

ISSN: 2527-3108

FT SEMINAR NASIONAL  
**SINERGI**  
ENERGI & TEKNOLOGI

# PROSIDING

## SEMINAR NASIONAL ENERGI & TEKNOLOGI (SINERGI) 2017

Menegakan Kemandirian Bangsa dengan  
Transformasi Teknologi, Rekayasa Energi  
dan Infrastruktur Berwawasan Lingkungan

Bekasi, 9 Mei 2017



### Hotel Horison Bekasi

Fakultas Teknik UNISMA Bekasi  
Jln. Cut Meutia No. 83 Bekasi 17113 Telp. (021) 8834 4436  
E-mail : [sinergift.unisma@gmail.com](mailto:sinergift.unisma@gmail.com)  
[www.ftunismabekasi.ac.id](http://www.ftunismabekasi.ac.id)  
[www.sinergi.unismabekasi.ac.id](http://www.sinergi.unismabekasi.ac.id)



## Prosiding

# Seminar Nasional Energi dan Teknologi

Menegakkan Kemandirian Bangsa dengan Transformasi Teknologi,  
Rekayasa Energi dan Infrastruktur berwawasan Lingkungan

vi, 550 halaman

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Copyright @ 2017

ISSN: 2527-3108

### Penyunting:

Dr. Ir. Eflita Yohana, M. T.

Dr. Ing. Agus Sofwan, M. Eng.

### Editor:

Elma Yulius., S.T., M.Eng.

Fitiria Suryatini., S.Pd., M.T.

Novi Laura Indrayani., S.Si., M.Eng.

Sri Nuryati., S.T., M.T.

Taufiqur Rokhman., S.T., M.T.

### Diterbitkan oleh:

Fakultas Teknik

Universitas Islam "45 Bekasi

### Alamat Penerbit:

Jl. Cut Meutia 83 Bekasi 17113

Telp. (021) 88344436 - Fax. (021) 88344436

Website: <http://www.ftunismabekasi.ac.id>

[sinergift.unismabekasi@gmail.com](mailto:sinergift.unismabekasi@gmail.com) ; [sinergift.unisma@gmail.com](mailto:sinergift.unisma@gmail.com)



|  |     |
|--|-----|
| Assessment Capability Level Pada Bidang Teknologi Informasi Menggunakan Cobit 5 .....  | 246 |
| Simulasi <i>Finite Element</i> Pengaruh <i>Side Crack</i> Terhadap Karakteristik Getaran Plat Aluminium .....  | 253 |
| Kajian Performansi Pengering Pompa Kalor Untuk Pengeringan Produk Hasil Pertanian .....  | 260 |
| Analisa Sifat Mekanis Pada Sambungan <i>Micro Friction Stir Welding</i> Material Aluminium Aa1100 Dengan Menggunakan Putaran Tinggi .....                                | 270 |
| Pengaruh Inhibitor $\text{Na}_2\text{WO}_4$ Terhadap Laju Korosi Pada Aluminium Paduan 7075 D ilingkungan 3,5% NaCl .....  | 280 |
| Pengaruh Temperatur Larutan <i>Electrolit</i> Dan Jarak Elektroda Terhadap Laju Korosi Pada Hasil Pelapisan <i>Electroplating Hard Chrome</i> .....                      | 288 |
| Sifat Mekanik <i>Micro Friction Stir Welding</i> Pada Plat Aluminium Aa 1100 Dengan Ketebalan 400 $\mu\text{m}$ .....  | 294 |
| Sifat Tarik Komposit Serat Daun Agel Tanpa Perlakuan Kimia Dengan Matrik <i>Polyester</i> Dan <i>Epoxy</i> .....   | 299 |
| Perbaikan Ketahanan Korosi Dan Fatik Korosi Las Mig AA5083 Melalui <i>Inhibitor Molybdate</i> .....  | 309 |
| Rancang Bangun Aplikasi Android Security Status Sebagai Pengendali Prototype Sistem Keamanan Berbasis Arduino UNO R3 .....   | 318 |
| Analisa Pengaruh Layer Pada Kerja <i>Artificial Neural Network</i> Untuk Optimasi Efisiensi Penggunaan Bakar Kendaraan Sistem Injeksi .....                              | 329 |
| Analisis Pengaruh <i>Hydrogen Cracking System</i> (HCS) Terhadap Efisiensi Mesin Genset Type Motor Bensin 2KW .....  | 335 |
| <i>Deposisi Lapisan Tipis DLC</i> (Diamond-Like Carbon) Dengan Teknik <i>CVD</i> (Chemical Vapour Deposition) Pada Permukaan Machinery Steel HQ 805 .....                | 341 |
| Pengaruh Perlakuan Alkali Dan Lama Waktu Perendaman Terhadap Kekuatan Tarik Serat Tunggal Pelepeh Kelapa .....   | 350 |
| Usulan Perbaikan Perencanaan Produksi <i>Stand Assy Main</i> Di PT. Inti Polymetal Dengan Metode MPS <i>Pure Strategy</i> .....  | 356 |
| Investigasi Sifat Mekanik Pada Sambungan Pengelasan Plat Aluminium AA1100 Dengan Ketebalan 200 $\mu\text{m}$ Menggunakan Metode <i>Micro Friction Stir Welding</i> ..... | 366 |
| Studi Eksperimental Pengaruh Kecepatan Aliran, <i>Split-Ratio</i> , Dan Diameter <i>Vortex Finder</i> Pada Unjuk Kerja Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC) .....    | 373 |
| Replikasi Anatomi Jantung Pada Pasien Penderita <i>Ventricle Septum Defect</i> (Vsd) Dengan <i>3D Printing</i> .....   | 384 |
| Pengaruh Letak Kondisi Batas Jepit Terhadap Karakteristik Getaran Pelat Segiempat Menggunakan Simulasi <i>Modal Analysis</i> .....                                       | 391 |
| Analisa Komponen Kritis Pada Desain Subsistem <i>Sliding Automatic Guided Vehicles</i> (Agv) Dengan Pembebanan Statis .....  | 399 |
| Pengendalian Kualitas Dengan Metode <i>Sevntool</i> Dalam Upaya Mengurangi Kecacatan Produk .....  | 407 |
| Pengaruh Variasi Temperatur Annealing Terhadap Proses Drilling Pada Baja S45C .....  | 420 |
| Pengaruh Penambahan Penghalus Butir AL-5TI-1B Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Paduan Al-Cu Cor .....   | 429 |
| Perencanaan Mesin Pengolah Sampah Organik Sebagai Bahan Pupuk Tanaman Berdiameter 3 – 5 mm .....   | 436 |
| Pengaruh DC-LSND Dan TTT Pada Sambungan Las FSW Aluminium Paduan AA5083-H116 .....   | 446 |
| Simulasi Pembebanan Eksentrik Pada <i>Nozzle</i> Bejana Tekan Vertikal Berbasis ASME VIII Divisi 1 Dengan Variasi Ketebalan <i>Reinforcement PAD</i> .....               | 457 |
| Pengaruh Variasi Komposisi Penghalus Butir AL-5TI-1B Terhadap Ketangguhan Paduan Aluminium-Tembaga Cor .....   | 467 |
| Pengaruh Penggunaan <i>LSHX</i> Terhadap Kinerja Mesin Pendingin Dengan Menggunakan <i>Refrigerant HCFC, HFC</i> Dan Hidrokarbon .....                                   | 473 |
| Analisis Pengendalian Kualitas Pada Proses Produksi Baja Tulangan S-25 Dengan Metode Six Sigma Di PT. Krakatau Wajatama .....  | 483 |
| Pengendalian Produk Not Go (Cacat) Dengan Menggunakan <i>Statistical Process Control</i> (SPC) Di Divisi Asemlin PT. XYZ Karawang .....                                  | 491 |
| Analisis Pengembangan Finansial Dan Kebijakannya Terhadap Sistem Pengolahan .....  |     |



5

|   |     |
|---|-----|
| Air Limbah Secara Anaerob Digester Di Tpa Bantar Gebang Bekasi.....   | 500 |
| Monitoring Level Permukaan Air Dengan Modem GSM .....   | 507 |
| Efek Sedimentasi Pada PLTMH Jenis Turbin Open Flume Propeller Dalam Saluran Irigasi .....                                       | 516 |
| Analisis Numerik Prediksi Penurunan Fondasi Tiang Pada Sebuah Gedung Di Atas Tanah Lunak Di Jakarta.....                        | 525 |
| Penambahan Potongan Kain Bekas Untuk Meningkatkan Kuat Tarik Pada Beton.....  | 533 |
| Proses Stabilisasi Sedimen Pelabuhan Terkontaminasi Logam Berat Dalam Penggunaannya Pada Pekerjaan Pembangunan Jalan Raya ..... | 537 |



THE  
*Character Building*  
UNIVERSITY

RS

# PROSES STABILISASI SEDIMEN PELABUHAN TERKONTAMINASI LOGAM BERAT DALAM PENGGUNAANNYA PADA PEKERJAAN PEMBANGUNAN JALAN RAYA

Ernesto Silitonga

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan  
e-mail: ernestosilitonga@unimed.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini direalisasikan dengan tujuan untuk memberikan alternatif reutilisasi dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan pelabuhan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, dimana telah terbukti bahwa pembuangan sedimen hasil pekerjaan pengerukan pelabuhan ke tengah laut seperti yang telah dilakukan selama ini memberikan dampak buruk terhadap lingkungan disekitar laut dan pelabuhan. Berdasarkan hal disebutkan diatas maka sedimen hasil pekerjaan pengerukan pelabuhan harus didaratkan untuk ditempatkan ke lokasi yang telah dipersiapkan sehingga aman terhadap lingkungan sekitar. Limbah yang dihasilkan dari proses pekerjaan pengerukan pelabuhan ini akan terus meningkat setiap tahun. Peningkatan jumlah limbah ini tentunya secara langsung mengakibatkan peningkatan luas lokasi penampungan limbah tersebut. Meningkatnya luas lokasi yang dibutuhkan tentunya mempertinggi biaya yang diperlukan, oleh sebab itu perlu segera ditemukan cara sehingga limbah pekerjaan pengerukan ini dapat digunakan kembali sebagai material baru yang aman bagi manusia dan lingkungan. Penelitian ini ditujukan untuk memberikan alternatif penggunaan dari sedimen (limbah) hasil pekerjaan pengerukan tersebut. Reutilisasi limbah pekerjaan pengerukan ditujukan pada bidang pekerjaan pembangunan jalan. Limbah pelabuhan yang dikategorikan dalam limbah berbahaya tentunya harus melalui proses stabilisasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai material dalam pembangunan jalan. Proses stabilisasi limbah tersebut sehingga nantinya limbah tersebut memenuhi syarat dan tidak berbahaya dan tidak mencemari lingkungan sekitar yang akan dibahas dalam penelitian ini.

**Kata Kunci:** Sedimen hasil pengerukan terpolusi, limbah pelabuhan, manajemen penanggulangan sedimen hasil pengerukan

### Abstract

The primary goal of this study is to provide an alternative reutilization of dredged sediment in Port activities. Based on previous researchs, it is proved that, the disposal of dredged sediments in to the sea affected the environment nearby the port, and can harm humanslive around the port. Based on result mentioned above, after the dredging the dredged sediments should be immediatly placed in to the storage/ disposal waste area are which already properly designer and prepared. As known that the quantity of dredged sediments will be increased every year due to the Port activises which directly generate an increasing of waste disposal area needed. the increase number of area requred certainly raises the cost. Because of this reason, the urgent need to find way, so that the dredged sediments (especially heavy metal pollueid) can be reused as a new material and not harmful for the enviroment and the human. This study is intended to provide an alternative reuse of the dredged sediment, as a material in the field of road construction work. The pollueid dredged material should have go through the process os stabilization/ solidification before being used. The result of stabilization process should be confirmed by several test so that the pollueid dredged sediment will qualify and will not be dangerous to the environemnt and human.

**Keywords:** Polluted dredged sediments, Port material waste, dredged sediment disposal management

## PENDAHULUAN

Pendangkalan ini dapat mengganggu alur pelayaran. Masalah utama yang selalu dijumpai dalam aktivitas pelabuhan adalah masalah pendangkalan yang disebabkan oleh sedimentasi. 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) dan (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 diberdayagunakan sebagai material baru (3) dan (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, India Utara dan Swiss. dimana disepakati bahwa diperlukan tindakan pencegahan untuk pembuangan material hasil pekerjaan pengerukan di tengah laut. Setelah diadakannya Konfesi 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) dan (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 memberdayagunakan 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 mempengaruhi performa yang diharapkan. Penelitian oleh Silitonga (9) bertujuan untuk menemukan pendayagunaan sedimen 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 dikarenakan ukuran dari sedimen ini sangat kecil (< 200µm). Berdasarkan Penelitian yang dilakukan Silitonga (10) 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 akan meningkatkan performa mekanik juga menurunkan kadar polusi pada sedimen.



## METODE

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 negri 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  
Tujuan tahap ke empat ini adalah untuk 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. Identifikasi karakteristik material dan binder yang akan digunakan.  
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 bieu de methylene untuk mengetahui perilaku tanah liat yang terkandung dalam material, percobaan Proctor dan lain-lain. Leaching test diperlukan untuk menentukan properti kimia dan kadar polusi dalam material.
5. Penentuan formulasi dari campuran.  
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 ekonomis maka campuran dengan kadar polusi terkecil akan dipilih menjadi campuran yang memiliki komposisi yang terbaik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Lokasi

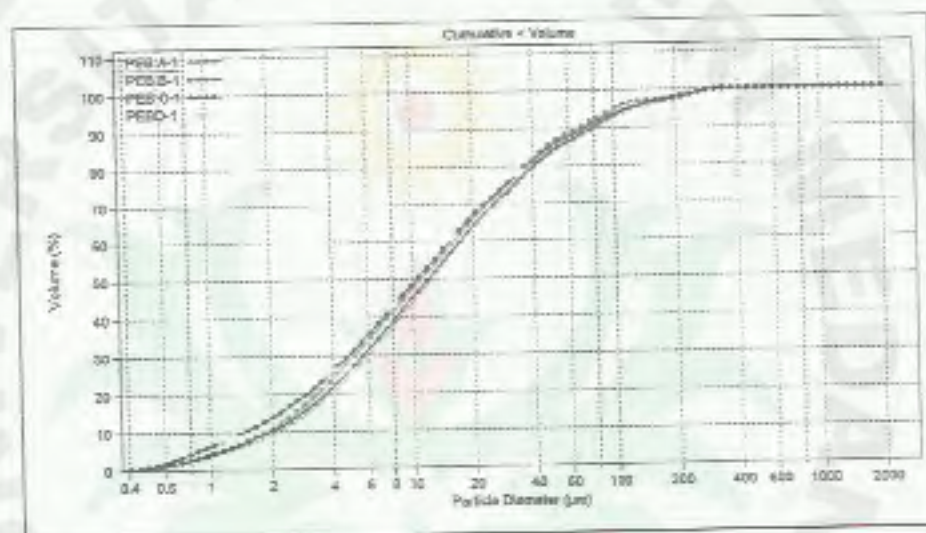
Pemilihan lokasi ini berdasarkan kondisi lokasi yang diharapkan dapat mewakili kondisi yang diperlukan dalam mendapatkan sampel sesuai dengan perkiraan. Lokasi tempat pengambilan sampel adalah : lokasi Alur Kolam Citra Pelabuhan (L1) dan lokasi depot perbaikan kapal (L2). Kedua tempat pengambilan ini berada di area Pelabuhan Belawan, Sumatera Utara. 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.



## Identifikasi Karakteristik Dasar

### a) Distribusi ukuran partikel

Hasil pengukuran distribusi granulometri dari sedimen 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. Pengukuran granulometri laser (gambar 1) 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.



Gambar 1. Distribusi granulometri sedimen hasil pekerjaan pengerukan

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 homogen dan diharapkan dapat mempermudah analisa hasil percobaan yang akan dilakukan.

### 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 percobaan Limite d'Atterberg memperlihatkan bahwa indeks Plastisitas dari sedimen hasil pekerjaan pengerukan adalah 24 % dengan batas liquid 47%. Dari hasil 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 terlalu tinggi. Hal ini untuk mengantisipasi fenomena 'swelling' tanah liat apabila dicampur dengan kapur dengan persentase yang tinggi dan apabila menggunakan kapur yang sangat reaktif. Berdasarkan hasil percobaan ini maka peneliti memilih menggunakan kapur dengan tingkat reaktif sedang.

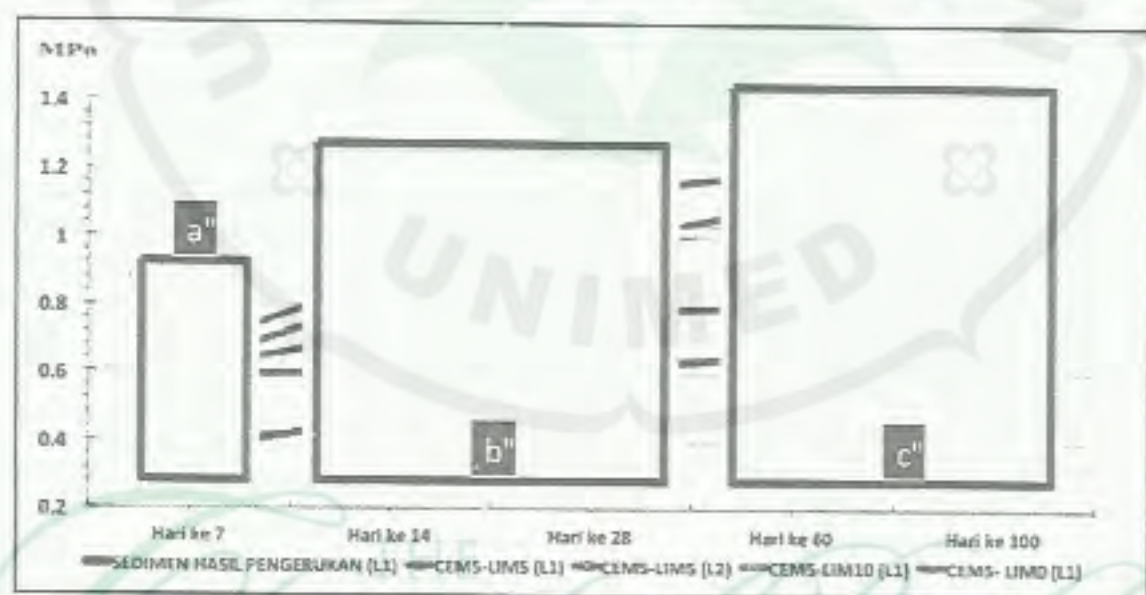
## Identifikasi Karakteristik mekanik

### a) Percobaan daya tekan (Unconfined Compressive Strength)

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 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, peningkatan nilai daya tekan dikategorikan dalam 3 periode (*a*, *b* dan *c*) yang akan diperlihatkan pada gambar. 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 dipertlihatkan di gambar 3 dimana 5 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. 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. 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.



Gambar 2. Hasil Percobaan Unconfined Compressive Strength

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 clincker (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 2



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 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).

#### Identifikasi 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 kolom 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 terpolusi 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 (tipe 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 3.

THE  
Character Building  
UNIVERSITY



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 hydratisasi 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).

#### Identifikasi 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 kolom 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 terpolusi 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 (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 3.

THE  
Character Building  
UNIVERSITY



Tabel 2 Hasil Percobaan TCLP pada sedimen hasil pekerjaan pengerukan Pelabuhan Belawan

| 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 <sub>2</sub> | 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   |

Pada Tabel 3. berikut terlihat ambang batas dari elemen polusi yang dapat kita kategorikan dalam 3 golongan.

Tabel 3. Referensi ambang polusi sedimen hasil pengerukan di Eropa

| Elemen       | N1                           | N2                     |
|--------------|------------------------------|------------------------|
|              | Batas limbah tidak berbahaya | 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                     |

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 mengakibatkan penyebaran sedimen terpolusi dari pelabuhan Belawan ke daerah-daerah sekitarnya. Berdasarkan hasil TCLP ini diharapkan kegiatan pembuangan sedimen ke tengah laut dihentikan.

## PENUTUP

### Simpulan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menemukan solusi dari masalah sedimen hasil pekerjaan pengerukan oleh sebab tersebut maka diperlukan bidang aplikasi dari reutilisasi sedimen hasil pekerjaan pengerukan sehingga tindakan pembuangan sedimen hasil pekerjaan pengerukan tersebut dapat dihentikan. Hal ini diperkuat oleh percobaan kimia melalui percobaan *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*, hasil yang diperoleh menunjukkan sedimen mengandung elemen Cu dan Cd yang cukup tinggi, dan apabila diperbandingkan dengan referensi batas polusi sedimen yang digunakan di Eropa, 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 55-81  $\mu\text{m}$ . Efek dari binder semen maupun kapur dapat diidentifikasi melalui percobaan daya tekan (*unconfined compressive strength*). Melalui percobaan ini diketahui bahwa penambahan



dengan ukuran mayoritas sekitar 55-81  $\mu\text{m}$ . 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 (56-90 hari). Pengaruh kadar limbah pada sedimen juga diidentifikasi melalui percobaan ini, dimana sedimen L1 dimana L1 memiliki 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. Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sedimen hasil pekerjaan pengerukan secara mekanik dapat digunakan kembali akan tetapi tidak aman dan berbahaya untuk manusia dan lingkungan hidup sekitarnya. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menemukan binder (campuran) yang dapat menurunkan kadar polusi dalam sedimen hasil pekerjaan pengerukan sehingga nantinya selain aman secara mekanik juga aman bagi lingkungan sekitarnya.

#### 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.I, dan Tobing, A.M.L., (2011), *The Affectivity of Innovated Chemistry Learning*
- Javad BEHMANESH (2008) *Etude de la durabilité d'un sédiment, traité au ciment et additifs*. Tesis Doktor, l'Université de Caen, 214 halaman
- Silitonga E., Levacher D., Mezazigh S., (2009) *Effects of the use of fly ash as a binder on the mechanical behavior of treated dredged sediments*. Environmental Technology, Volume 3 Published by Taylor and Francis Group.
- Duan ZHIBO (2008) *Caractérisation, stabilisation et solidification de sédiment marin*, Tesis Doktor, Université de Caen, 245 halaman
- Detzner, H. D., A. Netzband, et al. (2004) *Dredged Material Management in Hambur*, Terra et Aqua 96(September): 314
- Heise, S., E. Claus, et al. (2005) *Studie zur Schadstoffbelastung der Sedimente im Elbeinzugsgebiet. Ursachen und Trends*. Hamburg, Hamburg Port Authority: 195
- 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 Sediment Management, Lille, France, 9-11 Juillet 2009
- 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.
- 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
- 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