezazigh S., Silitonga E., Lei X., Bai X., *Etude de la durabilité des sédiments de dragage du port d'Honfleur traités au ciment et additifs, proceeding of XIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Cherbourg, 12-14 juin 2012, pp 1075-1084* (2012)
- Silitonga E., *Proses stabilisasi limbah pelabuhan terkontaminasi logam berat dengan menggunakan agen pengikat hdirolik, Proceeding Seminar Nasional Gempa Sumatera Utara: Resiko dan Antisipasinya, p 140-147* (2017)*¹
- Silitonga E., *Proses stabilisasi sedimen pelabuhan terkontaminasi logam berat dalam penggunaannya pada pekerjaan pembangunan jalan raya.dengan menggunakan agen pengikat hdirok, Proceeding Seminar Nasional Energi dan Teknologi (SINERGI) 9 Mei 2017, p 537-544* (2017)*²
- Silitonga, E., *Stabilization / solidification of polluted marine dredged sediment of port en Bessin France, using hydraulic binders and silica fume, IOP Conference series; Material Science and Engineering, Vol 237, 6p, (2017)*³*
- Silitonga, E., *Stabilisasi dan identifikasi sedimen hasil pekerjaan pengerukan, Educational Building, vol. 2 no. 2, (2016)*¹*
- Silitonga E., *Pengaruh kontaminasi logam berat pada sedimen hasil pekerjaan pengerukan sebagai material baru dalam pekerjaan pembangunnn jalan.Proceeding Seminar Nasional Teknik Sipil XII, pp 468-477, (2016)*²*
- Silitonga E., *Pengaruh penambahan Silica Fume pada karakteristik geoteknik dan kimia dari limbah pelabuhan dalam penggunaannya pada pekerjaan pembangunan jalan, Educational Building, vol. 3, no. 1 (2017)*⁴*
- Silitonga E., Levacher D., Mezazigh S, *Utilization of fly ash for stabilization of marine dredged sediments, European Journal of Environmental and Civil Engineering, vol. 14, issue 2., pp 253-265* (2010)*¹
- Silitonga E., *Valorisation des sédiments Marins contaminés par solidification/ stabilisation à base de liants hydrauliques et de fumée de silice. Thesis doctorat Université de Caen, France, 160p, (2010)*²*
- Silitonga E., *Reutilisasi sedimen hasil pekerjaan pengerukan sebagai material baru dalam pekerjaan pembangunan jalan, Educational Building, vol. 2, no. 1 (2016) *¹*
- Silitonga E., Siregar S., Sebayang N., Taufik R., *Reutilisasi sedimen hasil pekerjaan pengerukan sebagai material baru dalam pekerjaan pembangunan jalan, Proceeding seminar nasional HAKI; Indonesia siaga gempa, pp 125-132, (2014)*
- Silitonga E., Sebayang N., Siregar S., Taufik R., *Reutilisasi sedimen hasil pekerjaan pengerukan sebagai material baru dalam pekerjaan pembangunan jalan, Proceeding Seminar Nasional dan Pameran Konstruksi Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia Komda Sumut 2015, 5-6 Jun 2015, Medan, pp 1216-23, (2015)*

- Silitonga E., Mezazigh S., Levacher D., *Etude de la durabilité de sédiments marins traités avec différents types de fumée de silice, proceeding of XIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Les Sables d’Olonne, 22-25 juin 2010, p 895-907 (2010)*³*
- Silitonga E., *Stabilisasi limbah terkontaminasi logam berat pada pekerjaan pengerukan pelabuhan dengan menggunakan Silica Fume, Proceeding Seminar Nasional Seminar Nasional Sains, Rekayasa & Teknologi (SNSRT) 2017, 17-18 May 2017, pp 1216-23, (2017)*⁵*
- Silitonga E., Mezazigh S., Levacher D., *Characterization of mechanical properties of dredged marine sediment stabilized by fly ash, Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, edition 1, Hamamet, Tunisie, pp 155-158 (2008)*
- Silitonga E., Levacher D., Mezazigh S., *Effects of the use of fly ash as a binder on the mechanical behavior of treated dredged sediments, Environmental Technology (2009)*
- Silitonga E., *Experimental research of stabilization of polluted Marine dredged sediments by using Silica Fume, Matec Web Conf. Volume 138, Sustainable Construction Material, 10 p (2017)*⁶*
- ZHIBO D., *Caractérisation, stabilisation et solidification de sédiment marin, Tesis Doktor, Université de Caen, 245 halaman (2008)*