

## PEMANFAATAN LIMBAH DEBU PELEBURAN BIJIH BESI (DEBU SPONS) SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN PADA MORTAR

**Amalia dan Broto AB**

*Jurusan Teknik Sipil*

*Politeknik Negeri Jakarta Kampus UI Depok 16425*

*Email : [amaliaiva@yahoo.com](mailto:amaliaiva@yahoo.com)*

### ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk meneliti sifat-sifat mortar yang menggunakan limbah debu spons sebagai pengganti semen. Adukan dibuat dengan komposisi 1 PC : 3 pasir dengan 11 variasi perlakuan, yaitu jumlah debu spons yang mengganti semen dengan variasi jumlah debu 0% sampai 50% dari berat semen dengan interval 5%.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) Untuk membuat adukan yang mempunyai workability yang baik dan plastis, adukan yang menggunakan debu spons sebagai pengganti semen 5 % sampai 50 % membutuhkan jumlah air sebesar 67 % - 70 % dari berat semen. Penggunaan limbah debu spons sebagai pengganti semen sebesar 5 % sampai dengan 50 % membuat adukan lebih plastis dan mempunyai workability yang lebih baik dibandingkan dengan adukan tanpa limbah. (2) Berat isi adukan berkisar antara  $2,217 \text{ gr/cm}^3 - 2,353 \text{ gr/cm}^3$ . (3) Adukan yang menggunakan debu spons mempunyai kekekalan bentuk yang lebih baik dibandingkan dengan adukan tanpa debu. (4) Adukan dengan jumlah debu spons yang menggantikan semen sebesar 5 % sampai 50 %, menghasilkan kuat tekan yang memenuhi standar ASTM. Kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh adukan dengan substitusi debu spons sebesar 5 %. (5) Kuat lentur adukan cenderung turun seiring dengan meningkatnya jumlah debu spons yang menggantikan sebagian semen. (5) Debu spons dapat digunakan sebagai pengganti semen pada adukan sampai dengan 50 %. Penggunaan jumlah debu spons yang menggantikan fungsi semen pada adukan tergantung dari tujuan penggunaan adukan tersebut.*

**Kata kunci :** *adukan, limbah debu spons*

### PENDAHULUAN

Dewasa ini kebutuhan bahan bangunan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan perumahan. Data dari BPS menunjukkan bahwa kebutuhan rumah di Indonesia mencapai 800.000 sampai 900.000 unit rumah pertahun. Kebutuhan perumahan dan sektor industri konstruksi yang sedemikian besar membutuhkan ketersediaan jumlah semen yang juga besar. Di sisi lain, industri semen merupakan salah satu industri yang menghasilkan karbondioksida cukup

besar yang menyebabkan pemanasan global. Dalam satu ton produksi semen, akan dihasilkan  $\pm$  satu ton karbondioksida ke udara. Menurut International Energy Authority: World Energy Outlook pada tahun 1995 produksi semen menyumbang 7% dari keseluruhan karbondioksida yang dihasilkan berbagai sumber. Selain menyebabkan pemanasan global, ketersediaan bahan baku semen di alam jumlahnya juga semakin berkurang sehingga perlu dilakukan pengkajian untuk mencari material baru yang bersifat *renewable*. Salah satu cara

untuk mengurangi emisi karbondioksida adalah mengurangi penggunaan jumlah semen dan digantikan bahan mineral lain pada mortar tanpa mengurangi kualitas bahkan memperbaiki kinerja mortar itu sendiri. Salah satu bahan mineral yang dapat digunakan untuk menggantikan sebagian semen pada mortar adalah limbah debu peleburan bijih besi yang biasa disebut dengan debu spons.

Debu spons merupakan limbah debu yang berasal dari proses peleburan bijih besi PT. Krakatau Steel. Dalam proses pengolahan bijih besi, bahan baku yang berupa bijih besi ditambah dengan batu kapur diolah di dapur tinggi dengan output berupa besi spons. Didalam proses tersebut selain menghasilkan besi spons juga menghasilkan debu spons. Debu spons yang berterbangan ini ditampung di tempat pembuangan limbah. Jumlah debu yang dibuang cukup besar yaitu 5 % dari total bahan baku. Saat ini, jumlah produksi baja PT. Krakatau Steel adalah 2,5 juta ton per tahun sehingga jumlah debu yang dihasilkan pertahun  $\pm$  125 ton. Sampai saat ini, debu ini belum dimanfaatkan secara optimal dan dibuang begitu saja. Jumlah limbah yang semakin banyak akan berdampak buruk bagi kesehatan terutama pernafasan dan membuat permasalahan tersendiri bagi perusahaan dalam pengelolaannya.

Dari hasil uji laboratorium debu spons mempunyai komposisi kimia yaitu :  $\text{CaO} = 31,20\%$ ,  $\text{SiO}_2 = 5,83\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5,71\%$ ,  $\text{FeO} = 50,98\%$  dan  $\text{MgO} = 5,20\%$ , berat isi =  $1898 \text{ kg/m}^3$  dengan tingkat kehalusan 92,24 % lolos ayakan 75 mesh. Debu spons memiliki komposisi kimia mirip semen, sehingga diharapkan limbah debu ini dapat menggantikan sebagian semen pada mortar. Penggunaan debu spons sebagai bahan pengganti sebagian

semen pada mortar akan dapat mengurangi pencemaran lingkungan serta dapat membantu mengatasi masalah kekurangan energi pada masa yang akan datang.

### **Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Meneliti sifat-sifat mortar yang menggunakan limbah debu spons sebagai pengganti semen.
2. Mencari komposisi optimum limbah debu spons yang dapat menggantikan semen pada mortar.
3. Memanfaatkan limbah debu spons sebagai bahan pengganti sebagian semen pada mortar.

### **METODE PENELITIAN**

#### **Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen portland type I, pasir alami, limbah debu peleburan bijih besi (debu spons) PT. Krakatau Steel dan air dari sumber di laboratorium uji bahan PNJ.

#### **Variabel Penelitian**

Variabel penelitian ini terdiri dari variabel bebas dan terikat. Sebagai variabel terikat adalah sifat-sifat mortar yang meliputi : konsistensi, berat isi, perubahan panjang, kuat tekan dan kuat lentur. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah limbah debu spons yang menggantikan semen pada mortar. Penelitian dilakukan dengan cara membuat benda uji berupa mortar komposisi 1 semen portland : 3 pasir dengan variasi jumlah debu spons 0 % sampai 50 % dengan interval 5 %. Masing-masing komposisi diulang sebanyak 5 kali

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Sifat-sifat Pasir**

Sifat-sifat pasir sangat mempengaruhi kualitas adukan yang dihasilkan. Selain itu, sifat pasir juga berfungsi untuk menentukan komposisi campuran yang tepat pada saat membuat adukan agar diperoleh adukan yang berkualitas

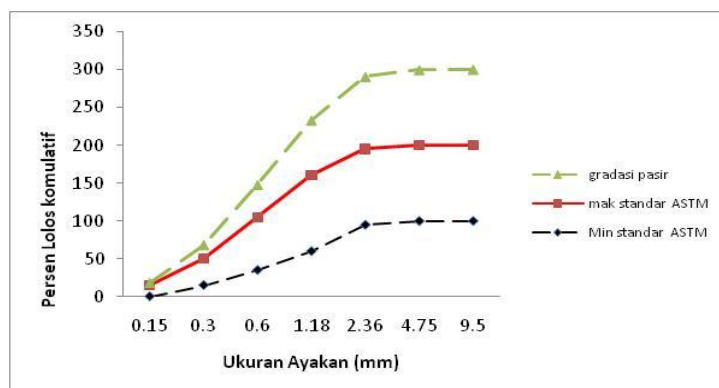
baik. Sifat-sifat pasir yang diuji meliputi: berat jenis, berat isi, penyerapan air, kadar air, analisa ayak, modulus halus butir dan kadar lumpur. Hasil uji sifat pasir disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Sifat-Sifat Pasir**

Parameter	Nilai	Standar ASTM
Berat Jenis	2.51	-
Berat Isi padat, (kg/m <sup>3</sup> )	1629.43	-
Berat Isi lepas, (kg/m <sup>3</sup> )	1490.57	Min 1120
Penyerapan Air, %	2.21	-
Kadar Air, %	0.06	-
Modulus Halus Butir	2,68	2,3-3,1
Kadar Lumpur, %	4.58	maksimum 5

**Tabel 3. Analisa Ayak Agregat Halus**

Lubang Saringan (mm)	% Lolos Kumulatif	Standar ASTM C331-94
4.75	99.4	100
2.36	95.5	95-100
1.18	72.75	70-100
0.6	42.59	40-75
0.3	18.14	10 – 35
0.15	3.21	2 – 15

**Gambar 1. Gradasi Agregat Halus**

**Berat Jenis Pasir**

Berat jenis pasir akan mempengaruhi kekuatan adukan. Pasir dengan berat jenis tinggi dapat meningkatkan kuat tekan adukan. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini memiliki berat jenis 2,51. Dilihat dari berat jenisnya, pasir ini memenuhi syarat sebagai agregat normal, yaitu 2,50 – 2,70.

**Berat Isi Lepas Pasir**

Berat isi pasir berfungsi untuk menghitung kebutuhan bahan yang akan digunakan untuk membuat adukan. Berat isi pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1490,57 kg/m<sup>3</sup>, dimana nilai ini memenuhi persyaratan ASTM C 331 yaitu minimum 1120 kg/m<sup>3</sup> (Anonim, 1994).

**Kadar Air dan Penyerapan Air**

Kadar air menunjukkan kandungan air yang ada di dalam pasir, sedangkan penyerapan air adalah kemampuan pasir dalam menyerap air sampai kondisi jenuh. Jika nilai kadar air pasir nilainya lebih kecil dari penyerapannya, maka pasir dalam kondisi kering. Sebaliknya jika kadar air pasir lebih tinggi dibandingkan penyerapan airnya, maka pasir dalam kondisi basah. Kadar air dan penyerapan air pasir berpengaruh terhadap kebutuhan air dalam membuat

adukan yang *workable*. Hasil uji laboratorium, pasir yang digunakan dalam penelitian ini kondisinya kering, dimana nilai kadar airnya 0,06 % dan penyerapan airnya 2,21 %.

**Analisa Ayak Pasir**

Hasil analisa ayak pasir disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 1. Analisa ayak pasir digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran pasir (gradasi pasir). Gradasi pasir sangat mempengaruhi workabilitas adukan. Oleh karena itu, pasir yang digunakan untuk membuat adukan harus memiliki gradasi yang memenuhi syarat. Dari hasil analisa ayak juga dapat diketahui angka kehalusan butiran pasir yang biasa disebut modulus halus pasir. Dari hasil uji laboratorium (Gambar 1), pasir yang digunakan mempunyai gradasi yang memenuhi standar ASTM C-144 (Anonim, 2002) dan mempunyai modulus halus butir 2,68 yang juga memenuhi standar ASTM yang mensyaratkan 2,3 – 3,1 (Anonim, 1993).

**Sifat-Sifat Fisik Debu Spons**

Sifat-sifat limbah debu spons yang diuji meliputi: berat jenis, penyerapan air, kadar air dan angka kehalusan butir. Hasil uji sifat limbah debu spons disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Sifat-Sifat Debu Spons**

Sifat-Sifat	Nilai
Berat Jenis	4.60
Penyerapan Air, %	1.51
Kadar Air, %	0.23
Angka Kehalusan, lolos ayakan 0,075 mm (ayakan no. 200)	92.24%

**Berat Jenis Limbah Debu Spons**

Limbah debu spons mempunyai berat jenis 4,60. Nilai berat jenis ini lebih

tinggi dibandingkan dengan berat jenis pasir maupun berat jenis semen, dimana nilai berat jenis semen 3,10-

3,30. Hal ini terjadi karena limbah debu spons berasal dari debu pasir besi yang memiliki berat jenis tinggi.

#### ***Kadar Air dan Penyerapan Air Limbah Debu Spons***

Hasil uji laboratorium, limbah debu spons kondisinya kering, dimana nilai kadar airnya 0,23 % dan penyerapan airnya 1,51 %.

#### ***Angka Kehalusan Debu Spons***

Dari hasil uji laboratorium, angka kehalusan limbah debu spons adalah

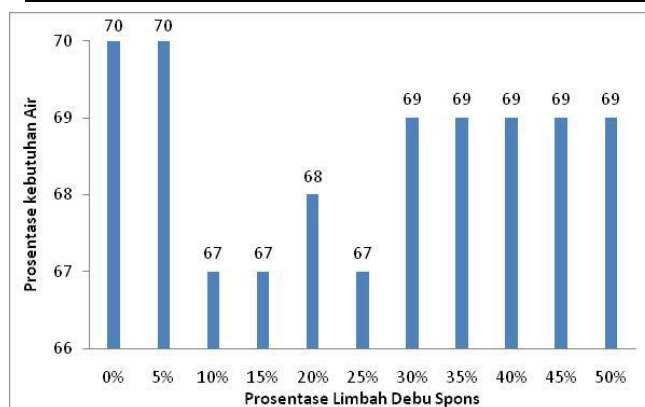
92,24 % lolos saringan no 200. Dilihat dari angka kehalusannya, limbah debu ini mempunyai angka kehalusan yang memenuhi syarat kehalusan semen , dimana ASTM mensyaratkan tingkat kehalusan butiran semen adalah pada ayakan no. 200 butiran semen yang lolos sebesar lebih dari 78 %.

#### ***Konsistensi Adukan***

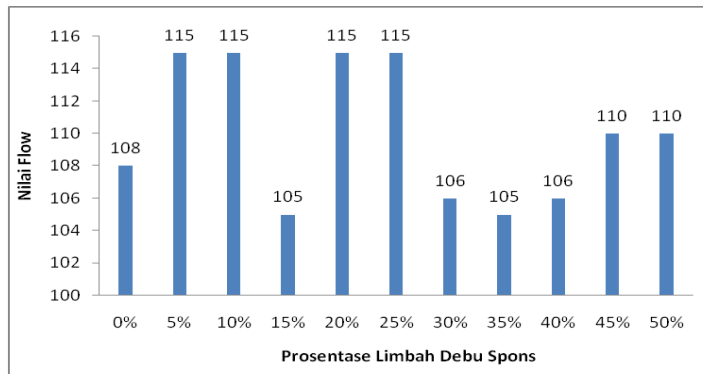
Nilai konsistensi adukan dengan limbah debu spons sebagai substitusi semen disajikan pada Tabel 5, Gambar 2 dan 3.

**Tabel 5. Nilai Konsistensi dan Flow Pada Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Kode Benda Uji	Prosentase Debu Spons	Kebutuhan Air (%)	Nilai Flow
A	0%	70	108
B	5%	70	115
C	10%	67	115
D	15%	67	105
E	20%	68	115
F	25%	67	115
G	30%	69	106
H	35%	69	105
I	40%	69	106
J	45%	69	110
K	50%	69	110



**Gambar 2. Kebutuhan Air untuk Mencapai Nilai Konsistensi Pada Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**



**Gambar 3. Nilai Flow Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Konsistensi/keleccakan adukan merupakan sifat kemudahan adukan pada saat dikerjakan. Konsistensi adukan sangat tergantung pada jumlah air yang diperlukan agar adukan bersifat plastis dan enak dikerjakan. Keleccakan adukan di laboratorium diukur dari nilai flow (derajat kecairannya). Adukan dikatakan leccak, apabila memiliki nilai flow sebesar 105 % - 115 %.

Dari Tabel 5 terlihat bahwa untuk mencapai konsistensi/keleccakan pada adukan dibutuhkan air sebanyak 67 % - 70 % dari berat semen, dimana dengan jumlah air tersebut diperoleh nilai flow 105 % – 115 %. Dari Gambar 2 terlihat bahwa semakin banyak jumlah limbah debu spons yang menggantikan semen, kebutuhan air pengaduk mempunyai kecenderungan menurun. Hal ini berarti, limbah yang menggantikan semen dapat membuat adukan lebih

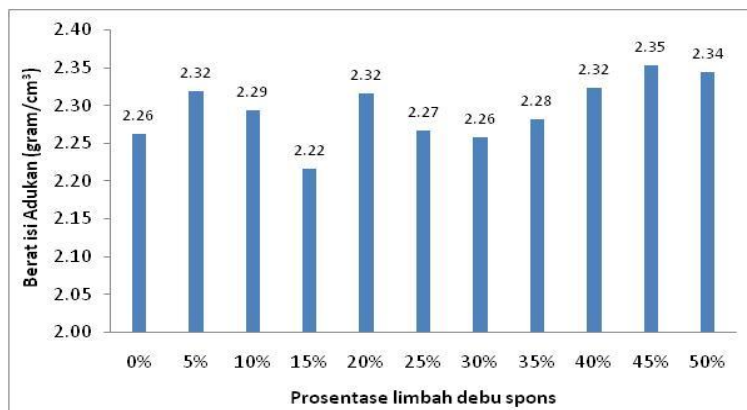
plastis dan *workable* karena dengan jumlah air yang lebih sedikit, adukan sudah mencapai konsistensi yang dipersyaratkan. Limbah debu spons yang memiliki angka kehalusan tinggi dapat membantu semen dalam melumasi permukaan agregat sehingga untuk membuat adukan yang plastis dan *workable*, jumlah air yang dibutuhkan lebih sedikit. Selain itu, debu spons yang mengandung unsur puzzolan dan Cao juga dapat membuat adukan lebih plastis. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang menyebutkan bahwa penambahan abubatu bara sampai 30% dari berat semen dapat membuat adukan lebih plastis dan mudah dikerjakan [1].

#### **Berat Isi Adukan**

Nilai berat isi adukan dengan limbah debu spons sebagai substitusi semen disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 4.

**Tabel 6. Nilai Berat Isi Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Kode Benda Uji	Prosentase Debu Spons Sebagai Substitusi Semen	Nilai Berat Isi Adukan (gram/cm <sup>3</sup> )
A	0%	2.263
B	5%	2.320
C	10%	2.294
D	15%	2.217
E	20%	2.316
F	25%	2.267
G	30%	2.258
H	35%	2.282
I	40%	2.324
J	45%	2.353
K	50%	2.344

**Gambar 4. Nilai Berat Isi Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Berat isi adukan merupakan nilai yang menyatakan perbandingan antara berat dan volume adukan. Berat isi akan mempengaruhi berat sendiri tembok. Berat isi adukan berkisar antara 2,19 gr/cm<sup>3</sup> – 2,25 gr/cm<sup>3</sup>. Dari Tabel 6 dan Gambar 4 terlihat bahwa adukan yang menggunakan debu spons sebagai substitusi semen mempunyai berat isi lebih tinggi dibandingkan adukan yang tidak menggunakan debu spons. Ini berarti dengan mengganti sebagian semen dengan limbah debu spons

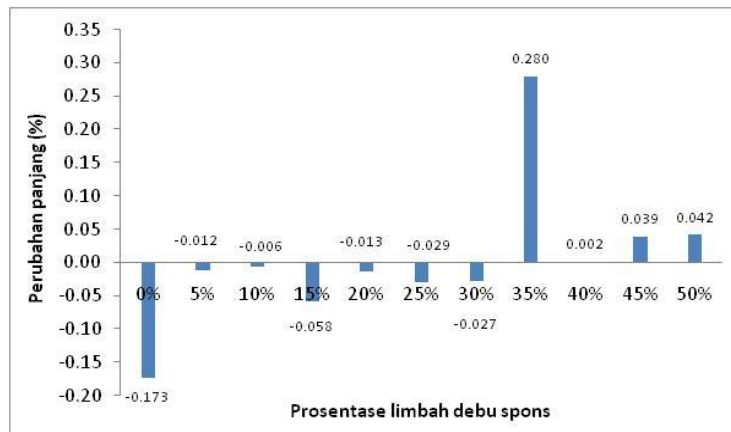
membuat adukan semakin berat. Kondisi ini disebabkan karena limbah memiliki berat jenis lebih tinggi dibandingkan dengan berat jenis semen.

#### ***Perubahan Panjang Adukan***

Nilai perubahan panjang adukan dengan limbah debu spons sebagai substitusi semen disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 5.

**Tabel 7. Nilai Perubahan Panjang Pada Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Kode Benda Uji	Prosentase Debu Spons Sebagai Substitusi Semen	Nilai Perubahan Panjang $\Delta L$ (%)	Keterangan
A	0%	-0.173	Menyusut
B	5%	-0.012	Menyusut
C	10%	-0.006	Menyusut
D	15%	-0.058	Menyusut
E	20%	-0.013	Menyusut
F	25%	-0.029	Menyusut
G	30%	-0.027	Menyusut
H	35%	0.280	memuai
I	40%	0.002	memuai
J	45%	0.039	memuai
K	50%	0.042	memuai

**Gambar 5. Nilai Perubahan Panjang Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Nilai perubahan panjang adukan merupakan suatu nilai yang digunakan untuk mengukur kekekalan bentuk adukan. Akibat perubahan cuaca panas dan dingin, adukan dapat mengalami perubahan bentuk, baik mengembang maupun menyusut. Adukan yang berkualitas baik, mempunyai pengembangan maupun penyusutan yang kecil. Pengembangan dan

penyusutan yang besar menyebabkan adukan mudah lepas dan terjadi retak.

Dari Tabel 7 dan Gambar 5 terlihat bahwa adukan dengan prosentase debu spons 0 % sampai 30 % mengalami penyusutan, sedangkan pada prosentase debu spons 35 % sampai 50 % yang menggantikan semen, adukan mengalami pengembangan. Gambar 5 menunjukkan bahwa penggunaan debu spons sebagai substitusi semen



membuat adukan memiliki kekekalan bentuk yang lebih baik. Hal ini terlihat dari nilai perubahan panjang adukan, dimana adukan tanpa debu spons mengalami penyusutan lebih besar dibandingkan dengan adukan yang menggunakan debu spons. Pada kadar limbah 40 % sampai 50 %, nilai

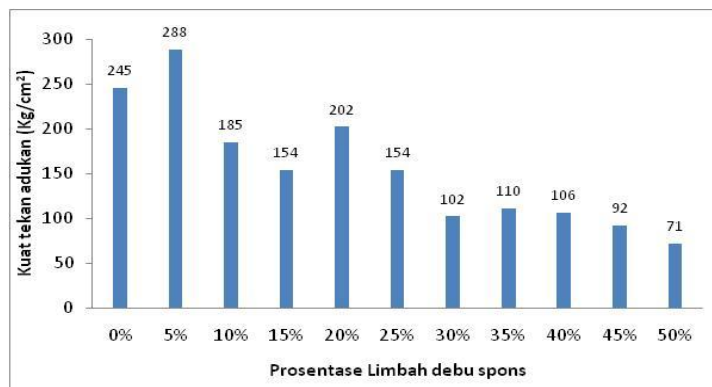
pengembangan adukan juga lebih kecil dibandingkan nilai penyusutan adukan tanpa debu spons.

#### ***Kuat Tekan Adukan***

Nilai kuat tekan adukan dengan limbah debu spons sebagai substitusi semen disajikan pada Tabel 8 dan Gambar 6.

**Tabel 8. Nilai Kuat Tekan Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Kode Benda Uji	Prosentase Debu Spons	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)
A	0%	245.333	24.53
B	5%	288.000	28.80
C	10%	185.000	18.50
D	15%	153.600	15.36
E	20%	202.000	20.20
F	25%	153.600	15.36
G	30%	102.000	10.20
H	35%	110.400	11.04
I	40%	106.400	10.64
J	45%	92.000	9.20
K	50%	71.200	7.12



**Gambar 6. Nilai Kuat Tekan Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Kuat tekan adukan merupakan kemampuan adukan di dalam memikul beban yang bekerja pada adukan/tembok. Kuat tekan adukan sangat dipengaruhi oleh mutu agregat, mutu perekat dan komposisi adukan.

Dari Tabel 8 dan Gambar 6 terlihat bahwa adukan dengan substitusi debu spons menggantikan semen 5 %

mempunyai kuat tekan tertinggi, yaitu sebesar 288 kg/cm<sup>2</sup> (28,8 Mpa). Pada komposisi ini, kuat tekan mengalami peningkatan sebesar 17,4 % dibandingkan adukan tanpa debu spons. Pada kadar debu 10% sampai 50 %, nilai kuat tekan adukan mengalami penurunan. Namun demikian, debu spons yang digunakan sebagai

pengganti semen sampai 50 % dapat menghasilkan adukan dengan kuat tekan yang memenuhi standar ASTM.

Kuat tekan adukan dengan substitusi debu spons 5 % sampai 20 % yang dihasilkan memenuhi standar ASTM C-270-2002 pada tipe adukan M yang mensyaratkan kuat tekan minimum sebesar  $172 \text{ Kg/cm}^2$  (17,2 Mpa) [2]. Adukan tipe M ini merupakan adukan dengan kekuatan sangat tinggi yang dapat memikul beban langsung atau dapat digunakan sebagai perekat pada dinding yang berfungsi sebagai dinding pemikul dan dapat menyatu secara bersama-sama dengan bagian struktur yang lain dalam memikul beban.

Pada adukan yang menggunakan debu spons sebagai pengganti semen sebesar 25 % menghasilkan kuat tekan  $154 \text{ kg/cm}^2$ , memenuhi standar ASTM untuk type adukan S yang mensyaratkan kuat tekan minimum adukan sebesar  $124 \text{ kg/cm}^2$  (12,4 Mpa). Adukan tipe S ini merupakan adukan dengan kekuatan tinggi yang dapat memikul beban atau dapat digunakan

sebagai perekat pada dinding dan dapat mempunyai ikatan cukup kuat dengan bagian struktur yang lain dalam memikul beban.

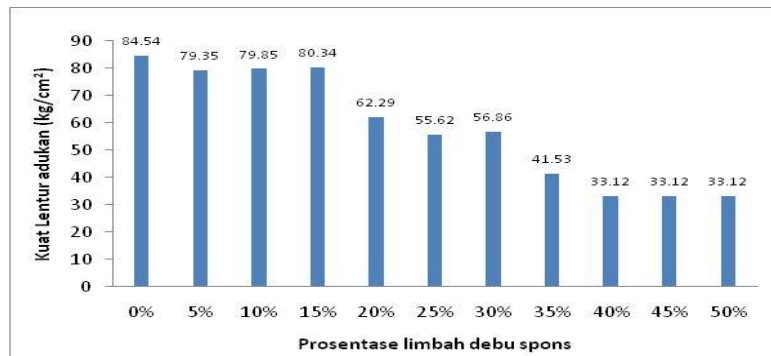
Pada adukan yang menggunakan debu spons sebagai pengganti semen sebesar 30 % sampai 50 % menghasilkan kuat tekan yang memenuhi standar ASTM untuk type adukan N yang mensyaratkan kuat tekan minimum adukan sebesar  $52 \text{ kg/cm}^2$  (5,2 Mpa). Adukan tipe N ini merupakan adukan dengan kekuatan sedang yang dapat digunakan sebagai perekat pada pekerjaan pasangan batu (*masonry*) secara umum, seperti pekerjaan plesteran, pasangan dinding dan pasangan batu kali. Adukan tipe ini dapat digunakan untuk penggunaan luar (eksterior), dimana adukan selalu berhubungan dengan air, cuaca, dan dapat juga digunakan untuk interior.

#### **Kuat Lentur Adukan**

Nilai kuat lentur adukan dengan limbah debu spons sebagai substitusi semen disajikan pada Tabel 9 dan Gambar 7.

**Tabel 9. Nilai Kuat Lentur Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Kode Benda Uji	Prosentase Debu Spons Sebagai Substitusi Semen	Nilai Kuat Lentur Adukan ( $\text{kg/cm}^2$ )
A	0%	84.542
B	5%	79.351
C	10%	79.846
D	15%	80.340
E	20%	62.294
F	25%	55.620
G	30%	56.856
H	35%	41.530
I	40%	33.125
J	45%	33.125
K	50%	33.125



**Gambar 7. Nilai Kuat Lentur Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Kuat lentur adukan merupakan kekuatan adukan yang digunakan untuk pasangan dinding di dalam menahan beban lateral (lentur), sehingga apabila pada dinding bekerja beban ini, dinding tidak rusak/runtuh. Dari Tabel 9 dan Gambar 7 terlihat bahwa kuat lentur adukan cenderung turun seiring dengan meningkatnya jumlah debu spons yang menggantikan sebagian semen. Kuat lentur adukan sampai saat ini belum ada persyaratannya di Indonesia, tetapi sebaiknya kekuatan lentur ini diuji karena berhubungan dengan kekuatan

dinding dalam menerima beban lentur. Oleh karena itu pemilihan komposisi adukan dan penambahan limbah disesuaikan dengan beban lentur yang akan membebani dinding.

#### ***Rangkuman Sifat-Sifat Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen***

Sifat-sifat adukan dengan limbah debu spons sebagai substitusi semen secara lengkap disajikan pada Tabel 10.

**Tabel 10. Rangkuman Sifat-Sifat Adukan dengan Limbah Debu Spons Sebagai Substitusi Semen**

Variasi	Prosentase Debu Spons Sebagai Substitusi Semen	Konsistensi (%)	Nilai Flow	Berat Isi rata-rata (gram/cm <sup>3</sup> )	Perubahan Panjang Rata-Rata (%)	Kuat tekan rata-rata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat lentur rata-rata (Kg/cm <sup>2</sup> )
A	0%	70	108	2.263	-0.1730	245.33	84.54
B	5%	70	115	2.320	-0.0119	288.00	79.35
C	10%	67	115	2.294	-0.0060	185.00	79.85
D	15%	67	105	2.217	-0.0575	153.60	80.34
E	20%	68	115	2.316	-0.0130	202.00	62.29
F	25%	67	115	2.267	-0.0288	153.60	55.62
G	30%	69	106	2.258	-0.0267	102.00	56.86

H	35%	69	105	2.282	0.2800	110.40	41.53
I	40%	69	106	2.324	0.0021	106.40	33.12
J	45%	69	110	2.353	0.0389	92.00	33.12
K	50%	69	110	2.344	0.0418	71.20	33.12

## KESIMPULAN DAN SARAN

### *Kesimpulan*

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan limbah debu spons sebagai pengganti semen sebesar 5 % sampai dengan 50 % membuat adukan lebih plastis dan mempunyai workability yang lebih baik dibandingkan dengan adukan tanpa limbah.
2. Berat isi adukan cenderung naik seiring dengan meningkatnya jumlah limbah yang menggantikan sebagian semen.
3. Adukan yang menggunakan debu spons mempunyai kekekalan bentuk yang lebih baik dibandingkan dengan adukan tanpa debu.
4. Kuat tekan adukan dengan substitusi debu spons 5 % sampai 20 % yang dihasilkan memenuhi standar ASTM C-270-2002 pada tipe adukan M yang dapat memikul beban langsung atau dapat digunakan sebagai perekat pada dinding yang berfungsi sebagai dinding pemikul dan dapat menyatu secara bersama-sama dengan bagian struktur yang lain dalam memikul beban.
5. Adukan yang menggunakan debu spons sebagai pengganti semen sebesar 25 % menghasilkan kuat memenuhi standar ASTM untuk type

adukan S yang dapat memikul beban atau dapat digunakan sebagai perekat pada dinding.

6. Adukan yang menggunakan debu spons sebagai pengganti semen sebesar 30 % sampai 50 % menghasilkan kuat tekan yang memenuhi standar ASTM untuk type adukan N yang dapat digunakan sebagai perekat pada pekerjaan pasangan batu (*masonry*) secara umum, seperti pekerjaan plesteran, pasangan dinding dan pasangan batu kali.
7. Kuat lentur adukan cenderung turun seiring dengan meningkatnya jumlah debu spons yang menggantikan sebagian semen.

### *Saran*

1. Penggunaan dan pemilihan komposisi adukan dengan menggunakan debu spons sebagai pengganti semen disesuaikan dengan fungsi adukan yang akan dibuat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk berbagai variasi agregat dan penggunaan debu spons pada beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susilowati A, 2010. *Abu Batubara Sebagai Bahan Pengganti Semen Sebagian dalam Mortar*. Di dalam: *Seminar Nasional Jurusan Teknik Sipil Rekayasa Bahan Dan Perkuatan Struktur, Solusi*

*Pembuatan Bangunan Yang Ekonomis, Ringan Dan Kuat.*  
Prosiding Seminar Nasional;  
Depok, 24 April 2010. Jakarta.  
Jurusan Teknik Sipil PNJ.

- [2] Anonim, 2002. ***ASTM C-270. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry.*** ASTM 100 West Conshohocken, PA.

