

PEMANFAATAN LIMBAH BESI SPON (PELLET) SEBAGAI PENGANTI AGREGAT HALUS PADA KUAT TEKAN MORTAR

Zulmahdi Darwis* dan Soelarso**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

*zulmahdi_d@yahoo.com

**soelarso_civiluntirta@yahoo.com

ABSTRAK

Mortar merupakan bahan bangunan yang berfungsi untuk merekatkan pada pekerjaan pasangan pondasi, pasangan batu bata ataupun pada pekerjaan dinding. Kebutuhan manusia akan perumahan semakin meningkat dan di sisi lain semakin mahalnya harga bangunan, sementara limbah industri yang begitu besar belum sepenuhnya dapat dimanfaatkan khususnya Limbah besi spons sebagai bahan isian pada mortar semen yang kemudian akan diteliti sifat-sifatnya, yaitu dengan menguji kekuatan tekan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Penelitian ini menggunakan komposisi campuran dengan perbandingan persentase 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% limbah besi spons sebagai pengganti agregat halus. Material yang digunakan semen type 1 dengan merek tiga roda, agregat halus berasal dari daerah Jalupang Rangkas, Limbah Besi Spons (pellet) berasal PT. Krakatau Steel. Sampel yang diuji memiliki bentuk kubus dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm untuk pengujian kuat tekan dengan mengulang pengujian sebanyak 3 kali dan di uji tekan menggunakan alat Compression Testing Machine. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umur 28 hari hasil rata-rata kuat tekan mortar normal sebesar 85,7 Kg/cm² kemudian terjadi kenaikan kekuatan tekan mortar dengan persentase pengganti 20% limbah besi spons menjadi 102,0 Kg/cm², pada persentase pengganti 40% terjadi penurunan sebesar 82,0 Kg/cm², pada persentase pengganti 60 % terjadi penurunan 77,5 Kg/cm², pada persentase pengganti 80% terjadi penurunan 71,8 Kg/cm² dan pada penurunan yang terkecil didapatkan pada persentase pengganti 100% sebesar 65,3 Kg/cm².

Kata kunci: mortar, limbah besi spons (pellet), agregat halus dan kuat tekan mortar.

ABSTRACT

Mortar is a building material that serves to glue the base pair at work, brick masonry walls or on the job. Human need for housing has increased and on the other hand the high prices of the building, while a very large industrial waste is not fully utilized, especially sponge iron waste as filling material in cement mortar, which then investigated its properties, ie by testing the compressive strength at age 3, 7, 14, 21, and 28 days. This study uses the percentage composition of the mixture with a ratio of 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% sponge iron waste as a substitute for cement aggregate used halus. Material type 1 with three wheels brands, fine aggregate comes from local Jalupang Rangkas, sponge Iron Waste (pellets) from PT. Krakatau Steel. The sample tested has the form of a cube with a size of 50 mm x 50 mm x 50 mm for compressive strength test by repeating the test 3 times and the test press using Compression Testing Machine. The results showed that at 28 days the average normal mortar compressive strength of 85,7 kg/cm² and then increases the compressive strength of mortar with replacement percentage of 20% sponge iron waste to 102,0 kg/cm², the percentage replacement of 40% a decrease of 82,0 kg/cm², the percentage replacement of 60% decreased 77,5 kg/cm², the replacement percentage of 80% decline at 71,8 kg/cm² and the smallest decrease was found in 100% replacement percentage of 65,3 kg/cm².

Keywords: mortar, sponge iron waste (pellets), fine agregate and mortar compressive strength.

1. PENDAHULUAN

Mortar mempunyai fungsi yang penting dalam suatu bangunan seperti pada pekerjaan pasangan pondasi, pasangan batu bata ataupun pada pekerjaan dinding. Kebutuhan manusia semakin meningkat dan di sisi lain semakin mahalnya harga bangunan, sementara limbah industri yang begitu besar belum sepenuhnya dapat dimanfaatkan, maka penulis terdorong untuk meneliti masalah pemanfaatan limbah industri baja tersebut, khususnya Limbah besi spons (pellet) sebagai bahan isian pada mortar semen.

Pellet merupakan bijih besi yang berbentuk bulat atau berukuran seperti kelereng. Kandungan unsur didalamnya adalah *hematite* (Fe_2O_3) yang setelah direduksi dengan CO dan H_2 hanya tinggal *ferro* atau besi baja. PT. Krakatau Steel (KS) menghasilkan baja spons sebanyak 640 ton setiap hari dan menghasilkan limbah yang jumlahnya bisa mencapai 96 ton sampah baja setiap hari. Pemanfaatan limbah besi spons (*pellet*) sebagai bahan isian pada mortar diharapkan dapat meningkatkan nilai guna bahan dan sedikit banyak dapat mengatasi dampak negatif limbah industri baja terhadap lingkungan.

Kurangnya pemanfaatan limbah besi spons (*pellet*) yang hanya ditimbun sehingga terjadi penumpukan yang menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan.

Tujuan melakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan pada mortar dengan bahan pengganti limbah besi spons (*pellet*) pada variasi campuran yang telah direncanakan.

Konsentrasi variasi komposisi campuran bahan susun mortar sesuai yang tercantum dalam variabel penelitian yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, Pengujian kuat tekan mortar berumur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari, Semen yang dipakai semen tiga roda kelas I yaitu Tiga Roda, Pasir yang dipakai adalah pasir jalupang berasal dari Rangkas, Limbah yang dipakai adalah limbah besi spons (*pellet*) dari PT. Krakatau Steel Cilegon.

2. STUDI PUSTAKA

Setyawan, Muh Ibnu Budi (2006) meneliti tentang pengaruh penambahan serbuk gergaji kayu jati (*Tectona Grandis L.F*) pada mortar semen ditinjau dari kuat Tekan, kuat tarik dan daya serap air, diperoleh kesimpulan bahwa hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan mortar semen substitusi berat pasir dari 0% hingga 20% serbuk gergaji dari 128,740 kg/cm^2 menjadi 15,279 kg/cm^2 . Nilai kuat tekan mortar semen substitusi berat semen dari 0% hingga 20% serbuk gergaji dari 113,84 kg/cm^2 menjadi 45,070 kg/cm^2 . Nilai kuat tarik mortar semen substitusi berat pasir dari 0% hingga 20% serbuk gergaji dari 71,86 kg/cm^2 menjadi 5,937 kg/cm^2 . Nilai kuat tarik mortar semen substitusi berat semen dari 0% hingga 20% serbuk gergaji dari 78.42 kg/cm^2 menjadi 24,56 kg/cm^2 . Daya serap air mortar semen substitusi berat pasir dari 0% hingga 20% serbuk gergaji dari 9,569 % menjadi 46,481 %. Nilai daya serap air mortar semen substitusi berat semen dari 0% hingga 20% serbuk gergaji dari 11,013 % menjadi 16,015 %.

Andoyo (2006) meneliti tentang pengaruh penggunaan abu terbang (*Fly Ash*) terhadap kuat tekan dan serapan air pada mortar, diperoleh kesimpulan bahwa kuat tekan terjadi pada prosentase abu terbang sebesar 10% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 100,72 kg/cm^2 dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (fc') = 66,69 kg/cm^2 . Kuat tekan terjadi pada prosentase abu terbang sebesar 20% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 93,96 kg/cm^2 dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (fc') = 62,16 kg/cm^2 . Kuat tekan terjadi pada prosentase abu terbang sebesar 30% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 83,41 kg/cm^2 dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (fc') = 55,17 kg/cm^2 . Kuat tekan terjadi pada prosentase abu terbang sebesar 40% dengan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 70,12 kg/cm^2 dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (fc') = 46,42 kg/cm^2 . Kuat tekan terjadi pada prosentase abu terbang 0% didapatkan kuat tekan pada umur 56 hari sebesar 59,89 kg/cm^2 dan proyeksi kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari (fc') = 42,34 kg/cm^2 . Serapan air pada mortar dengan abu terbang 0% adalah sebesar 12,912%, pada prosentase 10% sebesar 12,119%, pada prosentase 20% sebesar 11,868%, pada prosentase 30% sebesar 9,31% dan pada prosentase abu terbang sebesar 40% nilai serapan airnya adalah 10,886%.

1. Mortar

Mortar adalah campuran yang terdiri dari agregat halus, bahan pengikat dan air dengan cara diaduk sampai homogen. Mortar sering digunakan sebagai bahan plesteran, pekerjaan pasangan dan banyak pekerjaan lainnya. Bahan perekat yang digunakan dapat bermacam-macam, yaitu tanah liat, kapur, semen merah (bata merah yang dihaluskan) maupun semen portland (Tjokrodinuljo, K., 1996).

2. Bahan Penyusun Mortar

a) Portland Cement (PC)

Menurut SNI 15-2049-1994 (Supriyanti, 2004) semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland yang terutama terdiri dari kalsium silikat

yang bersifat hidrolis, digiling bersama-sama dengan bahan tambah berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat menjadi massa yang kompak dan padat.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya semen portland dibagi 5 jenis (Supriyanti, 2004), yaitu :

1. Jenis I (*Ordinat Portland Cement*)
Semen portland untuk penggunaan umum, yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. b. Jenis II (*Moderate Heat Hardening Portland Cement*)
Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III (*High Aertly Strength Hardening Portland Cement*)
Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV (*Low Heat of Hardening Portland Cement*)
Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V (*Sulfur Resistence Portland Cement*)
Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

b) Agregat Halus (Pasir)

Menurut **SNI 03-6820-2002 (2002)**, agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar 4,76 mm.

Menurut (SK SNI – S – 04 – 1989 - F) disebutkan mengenai persyaratan agregat halus yang baik adalah sebagai berikut :

- 1) Agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan $< 2,2$.
- 2) Sifat kekal apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut:
 - 1) Jika dipakai natrium sulfat bagian hancur maksimal 12%.
 - 2) Jika dipakai magnesium sulfat bagian halus maksimal 10%.
- 3) Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dan apabila pasir mengandung lumpur lebih dari 5% maka pasir harus dicuci.
- 4) Pasir tidak boleh mengadung bahan-bahan organik terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrans–Harder dengan larutan jenuh NaOH 3%.
- 5) Susunan besar butir pasir mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 sampai 3,8 dan terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam.
- 6) Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
- 7) Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemerintahan bahan bangunan yang diakui.
- 8) Agregat halus yang digunakan untuk plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan pasir pasangan.

c) Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen pada proses hidrasi semen, dan juga berfungsi sebagai pelumas agar adukan dapat dikerjakan dan dipadatkan dengan baik. Air tersebut harus memenuhi syarat menurut **SKSNI S-04-1989-F**, persyaratan air sebagai bahan bangunan harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- 1) Tidak mengandung lumpur atau benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
- 2) Tidak mengandung garam-garaman yang merusak beton (asam dan zat organik) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan khlorida (Cl) tidak lebih dari 500 ppm dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1.000 ppm sebagai SO₃.
- 3) Air harus bersih.
- 4) Derajat keasaman (pH) normal ± 7 .
- 5) Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- 6) Jika dibanding dengan kekuatan tekan adukan beton yang memakai air suling, penurunan kekuatan adukan yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
- 7) Semua air yang mutunya meragukan dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaian.

- 8) Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat di atas, air tidak boleh mengandung khlorida lebih dari 50 ppm.

d) Limbah Besi Spons (*Pellet*)

Pellet merupakan bijih besi yang berbentuk bulat atau berukuran seperti kelereng. Kandungan unsur didalamnya adalah hermatite (Fe_2O_3) yang setelah direduksi dengan CO dan H_2 hanya tinggal ferro atau besi saja. *Pellet* yang berkadar metalisasi tinggi adalah *pellet* yang berkadar sulfur dan fosfor serta tidak dapat rapuh. Tipikal komponen dari limbah besi spons adalah *hematite*, *magnetite*, dan *gangue*. *Gangue* adalah material inert yang tidak ikut dalam reaksi reduksi dan komponen utamanya CaO, MgO, SiO_2 dan Al_2O_3 . Disamping itu limbah besi spons juga mengandung *phospore* (*P*), *sulfur* (*S*), *Sodium* (*Na*), *Pottasium* (*K*), dan senyawa-senyawa lain dalam jumlah kecil.

Di udara besi mudah mengalami korosi, yaitu proses perusakan (keropos) pada permukaan besi yang disebabkan reaksi dengan oksigen membentuk oksida besi, yang dalam kehidupan sehari-hari dikenal sebagai karat besi. Korosi besi berlangsung sangat cepat pada kondisi lembab dan adanya garam.

Pellet merupakan bijih besi yang berbentuk bulat atau berukuran seperti kelereng. Kandungan unsur didalamnya adalah *hermatite* (Fe_2O_3) yang setelah direduksi dengan pembakaran gas CO dan H_2 pada temperature dibawah titik lebur besi sehingga akan didapatkan sifat metalisasi tinggi hanya tinggal ferro atau besi saja. *Pellet* yang berkadar metalisasi tinggi adalah *pellet* yang berkadar sulfur dan fosfor serta tidak dapat rapuh.

3. Jenis dan Kekuatan Mortar

Menurut **ASTM C 270** standar mortar berdasarkan kekuatannya dibedakan sebagai berikut:

- a. Mortar tipe M
Mortar tipe M adalah adukan dengan kuat tekan yang tinggi, dipakai untuk dinding bata bertulang, dinding dekat tanah, pasangan pondasi, adukan pasangan pipa air kotor, adukan dinding penahan dan adukan untuk jalan. Kuat tekan minimumnya adalah 175 kg/cm^2 .
- b. Mortar tipe N
Mortar tipe N adalah adukan kuat tekan sedang, dipakai bila tidak disyaratkan menggunakan tipe M, tetapi diperlukan daya rekat tinggi serta adanya gaya samping. Kuat tekan minimumnya adalah 124 kg/cm^2 .
- c. Mortar tipe S
Mortar tipe S adalah adukan dengan kuat tekan sedang, dipakai untuk pasangan terbuka diatas tanah. Kuat tekan minimumnya adalah $52,5 \text{ kg/cm}^2$.
- d. Mortar tipe O
Mortar tipe O adalah adukan dengan kuat tekan rendah, dipakai untuk konstruksi dinding yang tidak menahan beban yang lebih dari 7 kg/cm^2 dan gangguan cuaca tidak berat. Kuat tekan minimumnya adalah $24,5 \text{ kg/cm}^2$.
- e. Mortar tipe K
Mortar tipe K adalah adukan dengan kuat tekan rendah, dipakai untuk pasangan dinding terlindung dan tidak menahan beban, serta tidak ada persyaratan mengenai kekuatan. Kuat tekan minimumnya adalah $5,25 \text{ kg/cm}^2$.

3. METODOLOGI PENELITIAN

1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah Semen tipe I merek Tiga Roda, Pasir yang digunakan adalah pasir jalupang Rangkas, air dan limbah besi spons (*pellet*) yang berasal dari PT. Krakatau Steel Cilegon.

2. Jumlah Benda Uji Mortar

Benda uji Mortar dibuat berdasarkan pada variasi persentase kadar limbah besi spons (*pellet*) yaitu : 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%. Jumlah benda uji mortar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah benda uji

| No | Umur Benda Uji (Hari) | Variasi Persentase Limbah Spor Terhadap Mortar (%) | | | | | | Total |
|--------|-----------------------|--|----|----|----|----|-----|-------|
| | | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | |
| 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18 |
| 2 | 7 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18 |
| 3 | 14 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18 |
| 4 | 21 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18 |
| 5 | 28 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 18 |
| Jumlah | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 90 |

3. Alat Penelitian

a) Alat pengujian pendahuluan

1). Pemeriksaan berat jenis pasir.

Alat yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, piknometer dengan kapasitas 500 ml, oven, cetakan kerucut abrams, tongkat pemadat untuk cetakan kerucut abrams, saringan no.4, cawan, dan pompa hampa udara.

2). Pemeriksaan Gradasi Pasir

Alat yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, satu set saringan dengan ukuran : no.3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100, dan ditambah satu buah pan, oven, mesin pengguncang (*sieve shaker*), alat pemisah contoh (*quatering*), kuas, sendok, dan sikat.

3). Pemeriksaan kadar lumpur pasir

Alat yang digunakan adalah oven, timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, sendok aduk, ayakan no. 200, dan sikat halus.

4). Pemeriksaan kadar air Pasir

Alat yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, oven.

5) Berat isi pasir

Alat yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, literan/container, dan sendok aduk.

b) Berat isi semen

Alat yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, literan/container, dan sendok aduk.

c) Limbah Besi Spons (*pellet*)

Limbah besi spons (*pellet*) yang dipakai sebagai bahan tambahan lolos ayakan No. 200.

d) Alat pembuatan benda uji mortar

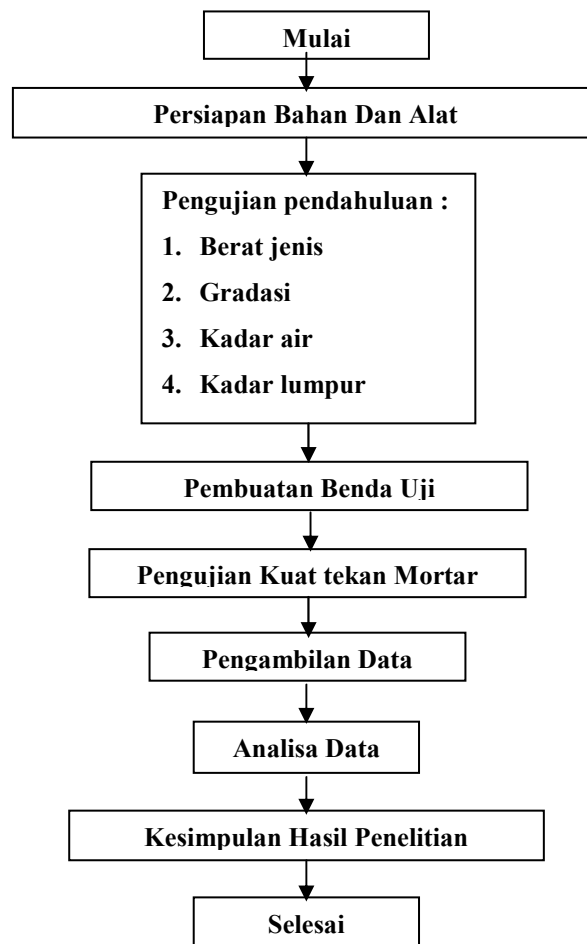
Alat yang digunakan adalah mesin pengaduk standar ASTM C 305, meja leleh standar ASTM C – 230, cetakan benda uji berbentuk kubus, timbangan, gelas ukur, stopwatch, alat pemadat, sendok perata, dan mistar dari baja.

e) Alat pengujian kuat tekan mortar

Alat yang digunakan adalah alat uji kuat tekan (*Compression Testing Machine*)

4. Pelaksanaan Penelitian

Seluruh proses pembuatan benda uji dilakukan dilaboratorium Pengujian Bahan di Dinas Pekerjaan Umum (PU) Serang, provinsi Banten. Bagan alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Pendahuluan

a) Pengujian Kadar Air

Hasil pengujian didapatkan nilai kadar air agregat halus (pasir) adalah 5,59 %. Nilai persyaratan dalam SNI untuk kadar air agregat halus adalah lebih kecil sama dengan 1%. Berdasarkan nilai persyaratan dalam SNI, kadar air yang didapat pada pengujian pasir tidak memenuhi syarat. Hal ini disebabkan pasir terkena hujan dan sinar matahari langsung (di tempatkan diluar ruangan).

b) Pengujian Analisa Saringan (Gradasi)

Data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian analisa saringan (gradasi)

| No Saringan | Berat tertahan | Jumlah berat tertahan | Kumulatif | | Spesifikasi |
|---------------|----------------|-----------------------|------------------|---------|-------------|
| | | | % Berat tertahan | % Lolos | |
| $\frac{3}{4}$ | - | 0 | 0 | 100 | - |
| $\frac{3}{8}$ | - | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 4 | 3,3 | 3,3 | 0,275 | 99,725 | 90-100 |
| 8 | 33,7 | 37 | 3,088 | 96,912 | 75-100 |
| 16 | 452,1 | 489,1 | 40,816 | 59,184 | 55-90 |
| 30 | 260,4 | 749,5 | 62,547 | 37,453 | 35-59 |
| 50 | 160,6 | 910,1 | 75,949 | 24,051 | 8-30 |
| 100 | 256,5 | 1166 | 97,305 | 2,695 | 0-10 |
| Pan | 31,7 | 1198,3 | 100 | 0 | - |

Hasil pengujian didapat mengetahui pembagian gradasi agregat halus, modulus kehalusan agregat halus $W = 2,8$, ini berarti pasir tersebut berada dalam interval standar ASTM C 33 yaitu antara 2,3 – 3,1

c) Pengujian Kadar Lumpur

Hasil pengujian didapatkan nilai kadar lumpur pasir adalah 10,9%. Persyaratan dalam SNI untuk kadar lumpur pasir tidak boleh melebihi 5%. Hal ini menunjukkan penelitian tidak memenuhi syarat (agregat dicuci terlebih dahulu sampai bersih sebelum dipakai).

d) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil pengujian didapatkan nilai *Bulk Specific Gravity* SSD (Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh) yaitu $2,59 \text{ kg/m}^3$, maka nilai percobaan yang telah dilakukan sesuai dengan persyaratan dalam SNI yaitu antara 2-2,7. Persentase penyerapan pasir adalah 1,18% sesuai dengan persyaratan dalam SNI berkisar antara 1-3%.

e) Pengujian Berat Isi pasir

Berat volume merupakan perbandingan antara berat per satuan volume. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh berat isi pasir $1,45 \text{ gr/cc}$. Besarnya pemadatan akan mempengaruhi perubahan berat volume agregat karena dengan pemadatan berat volume agregat akan semakin besar.

f) Berat Isi Semen

Data hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 3. Berat volume merupakan perbandingan antara berat per satuan volume. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh berat isi semen $1,25 \text{ gr/cc}$. Besarnya pemadatan akan mempengaruhi perubahan berat volume agregat karena dengan pemadatan berat volume agregat akan semakin besar.

2. Hasil Uji Meja Leleh

Data uji meja leleh didapat :

Tabel 3. Hasil pengujian meja leleh

| Kode Campuran | Resapan Air (gr/lt) | | | Rata-rata Resapan Air(gr/lt) | Persentase |
|-------------------|---------------------|-----|-----|------------------------------|------------|
| | I | II | III | | |
| 0% Limbah Spons | 242 | 242 | 242 | 242 | 0% |
| 20% Limbah Spons | 282 | 282 | 282 | 282 | +16,2% |
| 40% Limbah Spons | 302 | 302 | 302 | 302 | +24,8% |
| 60% Limbah Spons | 322 | 322 | 322 | 322 | +33,1% |
| 80% Limbah Spons | 342 | 342 | 342 | 342 | +41,3% |
| 100% Limbah Spons | 362 | 362 | 362 | 362 | +49,6% |

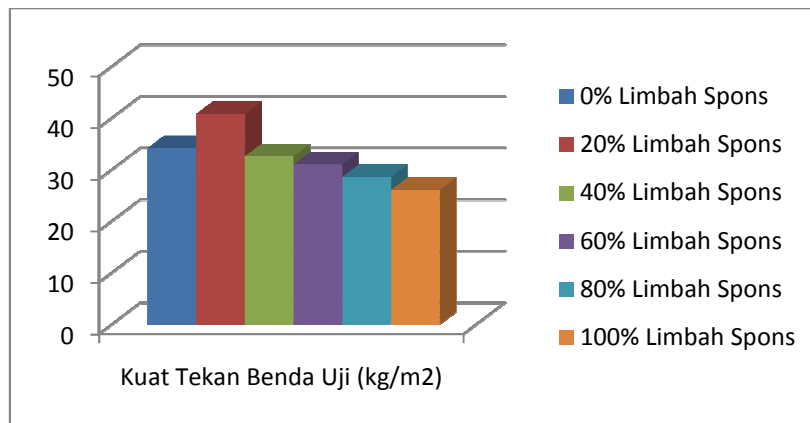
3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Tabel 4. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 3 hari

| Kode Campuran | Kuat Tekan Benda Uji (kg/m^2) | | | Rata-rata kuat tekan (kg/m^2) | Persentase |
|-------------------|--|------|------|--|------------|
| | I | II | III | | |
| 0% Limbah Spons | 32,6 | 33,4 | 36,7 | 34,2 | 0% |
| 20% Limbah Spons | 39,2 | 40,8 | 42,4 | 40,8 | +19,3% |
| 40% Limbah Spons | 31,8 | 31,8 | 34,3 | 32,6 | -4,7% |
| 60% Limbah Spons | 29,4 | 31,0 | 32,6 | 31,0 | -9,4% |
| 80% Limbah Spons | 26,9 | 28,6 | 30,2 | 28,6 | -16,4% |
| 100% Limbah Spons | 23,7 | 26,1 | 28,6 | 26,1 | -23,7% |

Ket :

- + Menunjukkan kenaikan kuat tekan
- Menunjukkan penurunan kuat tekan



Gambar 2. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 3 hari.

Dilihat dari tabel dan grafik di atas pada umur 3 hari hasil rata-rata kuat tekan mortar normal sebesar 34,2 Kg/cm² kemudian terjadi kenaikan kekuatan mortar dengan pengganti 20% limbah besi spons menjadi 40,8 Kg/cm² pada penggantian 40% terjadi penurunan sebesar 32,6 Kg/cm², pada penggantian 60 % terjadi penurunan 31 Kg/cm², penggantian 80% terjadi penurunan 28,6 Kg/cm² dan penurunan yang terkecil didapatkan dari penggantian 100% sebesar 26,1 Kg/cm².

Persentase kenaikan kuat tekan mortar dengan pengganti 20% adalah 19,3% sedangkan dengan pengganti 40% penurunannya adalah 4,7%, pengganti 60% persentase penurunannya adalah 9,4%, pengganti 80% persentase penurunannya adalah 16,4% dan terakhir persentase penurunan dari pengganti 100% adalah 23,7%.

Tabel 5. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 7 hari

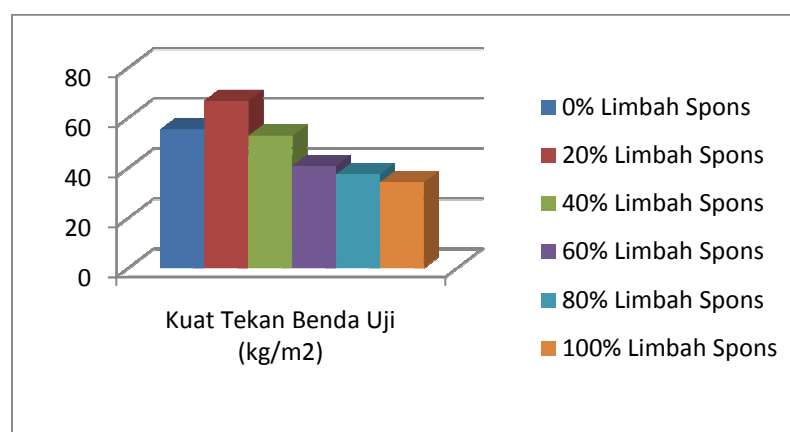
| Kode Campuran | Kuat Tekan Benda Uji (kg/m ²) | | | Rata-rata kuat tekan (kg/m ²) | Persentase |
|-------------------|---|------|------|---|------------|
| | I | II | III | | |
| 0% Limbah Spons | 53,0 | 54,7 | 58,7 | 55,5 | 0% |
| 20% Limbah Spons | 63,6 | 66,9 | 70,2 | 66,9 | +20,5% |
| 40% Limbah Spons | 51,4 | 53,0 | 54,7 | 53,0 | -4,5% |
| 60% Limbah Spons | 39,2 | 40,8 | 42,4 | 40,8 | -26,5% |
| 80% Limbah Spons | 35,1 | 36,7 | 40,8 | 37,5 | -32,4% |
| 100% Limbah Spons | 31,0 | 32,6 | 39,2 | 34,3 | -38,2% |

Ket :

+ Menunjukkan kenaikan kuat tekan

- Menunjukkan penurunan kuat tekan

-



Gambar 3. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 7 hari.

Dari tabel dan grafik di atas pada umur 7 hari hasil rata-rata kuat tekan mortar normal sebesar 55,5 Kg/cm² kemudian terjadi kenaikan kekuatan mortar dengan pengganti 20% limbah besi spons menjadi 66,9 Kg/cm² pada penggantian 40% terjadi penurunan sebesar 53,0 Kg/cm², pada pengganti 60 % terjadi penurunan 40,8 Kg/cm², penggantian 80% terjadi penurunan 37,5 Kg/cm² dan penurunan yang terkecil didapatkan dari penggantian 100% sebesar 34,3 Kg/cm².

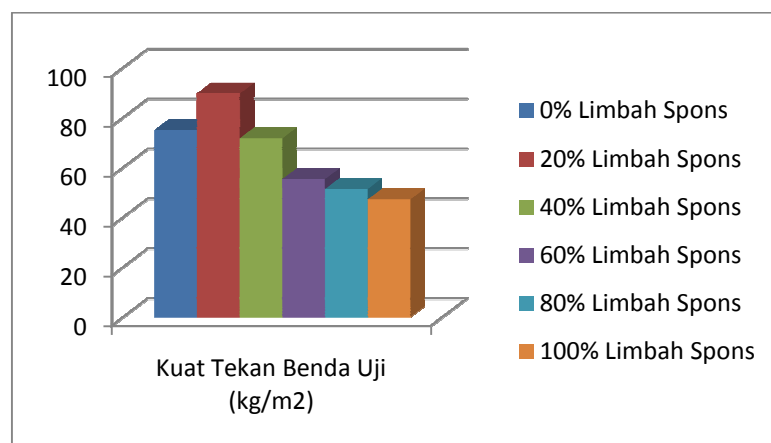
Persentase kenaikan kuat tekan mortar dengan pengganti 20% adalah 20,5% sedangkan dengan pengganti 40% penurunannya adalah 4,5%, pengganti 60% persentase penurunannya adalah 26,5%, pengganti 80% persentase penurunannya adalah 32,4% dan terakhir persentase penurunan dari pengganti 100% adalah 38,2%.

Tabel 6. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 14 hari

| Kode Campuran | Kuat Tekan Benda Uji (kg/m ²) | | | Rata-rata kuat tekan (kg/m ²) | Persentase |
|-------------------|---|------|------|---|------------|
| | I | II | III | | |
| 0% Limbah Spons | 73,4 | 75,1 | 76,7 | 75,1 | 0% |
| 20% Limbah Spons | 86,5 | 91,4 | 91,4 | 89,8 | +19,6% |
| 40% Limbah Spons | 70,3 | 71,8 | 73,4 | 71,8 | -4,4% |
| 60% Limbah Spons | 53,0 | 56,3 | 57,1 | 55,5 | -26,1% |
| 80% Limbah Spons | 49,0 | 50,6 | 54,7 | 51,4 | -31,6% |
| 100% Limbah Spons | 44,9 | 47,3 | 49,8 | 47,3 | -37,0% |

Ket :

- + Menunjukkan kenaikan kuat tekan
- Menunjukkan penurunan kuat tekan



Gambar 4. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 14 hari

Dari tabel dan grafik di atas pada umur 14 hari hasil rata-rata kuat tekan mortar normal sebesar 75,1 Kg/cm² kemudian terjadi kenaikan kekuatan mortar dengan pengganti 20% limbah besi spons menjadi 89,8 Kg/cm² pada penggantian 40% terjadi penurunan sebesar 71,8 Kg/cm², pada pengganti 60 % terjadi penurunan 55,5 Kg/cm², penggantian 80% terjadi penurunan 51,4 Kg/cm² dan penurunan yang terkecil didapatkan dari penggantian 100% sebesar 47,3 Kg/cm².

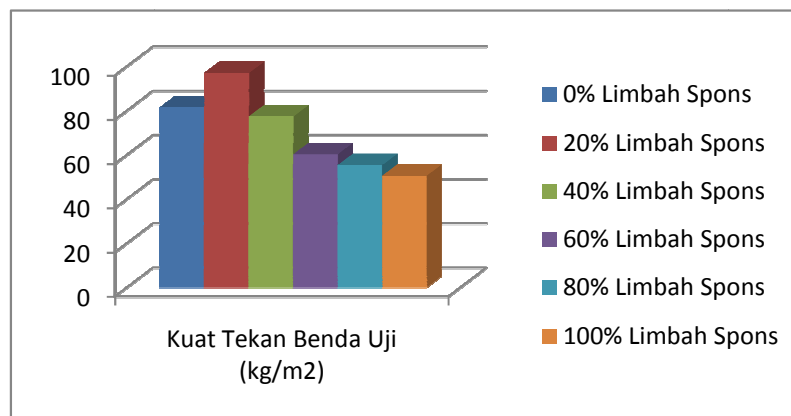
Persentase kenaikan kuat tekan mortar dengan pengganti 20% adalah 19,6% sedangkan dengan pengganti 40% penurunannya adalah 4,4%, pengganti 60% persentase penurunannya adalah 26,1%, pengganti 80% persentase penurunannya adalah 31,6% dan terakhir persentase penurunan dari pengganti 100% adalah 37,0%.

Tabel 7. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 21 hari

| Kode Campuran | Kuat Tekan Benda Uji (kg/m ²) | | | Rata-rata kuat tekan (kg/m ²) | Persentase |
|-------------------|---|------|------|---|------------|
| | I | II | III | | |
| 0% Limbah Spons | 79,1 | 81,6 | 84,0 | 81,6 | 0% |
| 20% Limbah Spons | 93,8 | 97,9 | 99,5 | 97,1 | +19,0% |
| 40% Limbah Spons | 75,9 | 77,5 | 79,2 | 77,5 | -5,0% |
| 60% Limbah Spons | 58,7 | 58,7 | 63,6 | 60,3 | -26,1% |
| 80% Limbah Spons | 53,0 | 55,5 | 57,9 | 55,5 | -32,0% |
| 100% Limbah Spons | 47,3 | 52,2 | 52,2 | 50,6 | -38,0% |

Ket :

- + Menunjukkan kenaikan kuat tekan
- Menunjukkan penurunan kuat tekan



Gambar 5 Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 21 hari.

Dari tabel dan grafik di atas pada umur 21 hari hasil rata-rata kuat tekan mortar normal sebesar 81,6 Kg/cm² kemudian terjadi kenaikan kekuatan mortar dengan pengganti 20% limbah besi spons menjadi 97,1 Kg/cm² pada penggantian 40% terjadi penurunan sebesar 77,5 Kg/cm², pada pengganti 60 % terjadi penurunan 60,3 Kg/cm², penggantian 80% terjadi penurunan 55,5 Kg/cm² dan penurunan yang terkecil didapatkan dari penggantian 100% sebesar 50,6 Kg/cm².

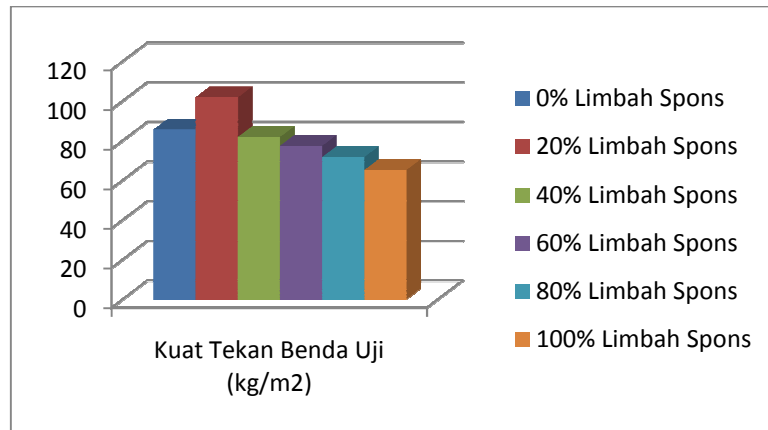
Persentase kenaikan kuat tekan mortar dengan pengganti 20% adalah 19,0% sedangkan dengan pengganti 40% penurunannya adalah 5,0%, pengganti 60% persentase penurunannya adalah 26,1%, pengganti 80% persentase penurunannya adalah 32,0% dan terakhir persentase penurunan dari pengganti 100% adalah 38,0%.

Tabel 8. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 28 hari

| Kode Campuran | Kuat Tekan Benda Uji (kg/m ²) | | | Rata-rata kuat tekan (kg/m ²) | Persentase |
|-------------------|---|-------|-------|---|------------|
| | I | II | III | | |
| 0% Limbah Spons | 84,9 | 85,7 | 86,5 | 85,7 | 0% |
| 20% Limbah Spons | 101,2 | 102,0 | 102,8 | 102,0 | +19,0% |
| 40% Limbah Spons | 81,0 | 81,6 | 83,2 | 82,0 | -4,3% |
| 60% Limbah Spons | 73,4 | 78,3 | 80,8 | 77,5 | -9,6% |
| 80% Limbah Spons | 68,5 | 71,8 | 75,1 | 71,8 | -16,2% |
| 100% Limbah Spons | 62,8 | 65,3 | 67,7 | 65,3 | -23,8% |

Ket :

- + Menunjukkan kenaikan kuat tekan
- Menunjukkan penurunan kuat tekan



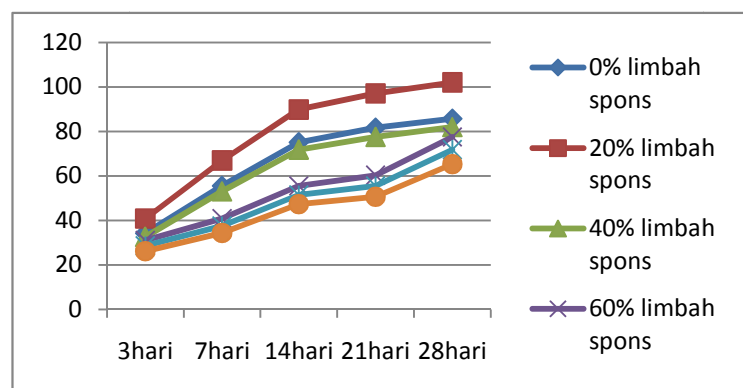
Gambar 6. Hasil perbandingan kuat tekan mortar normal dengan kuat tekan mortar dengan bahan tambah pada umur 28 hari

Dari tabel dan grafik di atas pada umur 28 hari hasil rata-rata kuat tekan mortar normal sebesar 85,7 Kg/cm² kemudian terjadi kenaikan kekuatan mortar dengan penggantian 20% limbah besi spons menjadi 102,0 Kg/cm² pada penggantian 40% terjadi penurunan sebesar 82,0 Kg/cm², pada penggantian 60 % terjadi penurunan 77,5 Kg/cm², penggantian 80% terjadi penurunan 71,8 Kg/cm² dan penurunan yang terkecil didapatkan dari penggantian 100% sebesar 65,3 Kg/cm².

Persentase kenaikan kuat tekan mortar dengan penggantian 20% adalah 19,0% sedangkan dengan penggantian 40% penurunannya adalah 4,3%, penggantian 60% persentase penurunannya adalah 9,6%, penggantian 80% persentase penurunannya adalah 16,2% dan terakhir persentase penurunan dari penggantian 100% adalah 23,8%.

Tabel 9. Perkembangan Kuat Tekan Mortar

| Kode Campuran | Kuat tekan Mortar Rata-rata (Kg/cm ²) | | | | |
|-------------------|---|-------|--------|--------|--------|
| | 3hari | 7hari | 14hari | 21hari | 28hari |
| 0% limbah spons | 34,2 | 55,5 | 75,1 | 81,6 | 85,7 |
| 20% limbah spons | 40,8 | 66,9 | 89,8 | 97,1 | 102 |
| 40% limbah spons | 32,6 | 53,0 | 71,8 | 77,5 | 81,9 |
| 60% limbah spons | 31,0 | 40,8 | 55,5 | 60,3 | 77,5 |
| 80% limbah spons | 28,6 | 37,5 | 51,4 | 55,5 | 71,8 |
| 100% limbah spons | 26,1 | 34,3 | 47,3 | 50,6 | 65,3 |



Gambar 7. Grafik Perkembangan kuat tekan mortar

Dari Tabel 9 dan Gambar 7. Terlihat bahwa penggunaan limbah besi spons sebagai pengganti agregat halus pada campuran mortar akan menyebabkan kenaikan kuat tekan mortar pada persentase 20% yaitu kuat tekan mortar maksimum pada umur 28 hari senilai 102 kg/cm² dari kekuatan tekan mortar normal sebesar 85,7 kg/cm², dan mengalami penurunan kuat tekan pada persentase 40% sebesar 81,9 kg/cm², persentase 60% sebesar 77,5 kg/cm², persentase 80 % sebesar 71,8kg/cm², dan persentase 100 % sebesar 65,3 kg/cm² pada umur 28 hari.

5. SIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapat simpulan:

- 1) Peningkatan kuat tekan mortar yang tertinggi terjadi pada penambahan 20% limbah besi spons (*pellet*) dengan kuat tekan mortar sebesar 102 kg/cm².
- 2) Pada penambahan 20% terjadi kenaikan kuat tekan, karena limbah besi dalam bereaksi dengan air, semen akan membebaskan sebagian kapurnya (CaO) sehingga apabila dipakai sebagai bahan mortar, kapur akan meninggalkan rongga udara (pori-pori) yang halus, untuk mengurangi pembebasan kapur perlu ditambah SiO₂ (*silica*), AL₂O₃ (*pozolan*) sehingga bereaksi dengan kapur bebas membentuk perekat (*tebermonite*), karena limbah besi memiliki sedikit SiO₂ (*silica*) sehingga semakin banyak limbah besi spons yang digunakan semakin kecil kuat tekannya
- 3) Pada uji meja leleh didapat bahwa semakin banyaknya penggunaan limbah besi spons (*pellet*) semakin banyak juga air yang digunakan karena didapat pada saat pengujian meja leleh, sehingga didapat campuran mortar yang baik.
- 4) Peningkatan sudah terjadi pada umur 3 hari pada penambahan 20% limbah besi spons (*pellet*).

2. Saran

Dari hasil penelitian didapat saran:

- 1) Agar untuk peneliti selanjutnya dapat memanfaatkan limbah-limbah industri/pabrik baja lainnya agar berguna bagi inovasi bahan bangunan baik untuk pencampuran beton maupun mortar atau lainnya.
- 2) Agar untuk peneliti selanjutnya dapat melakukan pengujian resapan air.
- 3) Peneliti dapat melanjutkan penelitian dengan persentase antara 0% - 20% agar didapat kuat tekan yang optimum.
- 4) Lakukan penelitian yang berkaitan dengan karakteristik limbah besi spons (*pellet*).
- 5) Penelitian dengan materi pemanfaatan limbah pabrik, perlu dikaji lebih mendalam tentang aspek ekonomi dengan kemudahan mendapatkan material.

DAFTAR PUSTAKA

- Andoyo. 2006. *Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air pada Mortar*. Laporan Penelitian. Semarang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Arif, Moch. 2006. *Pengujian Kuat Tekan Dan Serapan Air Pada Roster Dengan Bahan Ikat Abu Layang Dan Semen Portland*. Laporan Penelitian. Semarang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Balitbang. Kimpraswil. 2002. *Metode, spesifikasi dan tata cara bagian 2 (batuan, sedimen, agregat)*. Jakarta Selatan.
- Balitbang. Kimpraswil. 2002. *Metode, spesifikasi dan tata cara bagian 3 (beton, semen, perkerasan beton semen)*. Jakarta Selatan.
- Joko, Prakoso. 2006. *Pengaruh Penambahan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan Dan Serapan Air Pada Bata Beton Berlubang*. Laporan Penelitian. Semarang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

- Mustain. 2006. *Uji Kuat Tekan dan Serapan Air pada Bata beton berlubang dengan Bahan Ikat Kapur dan Abu Layang*. Laporan Penelitian. Semarang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Setyawan, Muh Ibnu Budi. 2006. *Pengaruh Penambahan Serbuk Gergaji Kayu Jati (Tectona Grandis L.F) pada Mortar Semen Ditinjau dari Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Daya Serap Air*. Laporan Penelitian. Semarang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- SK SNI M111 – 1990 – 03. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Jakarta.
- Taufik. 2005. *Pengaruh Penambahan Tumbukan Batu Bata Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Aus Mortar Sebagai Bahan Dasar Paving Block*. Laporan Penelitian. Semarang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Tjokrodimuljo, K. 2004. *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Triharyanto, Y Teguh dan Fx Rigar Widi Sulistiawan. 2009. *Proses Produksi Dan Perawatan Pabrik Besi Spons PT. Krakatau Steel Cilegon*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Wibowo, M. Tri. 2007. *Pengaruh Penambahan Trass Muria Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Serapan Air pada Mortar*. Laporan Penelitian. Semarang : Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.