PEMANFAATAN LIMBAH *SLUDGE* PABRIK KERTAS SEBAGAI BAHAN PENGGANTI PENGGUNAAN SEMEN DALAM UJI MORTAR

SKRIPSI

disajikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan

oleh

Muhammad Fahd Diyar Husni
5101408033

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2013

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian ataupun seluruhnya. Pendapat ataupun temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik.

Semarang, 21 Agustus 2013

Muhammad Fahd Diyar Husni
5101408033

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

PEMANFAATAN LIMBAH *SLUDGE* PABRIK KERTAS SEBAGAI BAHAN PENGGANTI PENGGUNAAN SEMEN DALAM UJI MORTAR

disusun oleh

Muhammad Fahd Diyar Husni

5101408033

telah dipertahankan di hadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada

Hari : Rabu

Tanggal : 21 Agustus 2013

Panitia Ujian,

Ketua	Sekretaris
Drs. Sucipto, MT	Eko Nugroho Julianto, S.Pd, MT
NIP. 19720702 199903 1 002	NIP. 19630101 199102 1 001
Pembimbing I	Pembimbing II
Drs. Henry Apriyatno, MT	Drs. Tugino, MT
NIP. 19590409 198702 1 001	NIP. 19600412 198803 1 001

Penguji Utama

Endah Kanti Pangestuti, ST, MT

NIP. 19720709 199803 2 003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd

NIP. 19660215 199102 1 001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- Dzikir, Fikir, Amal Sholeh
- Khoirunnas anfa'uhum linnas (Sebaik-baik manusia adalah yang bermanfaat bagi sesama manusia)
- *Seize the day or die regretting the time you lost* –Avenged Sevenfold-
- *Gantungkan cita-cita mu setinggi langit! Bermimpilah setinggi langit! Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang-bintang* –Ir. Soekarno-

PERSEMBAHAN

1. Bapak dan Ibu untuk kesabaran yang tiada batas, semoga kedepannya anakmu bisa membuatmu tersenyum bangga.
2. Teman-teman seperjuangan PTB '08, kita akan bertemu lagi di dunia nyata setelah kita menjadi manusia sesungguhnya.
3. Sahabat-sahabat PMII Al-Ghozali, saat bersama kalian adalah hal yang paling berharga. Terima kasih atas idealisme yang kalian ajarkan.
4. Spesial teruntuk adinda (dek khoir) kau telah mengajariku bahwa cerewet itu baik. *Keep on that girl..!*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah segala puja dan puji kehadirat Allah SWT. atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi ini dapat selesai. Sholawat serta salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. dan keluarganya serta para sahabatnya, beliau adalah suri tauladan yang baik bagi manusia sebagai khalifah untuk mengelola bumi dan isinya demi kesejahteraan umat manusia.

Tidak lupa Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan, bimbingan dan dorongan dari semua pihak sehingga skripsi ini bisa terselesaikan. Dalam kesempatan ini, Penulis dengan ketulusan hati mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman M.Hum. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Drs. Sucipto, MT, Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.
4. Eko Nugroho Julianto, S.Pd, MT, Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Negeri Semarang.
5. Drs. Henry Apriyatno, MT, sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan waktu, bimbingan, dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Drs. Tugino, MT, sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan waktu, bimbingan, dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Endah Kanti Pangestuti, ST, MT, sebagai dosen penguji yang telah memberikan saran dan perbaikan dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Sipil atas semua ilmu yang diberikan.
9. Kepala Pimpinan PT. Pura Barutama Kudus dan PT. Pura Nusapersada Kudus atas bantuan limbah kertas dan bimbingannya.
10. Bapak Ibu tercinta atas kesabaran dan doanya yang tak pernah habis.
11. Teman-teman kuliah seperjuangan dan Sahabat-sahabat sepergerakan.

12. Serta semua pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.

Demikian sedikit kata-kata pengantar dari Penulis. Semoga apa yang terdapat di dalam Skripsi ini dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya kepada Masyarakat.

Wallahul Muwafiq Ilaa Aqwamith Thoriq
Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wb.

Semarang, 21 Agustus 2013

Penulis

ABSTRAK

Husni, Muhammad Fahd Diyar. 2013. **"Pemanfaatan Limbah *Sludge* Pabrik Kertas Sebagai Bahan Pengganti Penggunaan Semen Dalam Uji Mortar"**. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Dibimbing oleh Drs. Henry Apriyatno, MT dan Drs. Tugino, MT.

Kata kunci: *sludge*, pengganti semen, uji mortar

Persoalan limbah akan menjadi masalah serius jika tidak segera diatasi. Maka dari itu perlu adanya inovasi untuk menyelesaikan masalah limbah tersebut dengan memanfaatkannya. Dengan adanya pemanfaatan limbah menjadi bahan bangunan maka dapat sedikit membantu permasalahan pengelolaan limbah. Salah satunya adalah memanfaatkan limbah *Sludge* dari pabrik kertas. Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan bahan alternatif untuk menggantikan penggunaan semen dengan uji mortar. Dari uji kandungan kimia *sludge* diketahui bahwa komposisi kimianya mirip dengan semen. Terbukti terdapat juga unsur CaO, SiO_2, SO_3, Al_2O_3, MgO dan Fe_2O_3 dalam *sludge*. Sehingga dapat digunakan sebagai campuran dengan semen.

Spesifikasi sampel mortar yang akan dijadikan penelitian adalah sampel ukuran 5x5x5 cm^3. dengan perbandingan semen : pasir 1 : 5 nilai FAS 0,5. Variabel yang dijadikan penelitian adalah semen:*sludge* dengan variabel kontrol yaitu variabel A (100%:0%) sedangkan variable bebasnya yaitu variabel B (80%:20%), variabel C (60%:40%), variabel D (40%:60%), variabel E (20%:80%), variabel F (0%:100%). Mutu sebuah mortar dapat diketahui melalui pengujian-pengujian yaitu pengujian vicat untuk mengetahui *setting time* dari pasta semen, pengujian penyerapan air untuk mengetahui daya serap, dan pengujian tekan untuk mengetahui kekuatan mortar.

Setelah dilakukan penelitian diperoleh hasil, dari pengujian vicat variabel dengan kandungan *sludge* 0%-60% menunjukkan waktu *setting time* yang masih diijinkan yaitu antara 45-375 menit, akan tetapi *setting time* semakin lambat jika semakin banyak penambahan *sludge*. Hasil pengujian serap air semakin banyak penambahan *sludge* daya serap sampel menjadi besar, variabel yang nilai uji serapnya dibawah 25% adalah sampel dengan kandungan *sludge* 0%-80%. Nilai uji tekan variabel kontrol ialah 36,40 kg/cm^2. Lalu hasil dari pengujian tekan variabel dengan kandungan *sludge* 20% nilai uji tekannya 28,48 kg/cm^2, *sludge* 40% nilai uji tekan 14,33 kg/cm^2, *sludge* 60% nilai uji tekan 11,11 kg/cm^2, *sludge* 80% nilai uji tekan 6,22 kg/cm^2, *sludge* 100% nilai uji tekan 1,39 kg/cm^2.

ABSTRACT

Husni, Muhammad Fahd Diyar. 2013. **"Utilization of Waste Paper Sludge Factory as Cement Replacement Material In Mortar Test"**. Script. Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Semarang State University. Guided By Drs. Henry Apriyatno, MT and Drs. Tugino, MT.

Keywords: sludge, cement replacement, mortar test

The issue of waste would be a serious problem if not addressed immediately. Thus the need for innovation to solve the waste problem by using it. With the utilization of waste into building materials, it can be a little help waste management issues. One is the use of waste sludge from paper mills. This research aims to create an alternative material to replace the use of cement in mortar test. Test the chemical content of the sludge is known that the chemical composition is similar to cement. Proved there is also an element of CaO, SiO_2, SO_3, Al_2O_3, MgO, and Fe_2O_3 in the sludge. So it can be used as a mixture with cement.

Specifications of the mortar sample will be study is 5x5x5 cm^3 sample size. by comparison cement : sand, 1 : 5 FAS value of 0,5. Study variables are used as cement : sludge with variable control namely A (100%:0%), whereas the variable that is independent variable B (80%:20%), variable C (60%:40%), variable D (40%:60%), variable E (20%:80%), variable F (0%:100%). Quality can be known through testing namely vicat test to know setting time of cement paste, water absorption test to find out its absorbency, and compressive strength test to find out the strength of the mortar.

Having done research and results obtained, from testing vicat variables with sludge content of 0% -60% show setting time is still permitted, it between 45-375 minutes, but the slower setting time when more increase in sludge. The absorbance test results, the addition of more sludge into mortar the absorption also increase, variables that absorption test value under 25% are the sample with sludge content of 0% -80%. The compressive strength test value of variable control is 36,40 kg/cm^2. Then the result of the compressive strength test with sludge content of 20% is 28,48 kg/cm^2, sludge content of 40% is 14,33 kg/cm^2, sludge content of 60% is 11,11 kg/cm^2, sludge content of 80% is 6,22 kg/cm^2, sludge content of 100% is 1,39 kg/cm^2.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

PERNYATAAN ii

HALAMAN PENGESAHAN iii

MOTTO DAN PERSEMBAHAN iv

KATA PENGANTAR v

ABSTRAK vii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR GAMBAR xii

DAFTAR LAMPIRAN xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah 1

1.2. Rumusan Masalah 3

1.3. Tujuan Penelitian 3

1.4. Manfaat Penelitian 4

1.5. Batasan Masalah 4

1.6. Sistematika Penulisan 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka 7

2.2. Penelitian Terdahulu 15

2.3. Kerangka Berpikir 18

2.4. Hipotesis 21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian 22

3.2. Bahan 24

3.3. Alat 25

3.4. Prosedur Penelitian 25

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian 34

4.2. Pembahasan 39

BAB V PENUTUP

5.1. Simpulan 49

5.2. Saran 50

DAFTAR PUSTAKA 51

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Senyawa Kimia dalam Semen Portland dengan Sludge 10

Tabel 2. Komposisi Senyawa Kimia Limbah Padat Kertas 12

Tabel 3. Variabel Benda Uji dan Jumlah Benda Uji 25

Tabel 4. Hasil Uji Kandungan Kimia *Sludge* 35

Tabel 5. Perbandingan Hasil Uji Kandungan Kimia *Sludge* dengan Semen ... 36

Tabel 6. Komposisi Semen dengan *Sludge* tiap Variabel 36

Tabel 7. Hasil Uji Vicat Test 37

Tabel 8. Perbandingan Kandungan C_3S, C_2S, C_3A, dan C_4AF dalam Semen dan *Sludge* 47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. *Sludge* dari Industri Pulp dan Kertas 11

Gambar 2. Diagram Kerangka Berpikir Penelitian 20

Gambar 3. Penembakan X-Ray ke Unsur 28

Gambar 4. Alat Vicat Test 29

Gambar 5. CBR Test Machine 32

Gambar 6. Grafik Hasil Uji Vicat 37

Gambar 7. Grafik Presetase Hasil Uji Penyerapan Air dengan Berat Kering Batako 38

Gambar 8. Grafik Hasil Uji Tekan Batako 39

Gambar 9. Grafik Kandungan C3S, C2S, C3A, dan C4AF dalam Semen dan Sludge 47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Kandungan Kimia *Sludge* dengan Alat XRF

Lampiran 2. Uji Vicat

Lampiran 3. Data Hasil Pemeriksaan Gradasi Pasir

Lampiran 4. Uji Penyerapan Batako

Lampiran 5. Uji Kuat Tekan Batako

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Persoalan limbah akan menjadi masalah serius jika tidak segera diatasi. Dalam industri pabrik kertas contohnya, industri kertas banyak menggunakan bahan baku kayu dan kertas bekas, Sedangkan kemampuan untuk mendaur ulang limbah akhir berupa *sludge* masih belum sebanding dengan banyaknya produksi kertas per tahun. (Jupernalis Samosir, 2007). Maka dari itu perlu adanya inovasi untuk menyelesaikan masalah limbah tersebut dengan memanfaatkannya. Pemanfaatan limbah dapat berupa *Reuse* (Penggunaan kembali), *Recycle* (Daur Ulang), ataupun *Recovery* (Penggunaan kembali komponen-komponen kimia). Dengan adanya pemanfaatan limbah menjadi bahan bangunan maka dapat sedikit membantu permasalahan pengelolaan limbah.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kandungan kimia limbah *Sludge* banyak mengandung Aluminium Oksida (AlO), Kalsium Oksida (CaO), Magnesium Oksida (MgO), Sulfur Trioksida (SO_3), Silikon Dioksida (SiO_2) seperti halnya dengan komponen-komponen kimia yang terkandung pada semen (Norman Ray dkk., 2009). Dan berdasarkan penelitian yang dilakukan Kementrian Lingkungan hidup (KLH) dengan Balai Besar Selulosa (BBS) menyatakan bahwa *sludge* kertas bukan kategori limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sehingga

direkomendasikan untuk dimanfaatkan lebih lanjut (Kementrian Lingkungan Hidup, 2007).

Sludge adalah limbah padat akhir dari pengelolaan limbah cair pada industri kertas yang tidak dapat dimanfaatkan lagi dan hanya berakhir pada bak penampungan. Bentuk *sludge* setelah melewati proses penyaringan berbentuk bubur dengan kadar air yang relatif banyak sehingga perlu proses pengeringan. *Sludge* banyak sekali mengandung bahan kimia anorganik sehingga mempunyai kemungkinan besar untuk dimanfaatkan sebagai pengganti semen.

Penggantian semen dengan *sludge* akan diujicobakan dalam pembuatan uji mortar. Pencampuran atau formulasi perbandingan semen dengan *sludge* menggunakan komposisi tertentu, sehingga nanti akan didapat formulasi perbandingan yang masih dapat digunakan sesuai dengan standar mutu. Definisi mortar adalah suatu bahan bangunan dari campuran material-material agregat halus (pasir), bahan perekat (semen Portland) dan air dengan komposisi tertentu (SNI 03-6825-2002).

Uji mortar dirancang dengan komposisi bahan air : semen : pasir, 0,5 : 1 : 5. Dalam uji coba nanti sampel menggunakan dimensi 5 x 5 x 5 cm^3 sesuai dengan standard uji mortar (SNI 15-2049-2004 tentang Semen Portland). Penelitian ini mengambil dua pengujian yaitu pengujian kuat tekan dan penyerapan air. Untuk pengujian kuat tekan dengan menggunakan alat uji tekan CBR *test machine*. Setelah dilakukan pengujian karakteristik

maka diperoleh data yang kemudian diolah sehingga akan didapatkan suatu hasil.

Dari uraian diatas, maka diperlukan penelitian dalam rangka pemanfaatan limbah untuk digunakan kembali sebagai bahan bangunan alternatif pengganti penggunaan semen. Untuk itu saya memilih tema skripsi ini yaitu "PEMANFAATAN LIMBAH *SLUDGE* PABRIK KERTAS SEBAGAI BAHAN PENGGANTI PENGGUNAAN SEMEN DALAM UJI MORTAR”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana komposisi campuran semen dengan *sludge* yang masih diijinkan oleh standar mutu SNI 15-2049-2004 pada pasta semen terhadap waktu ikat?
2. Bagaimana komposisi yang baik semen dengan *sludge* dalam uji mortar terhadap penyerapan air?
3. Bagaimana komposisi yang baik semen dengan *sludge* dalam uji mortar terhadap kuat tekan?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui formulasi perbandingan semen dengan *sludge* pada pasta semen terhadap waktu ikat yang masih diijinkan oleh standar mutu SNI 15-2049-2004.
2. Mengetahui formulasi perbandingan semen dengan *sludge* pada sampel pengujian terhadap penyerapan air.
3. Mengetahui formulasi perbandingan semen dengan *sludge* pada sampel pengujian terhadap kuat tekan.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat:

1. Memberikan informasi tentang formulasi perbandingan semen dengan *sludge* pada pasta semen terhadap waktu ikat yang masih diijinkan oleh standar mutu SNI 15-2049-2004.
2. Memberikan informasi tentang formulasi perbandingan semen dengan *sludge* pada sampel pengujian terhadap penyerapan air.
3. Memberikan informasi tentang formulasi perbandingan semen dengan *sludge* pada sampel pengujian.

1.5. Batasan Masalah

Pembatasan masalah diperlukan agar jawaban-jawaban yang didapatkan sesuai dengan yang diharapkan, sehingga fokus pada masalah yang akan digali. Data yang diharapkan dari penelitian ini adalah waktu ikat, peyerapan air, dan kuat tekan.

Maka dari itu perlu dibatasi permasalahannya sebagai berikut:

a. Pengujian terhadap semen meliputi pengujian visual.
b. Pengujian terhadap agregat meliputi uji gradasi.
c. Pengujian terhadap mortar meliputi uji penyerapan air dan kuat tekan.
d. Pengujian terhadap pasta semen meliputi uji vicat.
e. Pengujian terhadap *sludge* meliputi uji kandungan kimia.
f. Bahan berupa air diperoleh dari air sumur.
g. Bahan berupa pasir diperoleh dari pasir muntilan yang dijual dipasaran.
h. Bahan berupa semen diperoleh dari merk semen gresik yang dijual dipasaran.
i. Bahan berupa *sludge* diperoleh dari PT. Pura Nusapersada Kudus.
j. Benda uji berdimensi 5 x 5 x 5 cm^3, dengan komposisi air : semen : pasir, 0,5 : 1 : 5.
k. Ada 6 (enam) variabel perbandingan antara semen : *sludge*, yaitu: variabel A (100%:0%), variabel B (80%:20%), variabel C (60%:40%), variabel D (40%:60%), variabel E (20%:80%), dan variabel F (0%:100%).
l. Setiap variabel terdapat 3 (tiga) buah benda uji.
m. Umur pengujian benda uji pada umur 14 hari dan 28 hari.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang akan disajikan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang dipilihnya tema skripsi, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori ataupun definisi-definisi yang akan digunakan dalam penelitian ini, dan juga akan memuat hasil evaluasi penelitian-penelitian terdahulu yang berhubungan dengan tema skripsi ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini memberikan gambaran tentang metode atau cara yang akan digunakan dalam penelitian. Mulai dari populasi, sampel, variabel penelitian yang akan digunakan, sampai prosedur penelitian. Kemudian seluruhya disusun secara sistematis, sehingga nantinya hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tentang hasil penelitian dengan disertai pembahasan secara objektif dan mendalam.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapat dan saran-saran dari penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada bagian ini akan digali informasi-informasi mengenai penelitian-penelitian yang telah dilakukan baik berupa teori maupun definisi yang masih berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Sehingga nantinya akan didapat suatu penjelasan secara sistematis mengenai mortar dan bahan-bahan penyusunnya, air, semen, pasir, dan bahan yang akan diujicobakan sebagai campuran semen dalam pembuatan mortar yaitu *sludge.*

2.1.1. Mortar

Mortar sendiri didefinisikan sebagai bahan bangunan yang berasal dari campuran material-material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu baik dikeraskan maupun tidak dikeraskan (SNI 03-6825-2002).

Adapun jenis-jenis mortar adalah :

a. Mortar lumpur (*mud mortar*) yaitu Mortar dengan bahan perekat tanah/ lumpur.
b. Mortar kapur yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
c. Mortar semen yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil hal itu disebabakan karena agregat halus atau pasir yang menahan mortar agar tidak menyusut. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan

gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya. Susunan gradasi yang seragam akan membuat banyaknnya rongga udara dalam mortar sehingga dibutuhkan semen yang lebih banyak daripada gradasi yang tidak seragam. Hal ini berpengaruh pada kepadatan mortar dan daya lekat yang berkurang. Gradasi pasir yang baik (*well gradded sand*) berisi butir-butir pasir yang bervariasi ukurannya, karena dapat mengurangi rongga udara, kebutuhan semen dan air.

Adapun spesifikasi mortar menurut kekuatannya yaitu sebagai berikut:

1. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan 17,2 MPa.
2. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan 12,5 MPa.
3. Mortar tipe N adalah mortar yang mempunyai kekuatan 5,2 MPa.
4. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 MPa.

(SNI 03-6882-2002 tentang Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan)

2.1.1. Bahan Pembuat Mortar

Mortar tersusun dari komposisi antara semen portland, pasir, dan air dengan perbandingan tertentu. Uraiannya sebagai berikut:

2.1.2.1. Faktor Air Semen (FAS)

Secara umum dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS maka akan semakin rendah mutu kekuatan mortar. Namun demikian, nilai FAS yang rendah tidak selamanya berarti bahwa kekuatan mortar semakin tinggi.

Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaannya yaitu dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu mortar justru menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam mortar sangat bergantung pada faktor air semen yang digunakan dan kehalusan butir semennya (Mulyono, 2005)

2.1.2.2. Pasir

Pasir sangat penting dalam pembuatan mortar, tapi apabila kadarnya terlalu besar akan mengakibatkan kerapuhan jika sudah mengering. Ini disebabkan daya rekat antara partikel-partikel berkurang dengan adanya pasir dalam jumlah yang besar, sebab pasir tersebut tidak bersifat merekat akan tetapi hanya sebagai pengisi (*filler*).

Pasir yang baik digunakan untuk pembuatan mortar berasal dari sungai, dan untuk pasir dari laut harus dihindarkan karena dapat mengakibatkan perkaratan dan masih mengandung tanah lempung yang dapat membuat mortar menjadi retak-retak (Mulyono, 2005).

2.1.2.3. Semen

Semen merupakan bubuk kering yang berupa partikel-pertikel halus. Secara kimia, dalam pembuatan mortar, semen akan dicampur dengan air *(hydration)* untuk membentuk pasta. Semen memiliki beberapa tipe yaitu tipe I, II, III, IV dan V. Tipe-tipe semen tersebut diurutkan berdasarkan kekuatan awalnya dalam merekatkan suatu bangunan yang dibentuk. Semen yang digunakan dalam pembuatan mortar adalah semen hidrolik atau sering

disebut juga semen Portland. Semen hidrolik adalah jenis semen yang bereaksi dengan air dan membentuk suatu batuan massa.

Berikut ini merupakan komposisi senyawa kimia yang terkandung dalam semen PT. Semen Gresik:

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Senyawa Kimia dalam Semen Portland dengan *Sludge*

Komposisi Kimia	Kadar dalam Semen(%)[1]	Kadar dalam *Sludge*(%)[2]
SiO_2	20,92	2,35
Al_2O_3	5,49	7,70
Fe_2O_3	3,78	1,68
CaO	65,21	56,38
MgO	0,97	3,62
SO_3	2,22	11,26

[1]*PT. Semen Gresik (Persero) Tbk, 2012*

[2]*Lab. Balai Penelitian dan Konsultasi Industri, 2005*

Fungsi utama semen adalah sebagai perekat. Bahan-bahan semen terdiri dari batu kapur (gamping) yang mengandung senyawa: Calsium Oksida (CaO), lempung atau tanah liat (clay) adalah bahan alam yang mengandung senyawa: Silika Oksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3) dan Magnesium Oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk klinker. Klinker kemudian dihancurkan dan ditambah dengan

gips (gypsum). Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen portland adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silika (SiO_2) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe_2O_3 dan Al_2O_3) sekitar 7%-12% (Suparni Sulistyowati, 2009).

Semen Portland merupakan gabungan dari senyawa Silicate Calcium dan Aluminate Calcium yang akan terhidrasi apabila direaksikan dengan air: 1). $Ca_3Al_2O_6 + 6H_2O \rightarrow Ca_3Al_2(OH)_{12}$ 2). $Ca_2SiO_4 + xH_2O \rightarrow Ca_2SiO_4.xH_2O$ 3). $Ca_3SiO_5 + (x+1)H_2O \rightarrow Ca_2SiO_4.xH_2O + Ca(OH)_2$

2.1.2. *Sludge*

Sludge merupakan limbah buangan padat sisa dari produksi industri baik itu minyak logam, maupun kertas yang biasanya berwarna hijau, abu-abu atau hitam, dengan komposisi sebesar 80% air dan 20% padat yang diperoleh dari proses pengendapan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) .

Gambar 1. *Sludge* dari Industri pulp dan kertas

Limbah padat yang dihasilkan industri kertas berasal dari beberapa unit proses yang umumnya berasal dari proses penyaringan bubur pulp dan proses pengolahan air limbah (IPAL). Setiap unit proses pada produksi pulp

dan kertas menghasilkan limbah cair yang komponen utamanya berupa serat dan senyawa organik maupun anorganik (Syamsudin dkk., 2007).

Berikut ini adalah komposisi kandungan senyawa *sludge* kertas hasil tes yang telah dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Konsultasi Industri (BPKI) sebagai gambaran awal bahwa *Sludge* mempunyai kandungan kimia mirip semen.

Tabel 2. Komposisi Senyawa Kimia Limbah Padat Kertas

Komposisi Kimia	Kadar dalam *Sludge*(%)
Silikon Dioksida (SiO_2)	2,35
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	7,70
Ferri Oksida (Fe_2O_3)	1,68
Kalsium Oksida (CaO)	56,38
Magesium Oksida (MgO)	3,62
Sulfur Trioksida (SO_3)	11,26
Timbal Dioksida (TiO_2)	0,14
Karbon Dioksida (CO_2)	0,75
Air (H_2O)	16,11

Laboratorium Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (BPKI) Surabaya, 2005 (Norman Ray dkk., 2009)

Dari daftar unsur-unsur diatas hanya beberapa unsur yang berfungsi sama dengan semen. Yaitu SiO_2, CaO, Al_2O_3,.dan Fe_2O_3. Unsur yang lain hanya sebagai unsur sampingan.

2.1.3. Vicat Test

Jika kita berbicara tentang semen maka berbicara juga tentang waktu ikat *(Setting Time)* dari semen tersebut setelah direaksikan dengan air. Waktu Ikat adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengikat sampai

mengeras setelah direaksikan dengan air. Waktu ikat semen ada 2 (dua) fase; fase ikat awal dan fase ikat akhir. Fase ikat awal adalah waktu yang dibutuhkan semen setelah direaksikan dengan air kemudian berubah dari kondisi plastis menjadi kondisi tidak plastis. Sedangkan Fase ikat akhir adalah waktu yang dibutuhkan semen setelah direaksikan dengan air untuk merubah dari kondisi plastis menjadi kondisi yang keras.

Kemudian cara menguji waktu ikat semen yaitu menggunakan alat *Vicat Test.* Metodenya yaitu dengan menggunakan jarum lalu dibebankan ke pasta semen. Waktu ikat awal terjadi apabila jarum vicat masuk kedalam sampel dalam waktu 30 detik sedalam 25 mm. Sedangkan untuk waktu ikat akhir terjadi apabila jarum vicat dibebankan diatas pasta semen selama 30 detik, lalu pada permukaan sampel tidak berbekas atau tidak tercetak.

2.1.4. Uji Karaketristik

Uji mortar dapat dilakukan dengan mortar yang dibuat dari campuran: air, semen, dan pasir. Campuran mortar kemudian dicetak dan dikeringkan secara alami, dengan waktu pengeringan (*ageing*) selama: 14 dan 28 hari. Adapun karakteristik mortar meliputi: dimensi sampel uji, penyerapan air, kuat tekan dan berat jenis.

2.1.2.1. Dimensi Sampel Uji

Suatu mortar dapat diuji dengan dimensi yang sesuai dengan spesifikasi dan peraturan yang berlaku. Sebagai contoh uji mortar dalam SNI 03-6825-2002 tentang metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil, disana disyaratkan sampel mortar

mempunyai dimensi pengujian yaitu panjang x lebar x tinggi, 50 x 50 x 50 mm^3.

Hal tersebut agar pengujian tidak membutuhkan bahan terlalu bayak namun hasilnya sudah dapat diketahui dengan benar. Cetakan sampel benda uji dibuat dengan panjang, lebar, dan tinggi masing-masing 50 mm ditambah toleransi 1,3-5mm.

2.1.2.2. Penyerapan Air (Water Absorbtion)

Penyerapan air dalam mortar bertujuan untuk mengetahui sampai dimana batas air pada sampel mortar dapat diserap. Perhitugan presentase penyerapan air (S_w) sebagai berikut:

$$S_w = \frac{S-A}{A} \times 100\%$$

Keterangan:

S_w = Penyerapan Air (%)

S = Massa benda dalam kondisi jenuh (gram)

A = Massa benda dalam kondisi kering oven (gram)

(SNI 03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat)

2.1.2.3. Kuat Tekan

Kuat tekan beban adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Perhitungan Kuat tekan (σ) sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

σ = Kuat Tekan (Kg/cm^2)

P = Gaya Tekan (Kg)

A = Luas penampang yang terkena penekanan gaya (cm^2)

(SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton)

2.1.2.4. Berat Jenis

Berat jenis suatu benda adalah perbandingan massa suatu benda dibandingkan volume benda tersebut. Pengujian ini untuk mengetahui seberapa ringankah mortar yang digunakan untuk kontruksi. Berikut adalah perhitungan berat jenis (ρ):

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan:

ρ = Berat Jenis (gr/cm^3)

m = Massa benda (gram)

v = Volume benda (cm^3)

(SNI 03-0349-1989 Batako Untuk Pasangan Dinding)

2.2. Penelitian Terdahulu

Menurut Dunster, Andrew M. (2007) lewat penelitiannya mengatakan bahwa *sludge* kertas dan abu *sludge* kertas memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pembuat semen maupun campuran untuk pembuatan semen. Kandungan kimia dalam *sludge* sendiri dapat ditingkatkan dengan proses pengolahan lebih lanjut.

Beliau meneliti tentang *sludge* kertas dan abu *sludge* kertas untuk dijadikan alternatif bahan baku semen. Dari penelitian beliau didapatkan karakteristik yang hampir mirip baik fisik maupun kandungan kimianya. Sehingga beliau merekomendasikan kepada perusahaan-perusahaan semen untuk menggunakan bahan alternatif ini.

Dari penelitian yang telah dilakukan hanya sebatas meneliti karakter fisik dan kimianya saja belum sampai pada pengaplikasian pada bahan banguan. Untuk itu perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan pengaplikasian pada bahan bangunan.

Mymrin, V. dkk. (2009) mengatakan kalau limbah *sludge* produksi pabrik kertas dapat digunakan sebagai bahan baku utama dengan presentase 50-60% berat. Untuk produksi bahan baku yang berdampak kecil pada kerusakan lingkungan.

Dari penelitian Mymrin, V, beliau menggunakan 3 (tiga) buah limbah yang mempunyai kandungan anorganik yang besar yaitu *sludge* produksi kertas *(Paper Productin Sludge)*, abu kayu *(Wood Ash)*, dan limbah produksi kapur *(Lime Production Waste)*. Beliau menggabungkan ketiga bahan tersebut dengan berbagai variabel komposisi tertentu, kemudian dibuat berupa benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 20 x 20 mm. Kuat tekan yang didapatkan bisa sampai 15,7 MPa.

Karena terlalu banyak bahan dari limbah yang dipakai, maka penelitian kurang fokus pada bahan *sludge* saja. Sehingga perlu penelitian lebih lanjut yang berfokus pada limbah *sludge*.

Menurut penelitian Ray, Norman dkk. (2009) bahwa secara umum pemakaian limbah kertas yang ditambahkan hingga 10% pada suatu campuran beton berakibat turunnya kemampuan sifat mekanik (kuat tekan, modulus elastis, kekuatan lekat tulangan, *modulus repture*) dari beton, akan tetapi perilaku beton yang terjadi masih memenuhi standard yang disyaratkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Ray, Norman tentang pemanfaatan limbah *sludge* diterapkan pada pembuatan beton dengan komposisi *sludge* dalam semen 5%, 10% dan 15%. Dimensi benda uji panjang x lebar x tinggi 65 cm x 15 cm x 15 cm. Kekuatan yang masih disyaratkan terdapat pada komposisi campuran *sludge* 5% dengan kekuatan 26,752 MPa (fc'=25 MPa).

Dari penjelasan diatas beton yang lolos syarat uji mutu pada komposisi 5%. Untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan dengan komposisi campuran yang lainnya, maka diperlukan penelitian lebih lanjut dengan komposisi yang lebih bervariasi.

Penelitian yang telah dilakukan Wattimena, Reza dkk (2011) dari hasil pengujian kuat tekan dan hasil regresi dari tiap komposisi menunjukkan bahwa penambahan *sludge* dalam campuran agregat dapat menyebabkan penurunan kuat tekan produk batako. Pada penambahan *sludge* sampai 70% masih menghasilkan produk batako kualitas mutu kelas IV dengan kuat tekan lebih dari 21 kg/cm^2.

Pada penelitian Wattimena, Reza dkk. menggunakan limbah *sludge* sebagai bahan campuran untuk agregat pasir dengan menggunakan sampel berdimensi 5 x 5 x 5 cm^3. Itulah mengapa pada penambahan *sludge* sampai 70% masih menghasilkan produk batako kualitas mutu kelas IV. Karena partikel *sludge* dapat mengisi rongga-rongga diantara pasir, sehingga batako akan semakin padat dan solid. Akan tetapi semakin banyak penambahan *sludge* ukuran dimensi akan semakin menyusut.

Untuk mengetahui lebih jelas peranan *sludge* dalam menggantikan semen, perlu penelitian dengan komposisi perbandingan antara *sludge* dengan semen.

2.3. Kerangka Berpikir

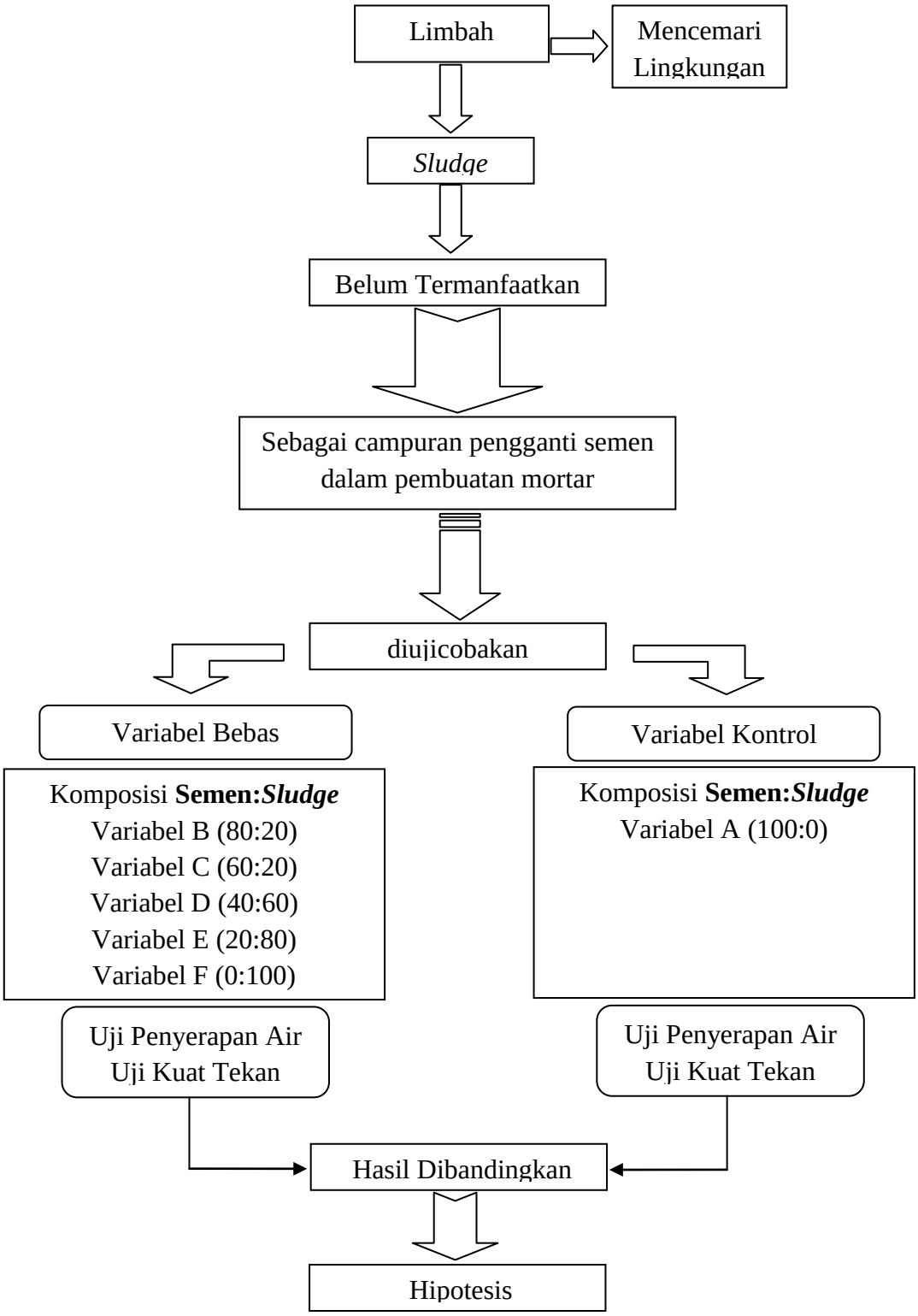
Banyaknya masalah kerusakan lingkungan yang disebabkan karena eksploitasi besar-besaran terhadap bahan baku material bangunan contohnya penambangan bahan baku semen, mendorong masyarakat untuk menemukan bahan alternatif pengganti bahan baku material. Maka salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan limbah *sludge* pabrik kertas.

Sludge dari pabrik kertas merupakan limbah yang belum banyak dimanfaatkan. Telah diketahui bahwa *sludge* mengandung banyak unsur kimia anorganik. Sehingga perlu adanya penelitian tentang pemanfaatan *sludge* khususnya sebagai bahan pengganti semen. Agar didapatkan hasil yang maksimal perlu dilakukan pengujian-pengujian, yaitu pengujian bahan mortar, serapan air mortar, dan kuat tekan mortar.

Dari serangkaian pengujian tersebut akan diketahui seberapa besar pengaruh *sludge* sebagai pengganti semen terhadap serap air dan kuat tekan mortar tersebut.

Berikut adalah gambaran singkat dari kerangka berfikir diatas yang disajikan dalam betuk bagan agar lebih menarik dan lebih mudah dipahami, seperti dibawah ini:

Gambar 2. Diagram Kerangka Berpikir Penelitian



2.4. Hipotesis

Hipotesis merupakan jawaban yang sifatnya masih sementara dan perlu pembuktian lebih lanjut dari suatu permasalahan. Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah:

"Limbah *sludge* pabrik kertas dapat menggantikan penggunaan semen dalam uji mortar dengan perbandingan komposisi tertentu".

Hipotesis di atas menyatakan bahwa Limbah *sludge* pabrik kertas (a) dapat menggantikan penggunaan semen (b) dalam pembuatan mortar. Sedangkan mortar dinilai baik apabila sudah lolos uji karakteristik yaitu pengujian penyerapan air (y) dan uji tekan (x).

H_1 : a = b, jika y = 1 dan x = 1

H_0 : a ≠ b, jika y = 0 dan x = 0

atau y = 1 dan x = 0

atau y = 0 dan x = 1

H_1 menyatakan bahwa *sludge* (a) bisa menggantikan semen (b) jika pengujian penyerapan air (y) bernilai satu dan uji tekan (x) bernilai satu. Artinya jika variabel tersebut lolos uji maka akan bernilai satu jika tidak lolos uji maka akan bernilai nol. H_0 adalah negasi dari H_1, yaitu apabila variabel tidak lolos uji satu atau dua-duanya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan cara yang digunakan dalam penelitian, agar dalam pelaksanaan dapat berjalan secara sistematis dan hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu suatu metode penelitian dengan mengadakan percobaan yang mendapatkan suatu hasil, hasil tersebut menunjukkan hubungan sebab akibat antara variabel satu dengan variabel lainnya.

3.1.1. Populasi

Populasi adalah totalitas semua nilai yang mungkin, hasil perhitungan atau pengukuran, kuantitatif maupun kualitatif mengenai karakteristik tertentu dari semua anggota kumpulan yang lengkap dan jelas yang ingin dipelajari sifat-sifatnya.

Populasi dalam hal ini adalah *sludge* sebagai pengganti semen. Setiap pabrik kertas pasti mempunyai limbah akhir berbentuk *sludge*. Populasi *sludge* berada pada semua limbah pabrik kertas di wilayah jawa tengah.

3.1.2. Sampel

Sampel dapat diartikan sebagai contoh. Sampel dalam penelitian ini menggunakan *sludge* sebagai campuran semen dalam pembuatan mortar. Sampel *sludge* mengambil dari PT. Pura Nusapersada Kudus. Kemudian dijadikan benda uji dengan komposisi campuran semen dan *sludge*,

sejumlah 36 buah benda uji. Ukuran sampel uji mortar panjang 5 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 5 cm.

Cara pengambilan sampel adalah dengan cara random sampling, karena dianggap semua sampel memiliki sifat dan karakteristik yang sama. Pengambilan sampel pasir, semen, air dan *sludge* dengan cara: 1). Pasir diambil pasir muntilan yang ada dipasaran. 2). Semen dipakai semen gresik 1 zak dengan kondisi baik. 3). Air yang dipakai adalah air sumur yang dipakai untuk kebutuhan sehari-hari. 4). Limbah *sludge* diambil dari pabrik kertas PT. Pura Nusapersada Kudus.

Sampel dalam penelitian ini berupa benda uji mortar yang terbagi dalam dua perlakuan yaitu untuk mortar umur perkerasan 14 hari dan 28 hari dengan masing-masing 3 (tiga) benda uji.

3.1.3. Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang akan menjadi objek pengamatan penelitian. Variabel penelitian dapat dikatakan juga sebagai faktor yang berperan penting dalam peristiwa atau gejala yang diteliti. Dalam penelitian ini variabel benda uji menggunakan variabel linier yang artinya variabel menunjukkan grafik komposisi yang lurus antara semen dengan *sludge*. Untuk semen komposisi akan berkurang 20 tiap variabel dari 100 sampai 0, dan untuk *sludge* komposisi akan bertambah 20 tiap variabel dari 0 sampai 100. Variabel tersebut diambil karena dalam penelitian ini peneliti belum menemukan referensi sebelumnya dengan variabel yang lebih

terfokus, dengan kata lain ini adalah penelitian pertama tentang pemanfaatan *sludge* sebagai pengganti semen dalam uji mortar.

a. Variabel terikat atau kontrol pada penelitian ini adalah sampel uji mortar variabel A dengan komposisi Semen : *Sludge*, 100 : 0.
b. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi campuran *sludge* dan semen dalam pembuatan mortar variabel B sampai dengan F.

Tabel 3. Variabel Benda Uji dan Jumlah Benda Uji

Variabel	**Komposisi Semen:*Sludge***	**Jumlah Benda Uji**	
		14 Hari	**28 Hari**
A	100:0	3	3
B	80:20	3	3
C	60:40	3	3
D	40:60	3	3
E	20:80	3	3
F	0:100	3	3
Jumlah = 18+18 = **36 buah**		**18**	**18**

3.2. Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Sludge*
2. Semen
3. Pasir

4. Air

3.3. Alat

Alat-alat yang diperlukan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Timbangan pascal
2. Alat penghalus
3. Mesin ayakan
4. Ember atau wadah
5. Cendok semen
6. Mesin Vicat
7. Cetakan 5x5x5 cm^3
8. Alat Uji Tekan CBR
9. Oven

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah tahap-tahap atau langkah-langkah yang harus dilewati pada suatu penelitian agar hasil yang didapatkan tersistematis dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3.4.1. Tahap Persiapan

Sebelum melangkah ke tahap selanjutnya yaitu tahap pengujian bahan, maka diperlukan persiapan bahan-bahan dan alat-alat untuk tahap pembuatan bahan uji. Bahan dan alat yang perlu dipersiapkan yaitu:

1. Air, alat yang diperlukan ember atau wadah.

2. Pasir, alat yang diperlukan ember atau wadah, timbangan, mesin ayakan.
3. Semen, alat yang diperlukan ember atau wadah, cendok semen, mesin vicat test.
4. *Sludge*, alat yang diperlukan ember atau wadah, oven, alat penghalus, mesin X-Ray Fluorescence.

3.4.2. Tahap Pengujian Bahan

Setelah dipersiapkan alat-alat dan bahan-bahan, maka selanjutnya adalah tahap pengujian bahan apakah bahan yang digunakan berkualitas baik atau tidak.

3.4.2.1. Pengujian Air

Pengujian terhadap air dilakukan secara visual yaitu dengan melihat apakah air yang akan digunakan berwarna, keruh, berbau, atau tidak.

3.4.2.2. Pengujian Pasir

Pengujian pasir yaitu dengan menguji gradasi pasir menggunakan mesin ayakan kemudian dihitung presentase pasir yang tertinggal, sehingga akan diketahui termasuk dalam jenis apa pasir tersebut.

3.4.2.3. Pengujian Semen

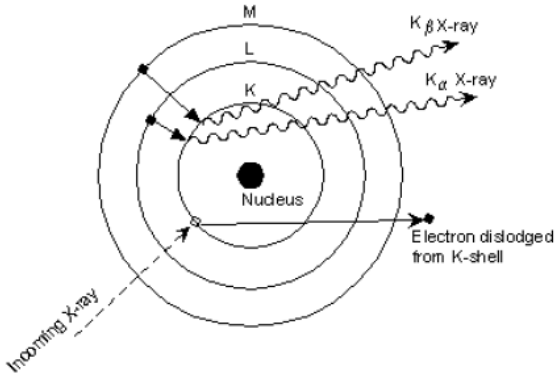
Pengujian terhadap semen dilakukan secara visual yaitu dengan melihat apakah semen yang akan digunakan terdapat cacat pada kemasan, terdapat gumpalan-gumpalan, atau tidak.

3.4.2.4. Analisis Kandungan Kimia Sludge

Dalam pengujian sampel *sludge* tidak dilakukan uji gradasi ataupun uji berat jenis dari *sludge*. Sampel *sludge* hanya diikutkan untuk pengujian kandungan kimia untuk mengetahui kandungan apa saja yang terdapat didalam sampel *sludge*.

Analisis Kandungan Kimia *Sludge* yaitu dengan metode Spektroskopi XRF. Spektroskopi XRF adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Teknik ini banyak digunakan dalam analisa batuan karena membutuhkan jumlah sample yang relative kecil (sekitar 1 gram). Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang tertutama banyak terdapat dalam batuan atau mineral. Sampel yang digunakan biasanya berupa serbuk hasil penggilingan.

Cara tersebut diatas menggunakan prinsip, Apabila sinar X ditembakkan ke suatu unsur kemudian mengenai elektron dikulit terdalam sehingga elektron dari suatu kulit atom bagian dalam dilepaskan, maka elektron yang terdapat pada bagian kulit luar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi dengan menghasilkan sinar-X baru dengan panjang gelombang yang karakteristik bagi unsur tersebut. Sehingga unsur tersebut dapat diketahui (lihat Gambar 3).



Gambar 3. Penembakan X-Ray ke unsur

Pengujian *sludge* dilakukan di Laboratorium MIPA Terpadu Universitas Sebelas Maret Surakarta dikarenakan di Universitas Negeri Semarang belum tersedia alat XRF.

3.4.3. Uji Vicat

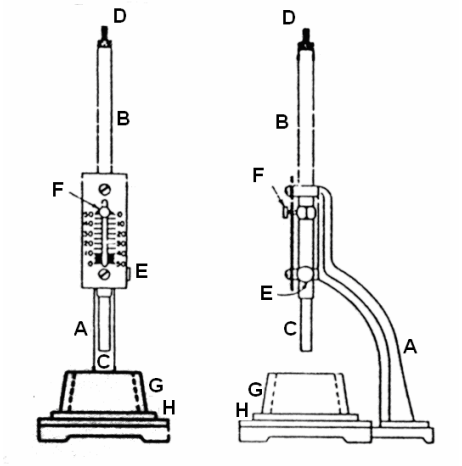
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta semen. Dari beberapa variabel yang dijadikan bahan uji akan diketahui variabel mana yang masih memenuhi syarat waktu ikat awal dan waktu ikat akhir.

Sebelum dilakukan uji vicat terlebih dahulu menyiapkan bahan-bahan yang diperlukan untuk pengujian. Khusus untuk *sludge* setelah dilakukan tahap pengeringan kemudian *sludge* yang telah mengering kemudian dihaluskan sehingga dihasilkan bentuk fisik yang menyerupai semen.

Prosedur Uji vicat adalah sebagai berikut:

1. Campurkan 650 gr semen dengan air.
2. Cetak dalam cincin cetak dengan diberi alas kaca. Diamkan selama 30 menit.
3. Siapkan alat vicat test, letakkan sampel dibawah vicat test.

4. Lakukan pembebanan jarum vicat diameter 1 mm setiap 15 menit.
5. Catat hasil yang diperoleh dengan interval waktu tersebut.
6. Jika penetrasi sudah menunjukkan 25±1 mm. Itu adalah waktu ikat awal.
7. Lalu jika penetrasi menunjukkan angka nol. Maka itu adalah waktu ikat akhir.



Gambar 4. Alat Vicat Test

3.4.4. Tahap Preparasi Sampel Mortar

Bahan baku yang digunakan pada pembuatan mortar terdiri dari semen, air, pasir, dan limbah padat *(sludge)* dari industri kertas. Untuk menentukan komposisi bahan baku mengacu pada proporsi campuran agregat dalam beton, yaitu sekitar 70-80% atau perbandingan semen terhadap pasir = 1:5 (Mulyono, 2005).

Komposisi sampel yang dipakai pada pembuatan mortar sesuai dengan perbandingan komposisi seperti pada Tabel 3. Banyaknya air yang digunakan dalam satu kali pengadukan (faktor air semen = FAS) adalah 0,5

sedangkan menurut teori FAS= 0,25-0,65 (Mulyono, 2005). Penentuan nilai FAS sebesar 0,5 dengan asumsi agar adukan semen dan air tidak terlalu encer atau kental. Di samping itu, agar selama proses pengeringan (*ageing*), mortar tidak mengalami *shock hydratation* atau muncul retak-retak di permukaan atau di dalam mortar.

Dalam pembuatan sampel uji mortar, agregat dicampur dengan semen dan air dalam suatu wadah plastik dengan perbandingan bagian pasir:semen:air = 5:1:0,5 kemudian diaduk hingga merata dan homogen menggunakan sendok semen. Selanjutnya adonan dituangkan dalam cetakan dengan ukuran kubus: 5x5x5 cm^3. Kemudian dikeringkan untuk proses pengerasan (*ageing*). Pada proses *ageing* secara alami dilakukan dengan variasi waktu pengerasan: 14 dan 28 hari. Begitu juga dengan variabel-variabel yang lainnya.

Setelah benda uji mengalami proses *ageing*, kemudian dilakukan pengujian karakteristik meliputi: penyerapan air dan kuat tekan. Dalam setiap pengujian karakteristik mortar, dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali untuk masing-masing variasi komposisi bahan baku dan variasi waktu proses *ageing*, sehingga diperoleh hasil rata-rata. Hal ini dilakukan untuk mempertegas hasil yang diperoleh.

3.4.5. Tahap Uji Karakteristik Mortar

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi penyerapan air dan kuat tekan.

3.4.5.1. Penyerapan Air (Water Absorbtion)

Untuk mengetahui besarnya penyerapan air dari sampel mortar yang telah dibuat, maka perlu dilakukan pengujian.

Prosedur pengukuran penyerapan air adalah sebagai berikut:

1. Rendam benda uji selama 1 jam
2. Timbang benda uji yang telah direndam, maka diperoleh Massa jenuh (M_j).
3. Kemudian keringkan benda uji dengan *drying oven* dengan suhu $(105\pm5)^oC$ selama 1 jam.
4. Keluarkan benda uji lalu timbang dengan menggunakan neraca digital sehingga didapat Massa kering (M_k).
5. Kemudian data yang diperoleh diolah dengan rumus persamaan 1 pada sub bab selanjutnya.

3.4.5.2. Kuat Tekan (Comprressive Strength)

Prosedur pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

1. Timbang benda uji.
2. Pasang Proving Ring dan piston dalam rangka beban. Pengukuran kuat tekan benda uji menggunakan alat uji tekan CBR, seperti pada Gambar 5 di bawah.
3. Tempatkaan benda uji di atas dongkrak dari rangka beban.
4. Atur posisi piston hingga menyentuh permukaan benda uji, kemudian setel bacaan ring pada posisi nol stand.
5. Beri keping pemberat pada permukaan benda uji dan pasang dial pengukuran penetrasi.

6. Putar dongkrak hingga piston berpenetrasi dengan kecepatan penetrasi 0,005 permenit (1,25 mm/menit).
7. Catat bacaan maksimal pada dial.
8. Setelah itu piston dilepas dan dibersihkan.

Gambar 5. CBR Test Machine

9. Data yang diperoleh kemudian dihitung dengan persamaan 2 dibawah.

3.4.6. Tahap Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh dari pengujian kemudian diolah dengan rumus-rumus sehingga didapatkan data matang.

3.4.6.1. Rumus Penyerapan Air

Perhitungan presentase peyerapan air (S_w) sebagai berikut:

$$S_w = \frac{S-A}{A} x100\% \text{ .....(pers 1)}$$

Keterangan:

S_w = Penyerapan Air (%)

S = Massa benda dalam kondisi jenuh (gram)

A = Massa benda dalam kondisi kering oven (gram)

(SNI 03-1970-1990)

3.4.6.2. Rumus Kuat Tekan

Perhitungan kuat tekan (σ) sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$ .....(pers 2)

Keterangan:

σ = Kuat Tekan (kg/cm^2)

P = Gaya Tekan (kg)

A = Luas penampang yang terkena penekanan gaya (cm^2)

(SNI 03-1974-1990)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Dari penelitian/ pengujian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh data-data sebagai berikut:

4.1.1. Air

Pemeriksaan visual terhadap air yang diperoleh dari air sumur yang digunakan untuk keperluan sehari-hari. Air yang diperiksa tidak berwarna, tidak terdapat partikel-partikel yang melayang dalam air, dan tidak berbau. Sehingga air dinyatakan layak untuk digunakan.

4.1.2. Semen

Pemeriksaan terhadap semen, kemasan pada semen bagus dan tidak terdapat cacat ataupun sobek. Butiran-butiran pada semen tidak ada yang menggumpal. Jadi semen layak untuk digunakan.

4.1.3. Pasir

Dari pemeriksaan pasir, pasir termasuk dalam kategori agak kasar. Sehingga pasir layak digunakan sebagai bahan pembuat mortar

4.1.4. Analisis Kandungan Kimia *Sludge*

Penelitian tentang analisis kandungan kimia pada sampel *sludge* dilakukan dengan menggunakan metode Spektroskopi XRF yang tujuannya untuk megetahui besarnya kandungan kimia dalam *sludge* khususnya susunan kimia yang mirip dengan semen.

Dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium MIPA Terpadu Universitas Sebelas Maret diperoleh data kandungan kimia sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Kandungan Kimia *Sludge*

Komposisi Kimia	Kadar (%)
CaO	56,38
Na_2O	14,99
SO_3	8,28
SiO_2	4,34
MgO	2,99
Al_2O_3	2,75
P_2O_5	2,47
K_2O	1,73
Fe_2O_3	0,73
Cl	0,62
TiO_2	0,38
MnO	0,23
La_2O_3	0,19
ZnO	0,09
CeO_2	0,08
ZrO_2	0,07
SrO	0,06
CuO	0,04
Cr_2O_3	0,03
SnO_2	0,03
Br	0,02
Nd_2O_3	0,02
CdO	0,02
TeO_2	0,02
Sb_2O_3	0,01
Bi_2O_3	0,01
Pr_6O_{11}	0,01
Ga_2O_3	0,01
SeO_2	0,01

Laboratorium MIPA Universitas Sebelas Maret (UNS), 2012

Dari Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa *sludge* memiliki banyak unsur penyusunnya. Untuk lebih sederhananya diambil hanya unsur yang mirip dengan semen dan dibuat tabel sehingga dapat dilihat perbandingannya.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Uji Kandungan Kimia *Sludge* dengan Semen

Komposisi Kimia	Kadar dalam Semen(%)[1)]	Kadar dalam *Sludge*(%)[2)]	Kadar dalam *Sludge*(%)[3)]
SiO_2	20,92	2,35	4,34
Al_2O_3	5,49	7,70	2,75
Fe_2O_3	3,78	1,68	0,73
CaO	65,21	56,38	56,38
MgO	0,97	3,62	2,99
SO_3	2,22	11,26	8,28

[1)] *PT. Semen Gresik (Persero) Tbk, 2012*

[2)] *Lab. Penelitian dan Kosultasi Industri Surabaya, 2005*

[3)] *Laboratorium MIPA Terpadu UNS, 2012*

4.1.5. Uji Vicat

Uji Vicat dilakukan dengan menggunakan alat vicat sehingga akan diperoleh waktu ikat terbaik semen tersebut. Setelah dilakukan uji tersebut maka akan diperoleh waktu ikat awal dan akhir dalam satuan menit. Untuk mengingatkan besar komposisi antara Semen dengan *Sludge* tiap variabel, berikut tabel besar komposisi tiap variabel.

Tabel 6. Komposisi Semen dengan *Sludge* Tiap Variabel

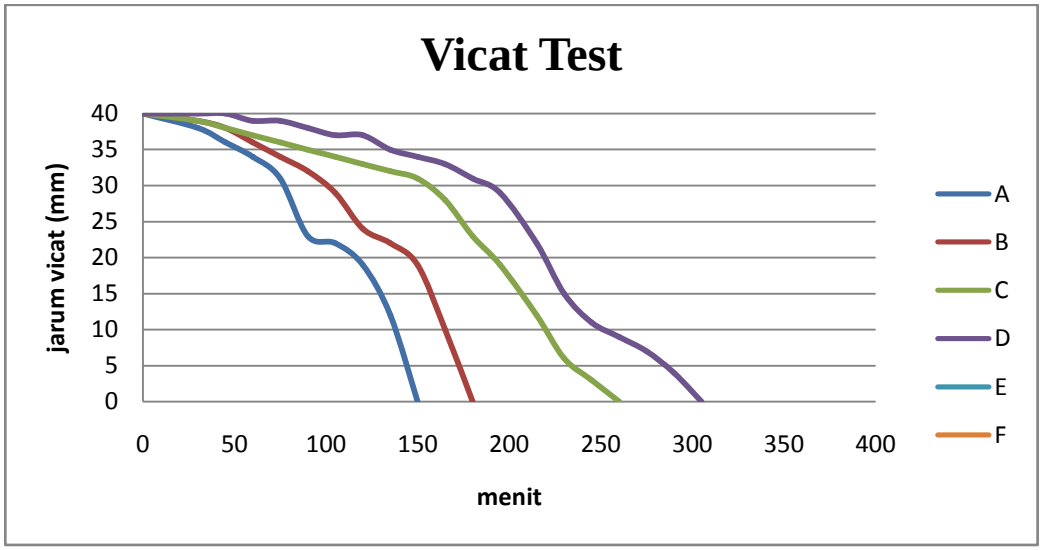
Variabel	A	B	C	D	E	F
Semen (%)	100	80	60	40	20	0
***Sludge* (%)**	0	20	40	60	80	100

Dari hasil pegujian dapat diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Uji Vicat Test

Variabel	A	B	C	D	E	F
Ikat Awal	90	120	180	215	-	-
Ikat Akhir	150	180	260	305	-	-

Untuk data grafiknya bisa dilihat dibawah ini:

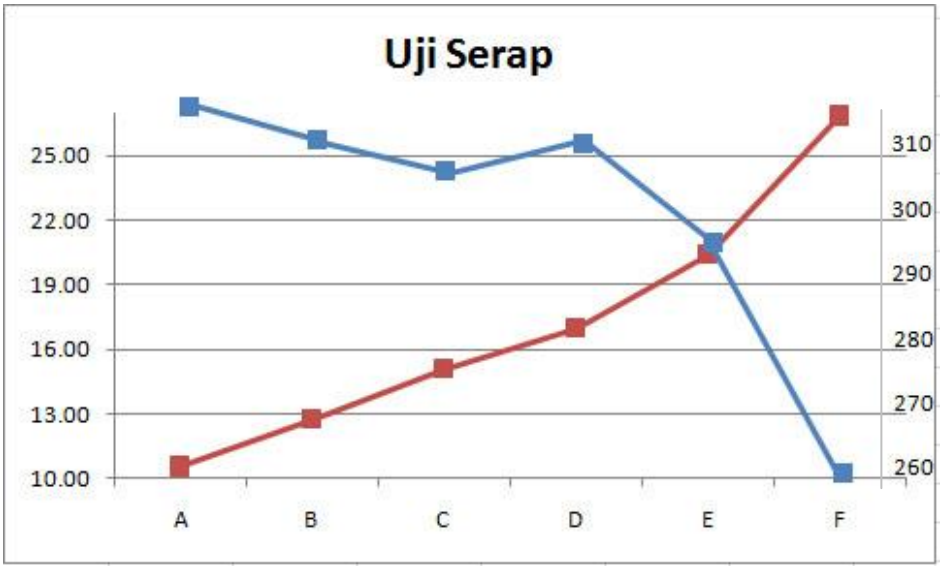


Gambar 6. Grafik Hasil Uji Vicat

4.1.6. Uji Penyerapan Air

Uji penyerapan air bertujuan untuk mengetahui seberapa besar air yang mampu diserap oleh mortar. Semakin besar daya serap mortar maka kualitas mortar akan semakin jelek. Karena mortar yang terlalu banyak menyerap air akan menyebabkan umur mortar semakin pendek karena dapat lapuh oleh lumut dan jamur, dan juga dapat menyebabkan keadaan ruangan menjadi lembab dan pengap.

Berikut adalah data pengujian penyerapan air:



Gambar 7. Grafik Presentase Hasil Uji Penyerapan Air dengan Berat Kering

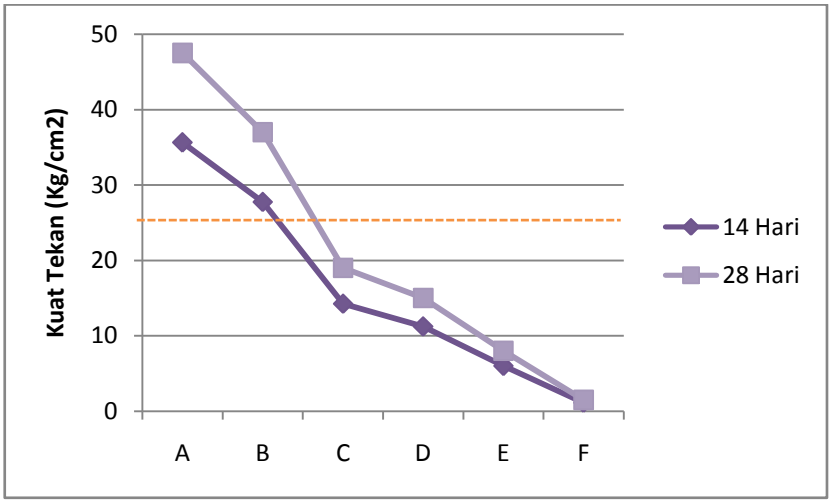
Garis merah : Penyerapan Air (%)

Garis biru : Berat Kering (gram)

4.1.7. Uji Kuat Tekan

Uji Kuat Tekan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar gaya yang mampu ditahan oleh sampel mortar. Sehingga nanti akan diketahui apakah mortar layak digunakan untuk pemasangan dinding atau tidak. Semakin besar kuat tekan mortar maka kualitas mortar akan semakin baik.

Berikut adalah data dari Tes Uji Tekan:



Gambar 8. Grafik Hasil Uji Tekan Mortar

4.2. Pembahasan

4.2.1. Analisis Kandungan *Sludge*

Dari data pada Tabel 4 dan Tabel 5 dapat diketahui bahwa memang *sludge* mempunyai kandungan yang sama dengan semen. Senyawa yang mempunyai pengaruh besar dalam fungsi semen yaitu Silika Oksida (SO_2), Alumunium Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3), Kalsium Oksida (CaO), Magesium Oksida (MgO), dan Sulfat (SO_3). Apabila dibandingkan dengan semen, ada beberapa senyawa yang mempunyai kandungan lebih besar dari semen dan ada juga yang lebih kecil. Senyawa pada *sludge* yang memiliki jumlah lebih besar dibandingkan pada semen, MgO dan SO_3. Sedangkan senyawa yang lebih kecil, adalah SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 dan CaO. Masing-masing senyawa mempunyai peran dan fungsi yang berbeda-beda dan berpengaruh besar dalam semen.

Berikut adalah senyawa-senyawa utama pembentuk semen beserta fungsinya:

1. C_3S (Trikalsium Silikat) dengan rumus kimia $3CaO.SiO_3$, berfungsi untuk pengerasan semen dan mempengaruhi kekuatan semen pada 14 hari pertama.
2. C_2S (Dikalsium Silikat) dengan rumus kimia $2CaO.SiO_3$, berfungsi untuk pengerasan semen dan mempengaruhi kekuatan semen setelah 14 hari dan mempunyai kontribusi terhadap awet mortar.
3. C_3A (Trikalsium Aluminat) dengan rumus kimia $3CaO.Al_2O_3$, Tetrakalsium Aluminat mempengaruhi proses pengikatan awal akan tetapi kotribusinya terhadap kekuatan semen kecil. Senyawa ini apabila terkena air akan cepat bereaksi melepas panas dan kemudian hancur. Dan juga tidak tahan terhadap sulfat.
4. C_4AF (Tetrakalsium Alumino Forit) dengan rumus kimia $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$, senyawa ini tidak berbahaya terhadap semen akan tetapi apabila jumlahnya terlalu banyak akan memperlambat pengerasan semen.

Senyawa yang berperan dalam proses pengerasan dalam semen adalah SiO_2 dan CaO. Keduanya merupakan unsur yang mempuyai peran besar pada semen sehingga kedua unsur tersebut paling banyak terkandung dalam semen. Pada semen kandungan SiO_2 dan CaO adalah 20,92% dan 65,21%. Sedangkan dalam *sludge* kandungan SiO_2 dan CaO adalah 2,35% dan

56,38%. Pada *sludge* unsur silika sangat kurang sehingga dapat berpengaruh pada proses pengerasan nantinya.

Selain senyawa yang mempunyai fungsi besar, ada juga senyawa yang keberadaannya tidak diinginkan dalam semen karena dapat berpengaruh terhadap kualitas semen, yaitu MgO, SO_3 dan alkali (Na_2O dan K_2O). Ketiganya terdapat didalam *sludge* lebih banyak dari pada semen.

Pada semen MgO 0,97% sedangkan pada *sludge* MgO 2,99%. Senyawa MgO yang terlalu banyak akan menghasilkan $Mg(OH)_2$ yang dapat merusak semen karena dapat menyebabkan volume semen mengembang dalam jangka panjang. Sehingga jumlah MgO dalam SNI 15-2049-2004 dibatasi maksimal 6%.

Pada semen SO_3 jumlahnya 2,22% sedangkan pada *sludge* SO_3 jumlahnya 8,28%. Senyawa SO_3 akan bereaksi dengan C_3A membentuk senyawa Ettringate atau $C_3A.3CSH_{31}$ yang dapat menghambat pengerasan semen. Sehingga dalam SNI 15-2049-2004 jumlah SO_3 dibatasi maksimal 3%.

Pada semen senyawa alkali (Na_2O dan K_2O) dibatasi tidak boleh lebih dari 0,6%. Karena apabila kelebihan sewnyawa alkali dapat mempengaruhi kecepatan pengerasan semen. Sedangkan dalam *sludge* memiliki kandungan alkali sangat besar Na_2O 14,99% dan K_2O 1,73%.

Dari jumlah senyawa-senyawa yang diijinkan dalam SNI 15-2049-2004 terdapat SO_3 dan senyawa alkali (Na_2O dan K_2O) yang jumlahnya melebihi batas ijin dalam kandungan *sludge.*

4.2.2. Uji Vicat

Uji vicat berhubugan dengan proses hidrasi semen yaitu proses pengerasan semen mulai dari awal pencampuran semen dengan air kemudian berubah sifat jadi plastis kemudian menjadi kaku. Hal tersebut dapat diketahui melalui pengujian vicat test, tahap peralihan dari sifat plastis ke keadaan kaku atau disebut proses pengikatan awal dapat diketahui jika jarum vicat mengalami penurunan 25 mm. Sedangkan kondisi pasta semen sudah menjadi keras atau disebut proses pengikatan akhir, dapat diketahui jika jarum vicat menunjukkan penurunan 0 mm.

Dari data pengujian diatas, pengikatan awal dan pengikatan akhir semen semakin lambat seiring dengan ditambahnya *sludge*. Sebagai contoh waktu pengikatan awal Variabel A (0% *sludge*) adalah 90 menit, sedangkan Variabel B (20% *sludge*) waktu pengikatan awal menjadi 120 menit. Variabel A (0%) waktu pengikatan akhir adalah 150 menit jika ditambah *sludge* 20% waktu pengikatan akhir melambat menjadi 180 menit. Untuk variabel E dan variabel F tidak diketahui hasilnya karena kesulitan dalam hal pembuatan benda uji. Benda uji vicat dari *sludge* apabila diberi air bentuknya masih kenyal-kenyal kaku dan tidak bisa berikatan. Sehingga tidak bisa digunakan untuk bahan uji. Sedangkan untuk variabel yang lain masih dapat diuji karena sebagian besar dicampur dengan semen.

Hal itu terjadi karena kemungkinan terlalu banyak kandungan senyawa SO_3 pada *sludge*. Karena SO_3 dapat bereaksi dengan C_3A kemudian menghasilkan senyawa Ettringate atau $C_3A.3CSH_{31}$ yang dapat

menghambat pengerasan semen (Anonim, 2012). Berikut adalah reaksi kimianya:

$3CaO.Al_2O_3 + 26H_2O + 3CaSO_4.2H_2O \rightarrow 3CaO.\ Al_2O_3.\ 3CaSO_4.31H_2O$,dapat disingkat

$C_3A + 26H + 3CSH_2 \rightarrow C_3A.3CSH_{31}$

Senyawa hasil reaksi inilah yang disebut senyawa Ettringate atau disebut juga Trisulfo Aluminat.

4.2.3. Uji Penyerapan Air

Mortar yang bagus adalah mortar yang memiliki sifat kedap terhadap air. Tujuannya agar ketika dipasang sebagai contoh untuk dinding ruang tidak menyerap air dari luar. Kedap disini memiliki tolerasi sebesar 25% menurut dalam aturan SNI 03-0349-1989. Jika melebihi itu maka mortar akan cenderung cepat rusak.

Semen yang telah mengeras akan merekat kuat terhadap pengisinya yaitu pasir, pori-pori pada mortar akan tertutup oleh pasta semen yang mengeras, sehingga menghalangi air yang akan masuk dari luar. Semakin kuat ikatan semen dengan pasir akan semakin kecil daya resapnya. Hal itu dapat diamati dari tabel data vicat test dengan tabel penyerapan air. Semakin baik nilai vicat test-nya maka daya serapnya akan semakin menurun artinya mortar akan semakin kedap terhadap air.

Dari kelima sampel uji coba hampir semua variabel nilai serapnya dibawah 25% kecuali variabel F karena nilai serapnya 26,83% sehingga

tidak baik untuk digunakan dan menyebabkan sebagaian permukaan benda uji lapuh karena terkena air.

4.2.4. Uji Kuat Tekan

Mortar dapat digolongkan kedalam empat tingkat mutu mortar sesuai dengan nilai uji tekannya. Tingkat mutu mortar paling akhir adalah mortar mutu O dengan nilai uji tekan minimal 2,4 MPa atau 25 kg/cm^2. Semakin besar nilai uji tekan yang diperoleh maka semakian baik kualitas mortar tersebut.

Dari data pengujian kuat tekan diatas dapat dilihat hanya dua variabel saja yang lolos syarat minimal, yaitu Variabel A (*Sludge* 0%) nilai tekan pada variabel kontrolnya sebesar 48,10 kg/cm^2 dan Variabel B (*Sludge* 20%). Dengan *sludge* sebesar 20% mampu menghasilkan kekuatan mortar 37,53 kg/cm^2, akan tetapi kekuatan mortar turun drastis ketikan jumlah *sludge* ditambahkan menjadi 40%, yaitu 19,40 kg/cm^2. 60% *sludge* yaitu 15,26 kg/cm^2 sampai penambahan 80% *sludge* yaitu 8,20 kg/cm^2. Begitu juga penambahan sampai pada 100% *sludge*, kekuatan mortar menurun drastis 2,23 kg/cm^2.

Faktor yang menyebabkan berkurangnya kekuatan mortar seiring penambahan *sludge* tidak lepas dari proses hidrasi yang dialami oleh mortar hasil reaksi dari air, semen, dan *sludge*. Pada bagian sebelumnya telah dibahas tentang senyawa apa saja yang mempunyai kontribusi dalam pengerasan semen atau mortar.

Dari pembahasan sebelumnya diketahui bahwa *sludge* banyak mengandung kapur (CaO) akan tetapi miskin kandungan silika (SiO_2), yang kedua unsur tersebut sangat berperan dalam proses pengerasan semen. Kekurangan atau kelebihan kedua unsur tersebut juga akan berdampak pada menurunnya kekuatan semen. *Sludge* memiliki kandungan kapur (CaO) hampir setara semen, sedangkan dalam semen kandungan kapur sudah seimbang. Jika akibat penambahan *sludge* kandungan kapur (CaO) dalam semen menjadi bertambah, maka hal itu akan menyebabkan naiknya panas hidrasi sehingga malah berakibat hancurnya pasta semen.

Sedangkan jika kekurangan kandungan silika (SiO_2) maka proses pengerasan semen akan terhambat. Seperti halnya dalam *sludge*, kandungan silikanya (SiO_2) cuma 2,35% sangat jauh jika dibandingkan dengan semen. Sehingga tidak dapat menutupi kebutuhan silika jika semen dikurangi.

Jika ditilik dari reaksi kimia yang terjadi seperti yang tertulis dalam buku Rumus Kimia Semen oleh (Anonim, 2012) maka gambarannya akan seperti ini:

Reaksi $C_3S = 2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$ + kalori (120 kal/gr)

Reaksi $C_2S = 2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$ + kalori (62 kal/gr)

Reaksi $C_3A = 3CaO.Al_2O_3 + 2H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$ + kalori (207 kal/gr)

Reaksi C_4AF = $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + 10H_2O + 2Ca(OH)_2 \rightarrow 6CaO.Al_2O_3$ $Fe_2O_3.12H_2O$ + kalori (100 kal/gr)

Reaksi Ettringate = $3CaO.Al_2O_3 + 26H_2O + 3CaSO_4.2H_2O \rightarrow$ $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$ + kalori (326 kal/gr)

Reaksi juga dipengaruhi oleh jumlah senyawa yang akan bereaksi. Dari data kandungan kimia *sludge* dapat juga dihitung seberapa besar senyawa yang akan bereaksi. Perhitungannya sebagai berikut (SNI 15-2049-2004):

C_3S = (4,071 x % CaO) – (7,600 x % SiO_2) – (6,718 x % Al_2O_3) – (1,430 x % Fe_2O_3) – (2,852 x % SO_3)

= (4,071x56,38) – (7,600x4,34) – (6,718x2,75) – (1,430x0,73) – (2,852x8,28) = 153,41 %

C_2S = (2,867 x % SiO_2) – (0,7544 x % C_3S)

= (2,867x4,34) – (0,7544x153,41) = –103,29 %

C_3A = (2,650 x % Al_2O_3) – (1,692 x % Fe_2O_3)

= (2,650x2,75) – (1,692x0,73) = 6,05 %

C_4AF = (3,043 x % Fe_2O_3)

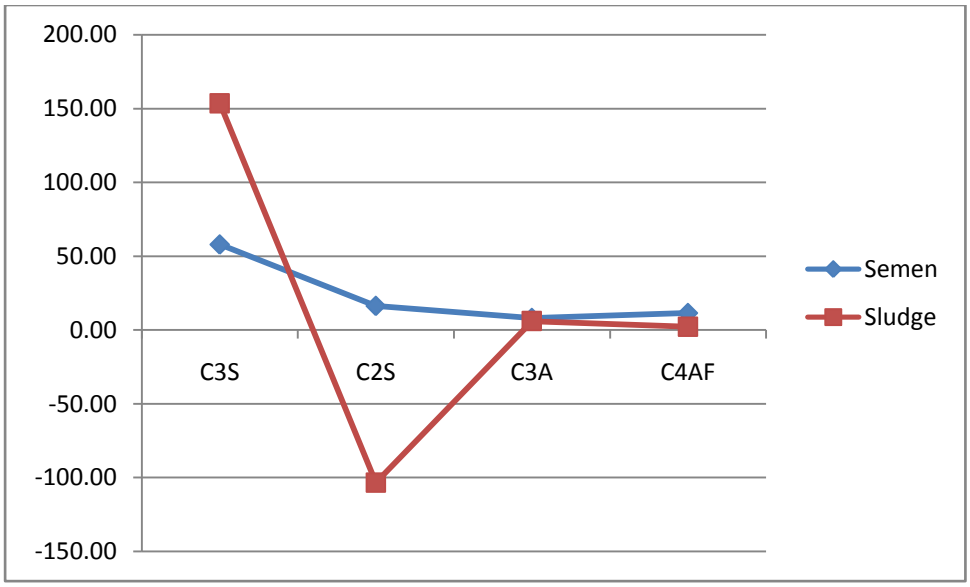
= (3,043x0,73) = 2,22 %

Dari hasil diatas untuk mengetahui senyawa mana saja yang melebihi atau kurang dari senyawa yang dimiliki semen, maka dapat dibuat tabel perbandingan sebagai berikut:

Tabel 8. Perbandingan Kandungan C_3S, C_2S, C_3A, dan C_4AF dalam Semen dan *Sludge*

	Semen	*Sludge*	Peran
C_3S	57,86	153,41	Pengerasan sebelum 14 hari
C_2S	16,33	-103,29	Pengerasan setelah 14 hari
C_3A	8,15	6,05	Proses pengikatan awal
C_4AF	11,50	2,22	Membantu reaksi

Agar lebih mudah untuk memahami data diatas berikut akan disajikan data dalam bentuk grafik:



Gambar 9. Grafik Kandungan C3S, C2S, C3A, dan C4AF dalam Semen dan *Sludge*

Telah kita ketahui bahwa kekuatan mortar sangat dipengaruhi oleh senyawa-senyawa yang tertera pada tabel diatas. Senyawa yang satu saling mendukung senyawa yang lainnya. Dari pembacaan tabel dan gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa untuk proses pengikatan awal *sludge* masih

kurang dengan dibandingkan semen dilihat dari jumlah C_3A yang lebih banyak dimiliki oleh semen. *Sludge* lebih cepat mengeras dalam 14 hari pertama dengan jumlah C_3S yang sangat banyak bahkan hampir tiga kali jumlah yang dikandung semen. Akan tetapi senyawa yang berfungsi untuk menjaga stabilitas mortar atau semen setelah proses pengerasan lebih dari 14 hari sangatlah kurang didalam kandungan *sludge* dilihat dari kandungan C_2S yang bernilai negatif yang artinya *sludge* sangat kekurangan senyawa C_2S, maka dari itu pada tabel grafik kuat tekan mortar semakin ditambahkan *sludge* kekuatannya semakin menurun drastis.

BAB V

PENUTUP

5.1. Simpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari pengujian kandungan *sludge* diketahui bahwa *sludge* mempunyai silica yang sangat rendah yaitu SiO_2 2,35%. Sedangkan kandungan kimia yang lainnya bisa mengimbangi.
2. Semakin banyak campuran *sludge* dengan semen maka waktu ikat atau *setting time* adonan pasta semen akan semakin lambat. Dari enam variabel hanya variabel dengan komposisi *sludge* 0%-60% yang lolos pengujian. Yaitu variabel A, B, C, dan D.
3. Penyerapan air oleh mortar melebihi 25% pada variabel F dengan komposisi *sludge* 100%. Sedangkan variabel yang lainnya memiliki nilai penyerapan dibawah 25% dengan nilai serap terbesar 22% pada variabel E.
4. Kuat tekan mortar yang maksimal pada variabel B dengan komposisi *sludge* 20%. Lebih dari 20% maka kekuatan mortar akan menurun drastis. Kuat tekan yang diperoleh dari variabel B menghasilkan angka 37 kg/cm^2.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan dan untuk menyempurnakan penelitian ini kedepannya. Maka penulis dapat memberikan saran-saran untuk pengembangan selanjutnya:

1. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut dengan variasi karakteristik-karakteristik mortar yang lain, seperti pegujian berat jenis, tahanan gesek, dan lainnya.
2. Dari penelitian yang telah dilakukan ini diketahui bahwa range variabel komposisi kandungan *sludge* terlalu jauh. Jadi perlu disederhanakan dengan komposisi *sludge* antara 0% sampai 20% atau 40%.
3. Bisa juga penelitian selanjutnya berfokus pada proses hidrasi, berat jenis dan meneliti kandungan kimia *sludge* ketika sudah dicampur dengan semen.
4. Untuk mengatasi masalah kandungan silika yang rendah dari *sludge*, untuk penelitian selanjutnya bisa juga digunakan campuran *fly ash*. Dikarenakan *fly ash* memiliki kandungan silika yang sangat besar jadi bisa menutupi kekurangan silika pada *sludge*. Sehingga tidak perlu dicampur lagi dengan semen.
5. Dapat juga dilakukan penelitian untuk bahan bangunan yang lain seperti batako, paving atau yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2010. *Analisa Dengan XRF*. http://www.scribd.com/doc/36619402/Bab-4-Analisa-Dengan-XRF (diakses 5 September 2012)

Anonim. 2012 . *Info Hidrasi*. *http://www.epcserver.com/Structural/Analysis/concrete/info_hydration.asp* (diakses 17 Desember 2012)

Anonim. 2012. *Rumus Kimia Semen.* http://repository.usu.ac.id (diakses 17 Desember 2012)

Anonim. 2012. *Teknologi Bahan I.* Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.

Dunster, Andrew M. 2007. *Characterisation of Mineral Wastes, Resources And Processing Technologies – Integrated Waste Management For The Production Of Construction Material*. Leeds: University of Leeds.

Gulo, W. 2002. *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Gramedia.

Kementrian Lingkungan Hidup. 2007. *Sludge Kertas Bukan Limbah B3.* http://www.radarbanten.com/mod.php?mod=publisher&op=viewarticle&artid=9792. (diakses 5 September 2012).

Mulyono, Tri. 2005. *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Andi.

Mymrin, V., A. Ferreira, & J. Gardolinski. 2009. *Paper Production Sludge Application For Producing Of New Construction Materials*. Curitiba: Federal University of Paraná.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 02 Tahun 2008 tentang *Pemanfaatan Limbah B3.*

Rahayu, Suparni Sulityowati. 2009. *Semen Portland*. http://www.chem-is-try.org (diakses 17 Desember 2012)

Ray, Norman, Juis WU, & Eko R. 2009. *Alternatif Penggunaan Limbah Pabrik Kertas Sebagai Pengganti Sebagian Semen (Cementitous) Dalam Pembuatan Beton*. Dinamika Teknik Sipil, Vol. 9, No. 1, 48-55.

Samosir, Jupernalis. 2007. *Limbah Riau Andalan Jadi Wabah Penyakit*. *Senin, 16 April 2007*. http://www.tempointeraktif.com. (diakses 5 September 2012).

SNI 03-0349-1989. Departemen Pekerjaan Umum: *Batako untuk pasangan dinding*.

SNI 03-1970-1990. Departemen Pekerjaan Umum: *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air*.

SNI 03-1974-1990. Departemen Pekerjaan Umum: *Metode pengujian kuat tekan beton.*

SNI 03-6825-2002. Departemen Pekerjaan Umum: *Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil.*

SNI 03-6882-2002. Departemen Pekerjaan Umum: *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan.*

SNI 15-2049-2004. Departemen Pekerjaan Umum: *Metode pengujian semen Portland.*

Syamsudin, Sri Purwati, & Ike Rostika, 2007. *Pemanfaatan Campuran Limbah Padat Dengan Lindi Hitam Dari Industri Pulp Dan Kertas Sebagai Bahan Biobriket*. Berita Selulosa, Vol. 42, No. 2, 68-75.

Wattimena, Reza, Aep Surachman, & Wachyudin Aziz. 2011. *Potensi Penerapan Self-Locking Wall Pada Pemanfaatan Limbah Sludge Deinking Industri Kertas Sebagai Batako Interlok*. Jurnal Selulosa, Vol. 1, No. 1, Juni 2011: 42-50.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MIPA TERPADU
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Nama konsumen : Diyar-UNNES
Jenis analisis : XRF
Aplikasi/preparasi : EQUA_Powder/Mylar
Jenis sampel : Serbuk
Kode sampel : sludge kertas
Nama operator : Candra P.
Hari/Tanggal analisis : Rabu, 11 April 2012
Kontak : Dr. Sayekti W., M.Si (081568455281/081904138090)

Formula	Z	Concentration	Status
CaO	20	59.72%	Fit spectrum
Na2O	11	14.99%	Fit spectrum
SO3	16	8.28%	Fit spectrum
SiO2	14	4.34%	Fit spectrum
MgO	12	2.99%	Fit spectrum
Al2O3	13	2.75%	Fit spectrum
P2O5	15	2.47%	Fit spectrum
K2O	19	1.73%	Fit spectrum
Fe2O3	26	0.73%	Fit spectrum
Cl	17	0.62%	Fit spectrum
TiO2	22	0.38%	Fit spectrum
MnO	25	0.23%	Fit spectrum
La2O3	57	0.19%	Fit spectrum
ZnO	30	0.09%	Fit spectrum
CeO2	58	0.08%	Fit spectrum
ZrO2	40	0.07%	Fit spectrum
SrO	38	0.06%	Fit spectrum
CuO	29	0.04%	Fit spectrum
Cr2O3	24	0.03%	Fit spectrum
SnO2	50	0.03%	Fit spectrum
Br	35	0.02%	Fit spectrum
Nd2O3	60	0.02%	Fit spectrum
CdO	48	0.02%	Fit spectrum
TeO2	52	0.02%	Fit spectrum
Sb2O3	51	0.01%	Fit spectrum
Bi2O3	83	0.01%	Fit spectrum
Pr6O11	59	0.01%	Fit spectrum
Ga2O3	31	0.01%	Fit spectrum
SeO2	34	0.01%	Fit spectrum

Surakarta, 11 April 2012

Mengetahui,
Kepala Lab. Terpadu MIPA UNS

Dr. Sayekti Wahyuningsih, M.Si.
NIP.19711211 199702 2001

Operator Analis

Candra Purnawan
NIP. 19781228 200501 1001

Lampiran 2

LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Alamat: Gedung E3 Lantai 2 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang

Uji Vicat Test

Variabel	A	B	C	D	E	F
Ikat Awal	90	120	180	215	-	-
Ikat Akhir	150	180	260	305	-	-

Menit	Kedalaman jarum vicat test (mm)					
	Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D	Sampel E	Sampel F
0	40	40	40	40		
30	38	39	39	40		
45	36	38	38	40		
60	34	36	37	39		
75	31	34	36	39		
90	23	32	35	38		
105	22	29	34	37		
120	19	24	33	37		
135	12	22	32	35		
150	0	19	31	34		
165		10	28	33		
180		0	23	31		
195			19	29		
215			12	22		
230			6	15		
245			3	11		
260			0	9		
275				7		
290				4		
305				0		
320						
335						
350						

Mengetahui,
Kepala Laboratorium

Mego Purnomo, ST, MT
NIP. 19730618 200501 1 001

Lampiran 3

LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Alamat: Gedung E3 Lantai 2 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang

DATA HASIL PEMERIKSAAN GRADASI PASIR

Tabel Syarat Batas Gradasi Pasir dan Hasil Uji Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tembus Komulatif (%)								
	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Pasir
	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
4,8	90	100	90	100	90	100	95	100	97,87
2,4	60	95	75	100	85	100	95	100	82,73
1,2	30	70	55	100	75	100	90	100	60,22
0,6	15	34	35	59	60	79	80	100	41,94
0,3	5	20	8	30	12	40	15	50	22,77
0,15	0	10	0	10	0	10	0	15	5,55

Pasir yang diuji berada pada Zona 2

Tabel Hasil Uji Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Presentase Berat Tertahan (%)	Berat Komulatif Tertahan (%)	Berat Komulatif Lolos (%)
10	0	0	0	100
4,8	21,3	2,13	2,13	97,87
2,4	151,4	15,14	17,27	82,73
1,2	225,1	22,51	39,78	60,22
0,6	182,8	18,28	58,06	41,94
0,3	191,7	19,17	77,23	22,77
0,15	172,2	17,22	94,45	5,55
sisa	55,5	5,55		
Jumlah	1000	100	288,92	

Modulus Halus Butir (MHB) = 288,92/100 = 2,8892

Mengetahui,

Kepala Laboratorium

Mego Purnomo, ST, MT

NIP. 19730618 200501 1 001

Lampiran 4

LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Alamat: Gedung E3 Lantai 2 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang

Pengujian Serapan Batako

No.	Semen (%)	*Sludge* (%)	Berat Jenuh ***S*** (gram)	Berat Kering ***A*** (gram)	Serapan (%)
1.	100	0	315	285	10.53
2.	80	20	310	275	12.73
3.	60	40	305	265	15.09
4.	40	60	310	265	16.98
5.	20	80	295	245	20.41
6.	0	100	260	205	26.83

Rumus: $S_w = \frac{S-A}{A} \times 100\%$

Diketahui: S_w = Penyerapan Air (%)

S = Massa benda dalam kondisi jenuh (gram)

A = Massa benda dalam kondisi kering oven (gram)

(SNI 03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat)

Mengetahui,

Kepala Laboratorium

Mego Purnomo, ST, MT

NIP. 19730618 200501 1 001

Lampiran 5

LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Alamat: Gedung E3 Lantai 2 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang

Pengujian Kuat Tekan Batako

Material : Batako

Alat Pegujian : CBR Test Machine

Tabel Pengujian Kuat Tekan Sampel 14 Hari

No.	Semen (%)	*Sludge* (%)	Pengujian Kuat Tekan (kg/cm^2)			Rata-rata	Kekuatan (MPa)
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		
1.	100	0	35.48	37.02	36.71	36.40	3.640
2.	80	20	27.76	28.38	29.30	28.48	2.848
3.	60	40	15.05	13.50	14.43	14.33	1.433
4.	40	60	11.01	11.94	10.38	11.11	1.111
5.	20	80	7.26	6.32	5.07	6.22	0.622
6.	0	100	1.28	0.96	1.92	1.39	0.139

Tabel Pengujian Kuat Tekan Sampel 28 Hari

No.	Semen (%)	*Sludge* (%)	Pengujian Kuat Tekan (kg/cm^2)			Rata-rata	Kekuatan (MPa)
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		
1.	100	0	49.03	46.87	48.41	48.10	4.810
2.	80	20	38.56	37.33	36.71	37.53	3.753
3.	60	40	20.02	18.47	19.71	19.40	1.940
4.	40	60	15.05	15.99	14.74	15.26	1.526
5.	20	80	8.82	8.20	7.57	8.20	0.820
6.	0	100	2.55	1.92	2.23	2.23	0.223

Mengetahui,
Kepala Laboratorium

Mego Purnomo, ST, MT
NIP. 19730618 200501 1 001

Data Mentah

No.	Sampel	Nilai bacaan X		Nilai P (kg)		Kuat Tekan (kg/cm^2)	
		14 Hari	28 Hari	14 Hari	28 Hari	14 Hari	28 Hari
1.	A-1	57	79	886.92	1225.63	35.48	49.03
2.	A-2	59.5	75.5	925.46	1171.81	37.02	46.87
3.	A-3	59	78	917.75	1210.25	36.71	48.41
4.	B-1	44.5	62	693.96	963.99	27.76	38.56
5.	B-2	45.5	60	709.41	933.17	28.38	37.33
6.	B-3	47	59	732.59	917.75	29.30	36.71
7.	C-1	24	32	376.36	500.51	15.05	20.02
8.	C-2	21.5	29.5	337.49	461.75	13.50	18.47
9.	C-3	23	31.5	360.81	492.76	14.43	19.71
10.	D-1	17.5	24	275.21	376.36	11.01	15.05
11.	D-2	19	25.5	298.58	399.66	11.94	15.99
12.	D-3	16.5	23.5	259.62	368.59	10.38	14.74
13.	E-1	11.5	14	181.54	220.61	7.26	8.82
14.	E-2	10	13	158.06	204.99	6.32	8.20
15.	E-3	8	12	126.70	189.36	5.07	7.57
16.	F-1	2	4	32.07	63.75	1.28	2.55
17.	F-2	1.5	3	24.12	47.93	0.96	1.92
18.	F-3	3	3.5	47.93	55.84	1.92	2.23

Rumus :

$y\ (lbf) = 35{,}575.x^{0{,}991}$ dimana, y = pound (force)

x = nilai bacaan pada cbr

1 lbf = 4,448 N

$P = \frac{y\ (N)}{9{,}80665\ m/s^2}$ dimana, P = massa (kg)

y = Gaya (N)

Kuat Tekan = $\frac{P}{A}$ dimana, P = Massa (kg)

A = Luas penampang (cm^2)

Contoh:

Menurut Nilai bacaan skala alat cbr jarum berada pada angka 10. Maka nilai y-nya adalah:

y (lbf) = $35{,}575.x^{0{,}991}$

= $35{,}575.10^{0{,}991}$

= 348,454 lbf kemudian dikonversi ke Newton

Jika, 1 lbf = 4,448 N

348,454 lbf = 1549,999 N

$$P = \frac{y\ (N)}{9{,}80665\ m/s^2}$$

$$= \frac{1549{,}999\ N}{9{,}80665\ m/s^2}$$

= 158,056 kg

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{158{,}056\ kg}{25\ cm^2} = 6{,}322\ kg/cm^2$$