

REUTULISASI SEDIMEN HASIL PEKERJAAN Pengerukan SEBAGAI MATERIAL BARU DALAM PEKERJAAN PEMBANGUNAN JALAN

Ernesto Silitonga¹, Syaifatun Siregar², dan Nono Sebayang³

²³¹ Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan, Jl. Willem Iskandar Psr V Medan Estate,

E-mail: ernestosilitonga@yahoo.fr

Diterima 5 Januari 2013, disetujui untuk publikasi 22 Februari 2013

Abstrak. Penelitian ini merupakan tahap awal dalam wacana pengumpulan data limbah pelabuhan terutama sedimen hasil pekerjaan pengerukan. Penelitian direalisasikan dengan tujuan: (1) mengidentifikasi karakteristik fisik dan kimia dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan, (2) Mengetahui kadar polusi yang terkandung dari bahan penelitian, (3) Menganalisa reaksi yang dimunculkan dari bahan penelitian apabila dicampur dengan bahan pengikat umum (semen, kapur), (5) mengidentifikasi karakteristik mekanik dari sampel hasil campuran bahan penelitian dengan bahan pengikat yang umumnya digunakan dalam pekerjaan pembangunan. Sediment yang digunakan dalam penelitian ini adalah sedimen Pelabuhan Belawan, Sumatera Utara. Hasil percobaan TCLP, menunjukkan bahwa tingkat polusi dari sedimen tergantung lokasi dimana sedimen tersebut dikeruk, dimana dari kadar polusi, sedimen Pelabuhan Belawan dapat dikategorikan sebagai limbah berbahaya dengan kadar Copper (Cu) dan Cadmium (Cd) yang cukup tinggi. Penggunaan bahan pengikat (semen dan kapur) dalam campuran, imenunjukkan berbagai ragam peningkatan performa dari sedimen, hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar polusi berpengaruh negatif terhadap peningkatan performa yang dihasilkan.

Kata kunci:

Sedimen hasil pengerukan, kadar polusi, karakteristik mekanik, karakteristik kimia, TCLP

Pendahuluan

Pelabuhan berfungsi untuk tempat berlindungnya kapal, bersandar dan beraktivitas, sehingga proses bongkar muat dan pengangkutan penumpang dapat berlangsung dengan aman dan lancar. Masalah utama yang selalui dijumpai dalam aktivitas pelabuhan adalah masalah pendangkalan yang disebabkan oleh sedimentasi.. Pendangkalan ini dapat mengganggu alur pelayaran. Pekerjaan pengerukan merupakan salah satu pekerjaan yang sangat penting untuk kelangsungan operasi pelabuhan dan kegiatan ini dilakukan secara kontiniu untuk mencegah pendangkalan sehingga masalah ini tidak akan mengganggu berjalannya kegiatan di pelabuhan. Problem pendangkalan pada pelabuhan ini merupakan masalah rutin dalam pelaksanaan aktivitas pelabuhan. Masalah sedimentasi atau pendangkalan ini menimbulkan masalah lingkungan lainnya,

dimana 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.. Tindakan pencegahan penyebaran limbah secara tidak langsung ini telah diterapkan semenjak tahun 1998 di

berbagai Negara maju baik di Benua Eropah maupun Amerika [1 - 2] dimana dalam penerapannya, semua material (sedimen) hasil proses pengerukan langsung di test untuk mendapatkan kadar polusi dan berdasarkan tingkat polusi ini, dapat ditentukan apakah sedimen dapat dibuang kembali ke laut atau harus ditempatkan pada suatu daerah tertentu, dan dilakukan penstabilisasian, sehingga dapat diberdayakan sebagai material baru [3 - 4] Konfensi « Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est» pada tahun 1998 Konfesi 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 Konfensi 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 [5 - 6]. Setelah itu maka para ahli menyatakan 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.

Dalam upaya menemukan pendayagunaan sedimen hasil pekerjaan pengerukan ini para peneliti masih terus berupaya melakukan penelitian-penelitian terkait seperti contoh : Silitonga, berusaha melakukan solusi dengan meneliti sedimen hasil pengerukan pelabuhan Cherbourg-Basse Normandie, Prancis [7]. Penelitian ini disponsori oleh Pelabuhan Cherbourg-Basse Normandie, Prancis. Penelitian ini

direalisasikan dengan menggunakan limbah industri lainnya, yaitu Abu terbang, yang berasal dari Pertambangan Batubara di Lorraine Prancis. Perusahaan pertambangan batubara Lorraine berusaha memberdayakan limbah mereka (abu terbang), 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 [8] 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

Beberapa faktor yang dapat memberi dampak negatif pada sampel dalam memperoleh performa yang diharapkan. Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh

Silitonga. [9] yang bertujuan untuk menstabilisasi sedimen hasil pengerukan di pelabuhan Cherbourg-Basse Normandie, Prancis, dengan menggunakan abu terbang sebagai binder Pengikat. Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa persentase kadar polusi 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 oleh Silitonga [10] bertujuan untuk menemukan pendayagunaan sediment hasil pengerukan dari Pelabuhan Port En Bessin, Prancis dengan pertimbangan lingkungan, aman dan ekonomis. Hasil pengukuran distribusi granulometri dari sediment ini menggunakan alat pengukuran granulometri laser, dikarenakan ukuran dari sedimen ini sangat kecil ($< 200\mu\text{m}$). Pengukuran granulometri laser (foto 5) diambil dari 4 titik yang berbeda disekitar Pelabuhan.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang diadaskan digunakan terdiri langkah-langkah dibawah ini :

1. Identifikasi masalah

Dalam tahap ini, masalah-masalah yang timbul dan terkait mengenai penggunaan ulang sedimen hasil pengerukan akan dibuat hipotesis yang akan ditindak lanjuti oleh penelitian dan ujicoba untuk mengklarifikasi hipotesis tersebut.

2. Pengumpulan data dan sumber pendukung.

Penelitian 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 ini.

3. Pengambilan Sampel

Tahap ketiga dari percobaan ini adalah pengambilan sample (sedimen hasil pekerjaan pengerukan) penempatan titik tempat 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 Belawan dan sungai Deli. Hal ini berguna untuk mendapatkan sample yang

mewakili sedimen terpolusi dari dua daerah yang berbeda.

4. 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. Berbagai jenis sistem 'Dewatering' telah dilaksanakan di berbagai Negara. Pemilihan system 'Dewatering' ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu: kuantitas material/ sediment yang dikeruk setiap tahunnya, dana yang tersedia dan jenis pendayagunaan ulang dari material/ sedimen.

5. Identifikasi karakteristik material dan binder yang akan digunakan.

a. Tahap pertama terdiri dari percobaan ini adalah, mengidentifikasi karakteristik/ propoerti mekanik, mineralogi dan kimia, dari material yang digunakan, dalam hal ini Sedimen hasil pengerukan dari Pelabuhan Belawan. 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 Atteberg, 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.

6. 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, dan tentunya akan dilanjutkan dengan percobaan kimia (leaching test) untuk mengidentifikasi kadar polusi yang ada disetiap campuran yang akan direalisasikan. Setelah percobaan diatas dilakukan, tentunya seluruh hasil percobaan dikumpulkan dan di dianalisa, dan dengan pertimbangan dari segi skonomis maka campuran dengan kadar polusi terkecil akan dipilih menjadi campuran yang memiliki komposisi yang terbaik.

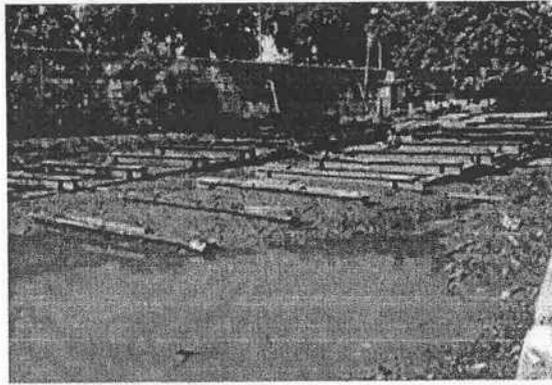
Hasil Dan Pembahasan

1. Pengambilan sampel

Lokasi tempat pengambilan sampel adalah :

- a) Lokasi Alur Kolam Citra Pelabuhan (L1)
- b) Lokasi depot perbaikan kapal (L2)

Kedua tempat pengambilan ini berada di area Pelabuhan Belawan, Sumatera Utara. Gambar 1 memperlihatkan lokasi pengambilan sampel depot perbaikan kapal (L2).



Gambar 1 Lokasi depot perbaikan kapal (L2)



Gambar 2 Alat untuk pengambilan sampel

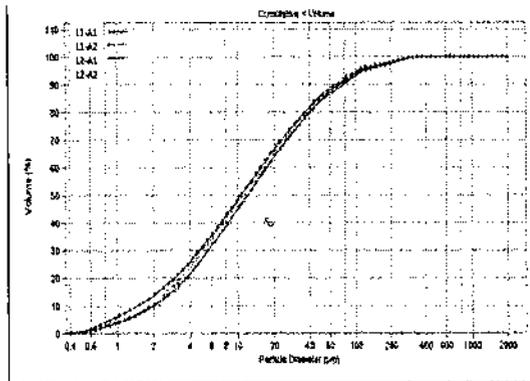
Pemilihan lokasi ini berdasarkan kondisi lokasi yang diharapkan dapat mewakili kondisi yang diperlukan dalam mendapatkan sampel sesuai dengan perkiraan. Namun sangat disayangkan untuk mendapatkan izin dalam mengambil sampel ini tidak mudah, untuk itu peneliti berusaha untuk mendapatkan sampel dari lokasi-lokasi lain disekitar Pelabuhan Belawan yang diperkirakan dapat mewakili kondisi seperti yang dimiliki lokasi Alur Pelayaran dan Lokasi Alur Kolam Citra. Salah satu Lokasi tempat Pengambilan sampel yang direalisasikan adalah : Lokasi tempat penyimpanan atau perbaikan kapal yang berada sekitar 6-8 kilometer dari Terminal Penumpang. Pengambilan sampel direalisasikan dengan menggunakan pompa mesin untuk menghisap sedimen yang berada didasar laut. (gambar 2)

2. Karakteristik origin

a) Distribusi ukuran partikel

Hasil pengukuran distribusi granulometri dari sediment ini menggunakan alat pengukuran granulometri laser, hal ini dikarenakan ukuran dari sedimen ini sangat

kecil ($<200\mu\text{m}$). sehingga pengukuran ukuran material dengan menggunakan metode manual tidak akan memberikan hasil yang diharapkan.

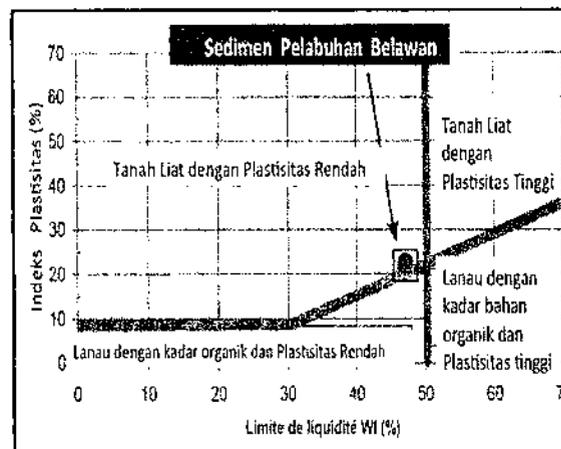


Gambar 3 Distribusi ukuran partikel

Pengukuran granulometri laser (foto 3) diambil dari 2 lokasi yang berbeda (L1 dan L2) dimana masing-masing diwakili oleh 4 sampel yang diperoleh dari 4 titik yang berbeda. 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 gambar 3 maka dapat kita simpulkan bahwa ukuran dari sedimen yang diambil dari 2 lokasi 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 homogeny.

b) Indeks Plastisitas Tanah

Pengukuran Indeks Plastisitas direalisasikan dengan percobaan limite d'Atterberg. Pengukuran dilakukan pada 8 sampel yang berbeda dari 2 Lokasi (L1 dan L2). Hasil rata-rata dari pengukuran ini dapat dilihat dari gambar 4.



Gambar 4 Indeks Plastisitas

Hasil percobaan Limite d'Atterberg memperlihatkan bahwa indeks Plastisitas dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan adalah 24 % dengan batas liquid 47%. Dari tabel ini dapat disimpulkan bahwa sedimen belabuhan Belawan termasuk dalam golongan tanah liat dengan Plastisitas rendah. Berdasarkan hasil percobaan ini, maka peneliti akan lebih berhati-hati akan resiko yang diberikan oleh tanah liat dengan plastisitas rendah. Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka tanah liat dengan nilai plastisitas rendah sebaiknya distabilisasi dengan persentase kapur yang tidak telalu tinggi. Hal ini untuk mengantisipasi fenomena 'membengkaknya' tanah liat apabila dicampur dengan kapur dengan persentase yang tinggi dan apabila menggunakan kapur yang sangat reaktif.

3. Karakteristik mekanik

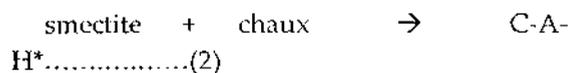
a) Percobaan IPI dan Proctor

Percobaan California Bearing Ration (CBR) direalisasikan untuk mengidentifikasi nilai Indeks Portance Immediate (IPI) dengan kondisi kadar air yang maksimal. Nilai IPI sangat menentukan dalam penggunaan material dalam pekerjaan pembangunan jalan. Pada gambar 5 hasil percobaan California Bearing Ratio (CBR)

menperlihatkan 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% sement dan 10% kapur untuk lokasi pengambilan sampe L2, Namun untuk

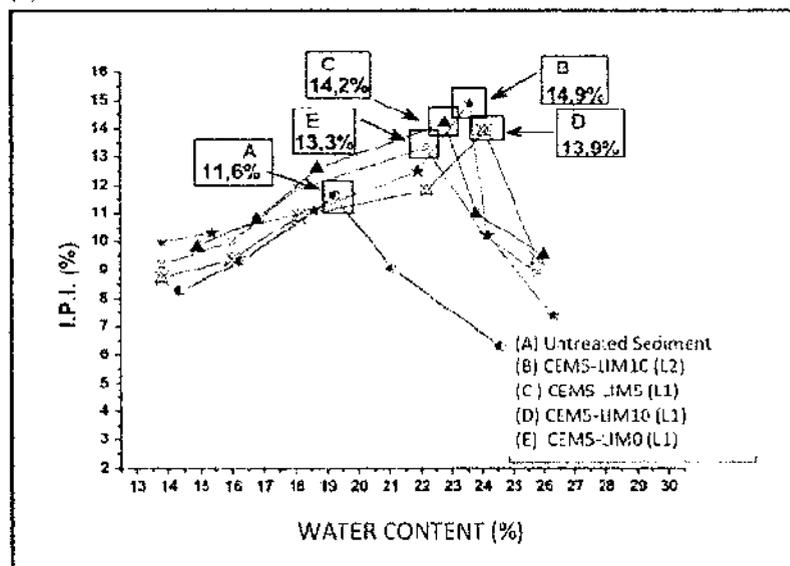
sampel dengan persentase yang sama dengan lokasi yang berbeda (L1). Sampel dengan lokasi pengambilan L1, apabila kita perhatikan antara sampel C (5% semen dan 5% kapur) sampel dan D (5% semen dan 10% kapur), hasil percobaan memperlihatkan bahwa dengan penambahan persentase kapur sebanyak 5% tidak memperlihatkan peningkatan nilai IPI yang signifikan sesuai dengan persentase penambahan kapur. 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



(* C: CaO, S: SiO₂, A: Al₂O₃, H: H₂O)

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 (lihat rumus 1 dan 2). 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.



Gambar 5 Hasil percobaan California CBR

b) Percobaan daya tekan (Unconfined Compressive Strength)

i. Dampak semen terhadap performa mekanik

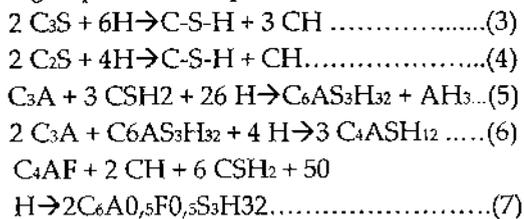
Percobaan daya tekan ini (UCS) direalisasikan untuk mengetahui peningkatan performa mekanik dari sampel, dan juga untuk mengidentifikasi efek yang diberikan oleh binder yang digunakan dalam performa mekanik. Hasil dari percobaan daya tekan

(UCS) ini diperlihatkan pada gambar 6. 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, periode pertama (a) dimana periode memperlihatkan

performa sampel pada *curing age* awal (7 hari), periode kedua (b) untuk *curing age* menengah (14-28 hari) dan periode ketiga (c) untuk mengidentifikasi performa mekanik dengan *curing*

upaya mengidentifikasi pengaruh yang diberikan semen terhadap sampel maka persentase semen dari 0% (CEM0-LIM5), 5% (CEM5-LIM5), 10% (CEM10-LIM5) dan 12% (CEM12-LIM5) direalisasikan dalam percobaan ini. Persentase kapur tetap dipertahankan di 5%, jumlah persentase ini merupakan jumlah persentase kapur yang biasa digunakan dalam pekerjaan pembangunan jalan Sampel. Periode (a) memperlihatkan nilai UCS dimana sampel (Sedimen hasil pengerukan) tanpa ada campuran binder memiliki nilai UCS yang terendah (0.38 MPa), sementara sampel dengan nilai UCS tertinggi diperoleh oleh sampel dengan persentase semen yang tertinggi yaitu 12%.

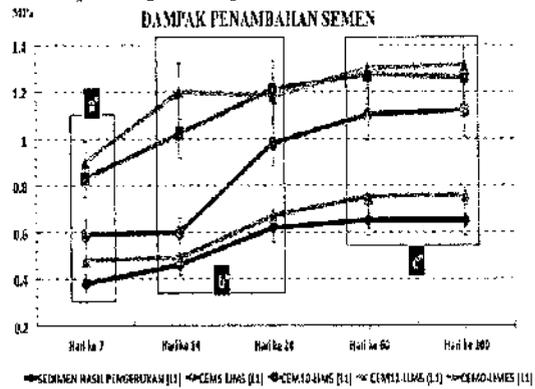
Semen sebagai binder hydraulic telah dibuktikan dapat meningkatkan performa mekanik dalam waktu yang singkat (Yin et Lai 1998) [12]. Reaksi kimia dari semen memakan waktu sangat singkat, sehingga peningkatan performa sampel akan terlihat di jangka pendek /*curing age* awal (7-28 hari). Untuk memperjelas hal tersebut berikut, reaksi semen secara singkat dijabarkan dengan persamaan-persamaan dibawah ini:



C₃S berhidratasi lalu memproduksi C-S-H yang berbentuk gel dan portlandite. Sebagian besar bagian dari hidrasi diproduksi dalam jangka waktu 28 hari akan tetapi reaksi hidrasi dapat selesai sepenuhnya dalam jangka waktu 1 tahun. C₂S berhidratasi dan membentuk gel C-S-H dan Portlandite akan tetapi C₂S menghasilkan jumlah yang jauh lebih sedikit dibanding C₃S. C-S-H dan Portlandite berperan sangat penting dalam

memberikan kekuatan/performa dari sampel. Periode *curing age* menengah 14-28 hari (b) memperlihatkan hasil yang tidak jauh berbeda dari periode sebelumnya (7 hari) dimana sampel sedimen hasil pengerukan tanpa ada campuran binder memiliki nilai UCS yang terendah (0,44 MPa), sementara sampel dengan nilai UCS tertinggi diperoleh oleh sampel dengan persentase semen yang tertinggi yaitu 12% (CEM12-LIM5) dengan nilai UCS 1.2 MPa. Hal ini memperlihatkan bahwa semen berperan penting dalam peningkatan performa.

Periode *curing age* jangka panjang 60-100 hari (c) mulai memperlihatkan hasil yang sedikit berbeda dibanding Periode *curing age* awal atau menengah (a atau b). Perbedaan antara sampel dengan persentase semen 10% (CEM10-LIM5) dan 12% (CEM12-LIM5) hampir tidak terlihat. Dapat kita perhatikan juga bahwa sampel dengan semen dalam campuran memperlihatkan peningkatan performa mekanik dari periode *curing age* awal hingga periode *curing age* jangka panjang, akan tetapi dapat disimak pula bahwa peningkatan performa mekanik dari sampel berkurang drastic setelah sampel mencapai hari ke 60, hal ini disebabkan oleh mayoritas reaksi semen telah selesai dalam memproduksi C-S-H yang berperan penting dalam peningkatan performa mekanik.



Gambar 6 Unconfined Compressive Strength

Sampel dengan sedimen origin (tanpa penambahan binder) tidak memperlihatkan peningkatan performa mekanik sama sekali setelah hari ke 60, peningkatan performa mekanik yang tidak begitu tinggi, dari 0,4

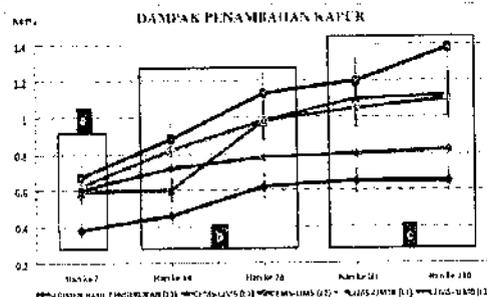
MPa (pada hari ke 7) hingga 0,62 MPa (pada hari ke 100) peningkatan nilai UCS sebesar 0,2MPa ini disebabkan oleh pengeringan sampel dimana air dalam sedimen menguap sesuai dengan waktu dan matriks sampel mulai mengeras sehingga memproduksi peningkatan performa mekanik. Berdasarkan hasil ini pula dapat disimpulkan, dari sisi performa mekanik, sedimen origin hasil pengerukan tidak dapat digunakan langsung tanpa adanya campuran bahan lain, hal ini dikarenakan oleh syarat yang harus dipenuhi minimal sebesar 1 MPa (untuk periode *curing age* 28 hari) tidak terpenuhi.

ii. 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 7 dimana 6 sampel dengan formulasi binder yang berbeda. 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 (telah diterangkan di sub bab sebelumnya). 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) dibanding sampel dari lokasi L1. 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.



Gambar 7 Unconfined Compressive Strength

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 tekas 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

Tabel 1. Hasil percobaan TCLP

Elemen	Kondisi Origin		Kondisi Origin (2)		Setelah Proses Pengeringan	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Nickel, Ni	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cadmium, Cd	3.97	0.9	5.19	0.23	3.02	0.15
Chromium, Cr	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Copper, Cu	2.6	<0.01	3.7	0.2	2,03	0.1
Lead, Pb	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc, Zn	28.8	10.4	37.1	17.2	21.3	9.04
Mercury, Hg	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Arsenic, As***	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Nitrit, NO ₂	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Silver, Ag	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cobalt, Co	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

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 Alumunium 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).

4. KARAKTERISTIK KIMIA

Percobaan kimia ini direalisasikan untuk mengidentifikasi kadar polusi dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan dari pelabuhan Belawan. Percobaan kimia ini dilakukan dengan metode Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP). Percobaan ini dilakukan dengan metode analisis EPA SW 846, jenis metode tergantung atas elemen yang diuji, contohnya untuk Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Barium (Ba), Chromium (Cr), Silver (Ag), Cobalt (Co) digunakan metode EPA SW 846-AAS dan untuk Selenium (Se) EPA SW 7741-AAS. 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 table dibawah ini.

Hasil percobaan direalisasikan pada sedimen hasil pekerjaan pengerukan pada 2 lokasi yang berbeda (L1 dan L2) dengan 3 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 kuantitas 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 2.

Tabel 2. Referensi ambang polusi sedimen hasil pengerukan di Eropah

Elemen	N1 Batas limbah tidak berbahaya	N2 Batas limbah Berbahaya
Nickel (Ni)	37	74
Cadmium (Cd)	1.2	2.4
Chromium (Cr)	90	180
Copper (Cu)	45	90
Lead (Pb)	100	200
Zinc (Zn)	276	552
Mercury (Hg)	0.4	0.8
Arsenic (As)	25	50

Elemen	Limba h Bersih	Limba h Tidak Bersih	Limbah Berbaha -ya
Nickel (Ni)	0,4	10	40

Cadmium (Cd)	0,04	1	5
Chromium (Cr)	2	50	100
Copper (Cu)	0,01	0,2	2
Lead (Pb)	0,5	10	50
Zinc (Zn)	4	50	200
Mercury (Hg)	0,01	0,2	2
Arsenic(As)	0,5	2	25

Pada tabel dibawah 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 mengakitbakan 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 mencari aplikasi reutilisasi sedimen hasil pekerjaan pengerukan sehingga tindakan pembuangan sedimen hasil pekerjaan pengerukan tersebut dapat dihentikan. Hal ini diperkuat oleh percobaan 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. 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 diidentifikasi 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.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih hanya ditujukan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Fundamental 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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*
- [2] Javad BEHMANESH (2008) *Etude de la durabilité d'un sédiment, traité au ciment et additifs*. Tesis Doktor, l'Université de Caen. 214 halaman
- [3] Silitonga E., Levacher D., Mezazigh S., (2009) *Effects of the use of fly ash as a binder on the mechanical behaviour of treated dredged sediments*; Environmental Technology, Volume 3 Published by Taylor and Francis Group.
- [4] Duan ZHIBO (2008) *Caractérisation, stabilisation et solidification de sédiment marin*, Tesis Doktor, Université de Caen, 245 halaman
- [5] Detzner, H. D., A. Netzband, et al. (2004) *Dredged Material Management in Hambur*, Terra et Aqua 96(September): 3-14
- [6] Heise, S., E. Claus, et al. (2005) *Studie zur Schadstoffbelastung der Sedimente im Elbeeinzugsgebiet. Ursachen und Trends*. Hamburg, Hamburg Port Authority: 195
- [7] Silitonga E., Shrivastava A., Levacher D. (2008) *Influence of fly ash addition on the mechanical properties of treated dredged material*. Proceeding of International Symposium on Sédiment Management, Lille, France, 9-11 juillet 2009
- [8] Silitonga E., Mezazigh S., Levacher D. (2008) *Investigating the influence of dredged material stabilized by pozzolanic binders on geotechnical properties*. Proceeding of Xèmes Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Sophia Antipolis, France, 14-18 Octobre 2008.
- [9] Silitonga E., Levacher D., Mezazigh S., (2009) *Effects of the use of fly ash as a binder on the mechanical behaviour of treated dredged sediments*; Environmental Technology, Volume 3 Published by Taylor and Francis Group
- [10] Ernesto SILITONGA *Valorisation des sédiments marins contaminés par solidification/ stabilisation à base de liants hydrauliques et de fumée de silice* » Tesis Doktor, Université de Caen, 267 hal