

KUALITAS BETON DENGAN MEMANFAATKAN BOTTOM ASH LIMBAH BAHAN BAKAR BATU BARA PADA INDUSTRI

F.X. Gunarsa Irianta

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jalan Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang 50329

Abstract: Coal is used by large industries in Semarang and surroundings, for example Batam Tex, it is textile industry located in Ungaran. It needs coal for fuel about 40 up to 50 tons per day. The blower of Batam Tex produces ± 2 up to 5 tons fly ash and bottom ash per day. Fly ash contains very smooth aggregate as black powder, and bottom ash contains small aggregate as black sand. Creating new innovation is important to be done. The amount of bottom ash waste needs to be researched and developed. The purpose of the research is to certain concrete straight strength by using bottom ash, with 3 variations of cement conten 280 kg, 300 kg, and 320 kg/m³ concrete. The result is the concrete straight strength for each mixture and age 7, 14, 28 days are different. For the cement content 280 kg age 7 days the result is 60.12 kg/cm², age 14 days the result is 95.14 kg/cm², and age 28 days the result is 68.36 kg/cm². For the cement content 300 kg age 7 days the result is 62.91 kg/cm², age 14 days the result is 94.88 kg/cm², and age 28 days the result is 97.58 kg/cm². For the cement content 320 kg age 7 days the result is 152.43 kg/cm², age 14 days the result is 181.31 kg/cm², and age 28 days the result is 169.50 kg/cm². From the 3 mixtures, it is proved that the concrete age 28 days has desend straiht strength, so if the concrete is used for construction it needs more consideration.

Key words: straight strength, concrete, bottom ash.

Abstrak : Di Semarang dan sekitarnya banyak terdapat industri-industri besar yang menggunakan bahan bakar batu bara, seperti industri tekstil 'Batam Tek' di Ungaran tiap hari membutuhkan batu bara sebagai bahan bakar 40 sampai 50 ton perhari. Dari mesin pembangkit uap (blower) dihasilkan limbah ± 2 sampai 5 ton per hari yang terdiri dari fly ash dan bottom ash. Fly ash berupa butiran sangat halus seperti tepung berwarna hitam, sedang bottom ash berupa butiran kecil-kecil seperti pasir. Penciptaan peluang baru yang kreatif dan inovatif perlu dilakukan, limbah bottom ash yang besar sudah selayaknya perlu dikaji dan dikembangkan. Kajian ini bertujuan menentukan kuat tekan beton menggunakan bottom ash, dengan 3 variasi kadar semen = 280 kg, 300 kg dan 320 kg untuk tiap m³ beton. Hasil pengujian bahwa kuat tekan beton bottom ash untuk tiap jenis campuran dan umur 7, 14 dan 28 hari berturut-turut 60.12 kg/cm²; 95.14 kg/cm² dan 68.36 kg/cm² untuk kadar semen 280 kg/m³ beton, 62.91 kg/cm²; 94.88 kg/cm² dan 97.58 kg/cm² untuk kadar semen 300 kg/m³ beton, 152.43 kg/cm²; 181.31 kg/cm² dan 169.50 kg/cm² untuk kadar semen 320 kg/m³ beton. Dari ketiga jenis campuran tersebut ternyata kuat tekan umur 28 hari mengalami penurunan, maka perlu dipertimbangkan bila beton dipakai untuk konstruksi.

Kata kunci : kuat tekan, beton, bottom ash.

PENDAHULUAN

Beton adalah campuran yang terdiri dari semen portland (bahan pengikat), air, pasir dan kerikil/batu pecah (bahan butiran agregat) yang diaduk hingga merata dan homogen, kemudian dicetak menjadi masa yang padat dan tidak larut dalam air, semen portland dan air merupakan pasta pengikat antara butiran-butiran agregat yaitu pasir dan kerikil/batu pecah (Suwanto, 1999).

Naiknya harga BBM yang cukup signifikan ini mendorong untuk mencari bahan-bahan lokal dan limbah industri untuk alternatif menggantikan pasir beton asal Muntilan tersebut. Di kota Semarang bayak terdapat industri-industri besar yang sebagian menggunakan bahan bakar batu bara. Sebagai contoh sebuah industri tekstil 'Batam Tek' yang terdapat di Ungaran tiap hari membutuhkan batu

bara sebagai bahan bakar sebanyak 40 sampai 50 ton perhari. Dari hasil pembangkit listrik bahan bakar batu bara ini di keluarkan limbah ± 2 sampai 5 ton per hari yang terdiri dari fly ash dan bottom ash. Fly ash berupa butiran sangat halus seperti tepung berwarna hitam, sedang bottom ash berupa butiran kecil-kecil seperti pasir juga berwarna hitam.

Pada era otonomi daerah saat ini kekuatan dan kelemahan yang dimiliki tidak bisa didiamkan begitu saja, untuk menghadapi ancaman resesi ekonomi dan sosial yang belum menunjukkan perbaikan yang meyakinkan. Penciptaan peluang-peluang baru yang lebih kreatif perlu dilakukan terutama pada potensi limbah industri yang masih terabaikan. Salah satu potensi limbah industri yang belum tergarap dengan baik adalah pemberdayaan dan pemanfaatan bottom ash limbah bahan bakar batu bara. Potensi bottom ash cukup besar mengingat bahan bakar minyak harganya melambung dan seiring dengan program pemerintah yang menggalakkan bahan bakar batu bara untuk industri. Bila potensi ini tergarap dengan baik, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengelolaan limbah industri sekaligus dimanfaatkan untuk pembangunan. Mengingat potensi bottom ash cukup besar sudah selayaknya perlu dikaji dan dikembangkan guna mensejahterakan masyarakat.

Bermacam-macam cara untuk membuat rancangan campuran beton, agar beton yang dihasilkan sesuai dengan syarat yang ditetapkan, baik sifat mekanik maupun sifat yang lainnya. Masalah dalam merencanakan campuran beton, ialah memilih campuran yang baik antara bahan-bahan untuk beton (meliputi semen portland, pasir, kerikil / batu pecah dan

air dengan atau tanpa bahan tambah) sehingga didapat campuran yang memiliki sifat tertentu sesuai dengan yang direncanakan (Suwanto, 1999).

Bahan bottom ash ini akan dikaji penggunaannya dalam pembuatan beton normal untuk konstruksi beton yang bersifat masal. Sampai saat ini di negara kita campuran beton, masih banyak yang dilaksanakan di tempat pekerjaan (bukan ready mix), sehingga di tempat pekerjaan tersebut harus disiapkan bahan-bahannya, yang dipesan dari para pemasok. (Ridwan Suhud, 1996).

Cara yang disusun oleh Road Research Laboratory di Inggris dan telah disesuaikan dengan keadaan di Indonesia, bahwa cara tersebut terbatas untuk campuran beton normal yang umum dipakai yaitu dengan kelecakan dan dengan menggunakan semen portland tipe I dan tipe II (menurut standart industri Indonesia/SII 013-80) dengan menggunakan agregat alam atau batu pecah dan pasir yang umum terdapat di Indonesia (memenuhi syarat agregat untuk adukan dan beton) menurut SII 052-80.

Dari dulu hingga sekarang beton disukai oleh para ahli bangunan, karena beberapa keunggulan yang antara lain : bahan campurannya mudah didapat secara alami dibanyak tempat, mudah diproduksi dan dilaksanakan, mudah dibentuk untuk keperluan aspek struktural maupun arsitektural dari berbagai komponen bangunan sesuai keinginan perencananya, memiliki tingkah laku deformasi yang relatif kaku, memiliki ketahanan yang relatif baik terhadap suhu tinggi/kebakaran, memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap abrasi atau penggerusan, cukup awet secara jangka panjang, terutama pada lingkungan yang

tidak korosif, biaya pelaksanaan dan perawatan bangunan yang relatif murah (Supartono, 2001).

Beton yang direncanakan harus memenuhi 5 kriteria diantaranya : sifat mekanis/kekuatan yang baik, kedapannya yang baik, volume yang stabil (rangkai dan susut yang kecil), ketahanan terhadap bahan-bahan agresif, kekompakan (memenuhi teknis pelaksanaan pekerjaan). Didalam komposisi volume mutlak beton yang kompak terdapat : air : 17 %, udara : 4 %, semen Portland : 11 %, bahan butiran : 68 %.

Rancangan campuran beton yang simpel dan praktis mudah dilaksanakan akan sangat membantu dalam pekerjaan konstruksi beton masal. Untuk itu rancangan campuran beton Metode Dreux dengan bahan bottom ash limbah bahan bakar industri diharapkan mampu menjawab hal tersebut . Setiap hasil rancangan perlu dilakukan trial mix untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya di samping untuk mengontrol dan mengevaluasi hasil yang telah direncanakan (Ridwan Suhud,1996).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kuat tekan beton menggunakan limbah bahan bakar batu bara pada industri tekstil yang berupa bottom ash untuk pembuatan beton, dengan 3 variasi kadar

Tabel 1. Sifat fisik khas dari bottom ash

Sifat Fisik Bottom Ash	Wet	Dry
Bentuk	Angular / bersiku	Berbutir kecil / granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
	No.4 (90-100%)	1.5 s/d 3/4 in (100%)
Ukuran (% lolos ayakan)	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40 (10%)	No.10 (10-60%)
	No.200 (5%)	No.40 (0-10%)
Specific gravity	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
Dry Unit Weight	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000

semen masing-masing 280 kg, 300 kg dan 320 kg untuk tiap m³ beton menggunakan metode “ Rancangan Campuran Beton Profesor Druex “, diharapkan dapat bermanfaat pada pemberdayaan potensi limbah dan membantu industri terhadap penanganan limbah yang ada.

Bottom ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada fly ash, sehingga bottom ash akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (boiler) dan terkumpul pada penampung debu (ash hopper) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang.

Bottom ash dikategorikan menjadi dry bottom ash dan wet bottom ash/boiler slag berdasarkan jenis tungkunya yaitu dry bottom boiler yang menghasilkan dry bottom ash dan slag-tap boiler serta cyclone boiler yang menghasilkan wet bottom ash (boiler slag). Sifat dari bottom ash sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya.

Sifat fisik bottom ash berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, specific gravity, dry unit weight dan penyerapan dari wet dan dry bottom ash dapat dilihat pada Tabel 1.

Komposisi kimia dari bottom ash sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia yang lain. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton, didapat bahwa kandungan garam dan pH yang rendah dari bottom ash dapat menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung bottom ash. Selain itu rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan

adanya kandungan pyrite (iron sulfide) yang besar.

Besarnya nilai kehilangan pada test keausan dengan Sodium Sulfat menunjukkan adanya kandungan pyrite yang ditunjukkan dari kandungan sulfat terlarut yang berlebihan dalam bottom ash. Pyrite yang ada dalam bottom ash harus dibuang dengan elektromagnet sebelum digunakan. Adapun sifat mekanis dari dry dan wet bottom ash dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat mekanis dari dry dan wet bottom ash

Sifat mekanis	Dry bottom ash	Boiler slag
Max. Dry Density	1210 – 1620 kg/m ³	1330 – 1650 kg/m ³
Kelembaban optimum	12–24% (umumnya <20)	8 – 20%
Test Abrasi LA (% kehilangan)	30 – 50	24 – 48
Sodium Sulfat Soundness test (% kehilangan)	1,5 – 10	1 – 9
	38 – 42°	38 – 42°
Kuat geser (sudut geser)	38 – 45 ° (ukuran butir < 9,5 mm)	38 – 46° (ukuran butir < 9,5 mm)
CBR (%)	40 – 70	40 – 70
Koefisien permeabilitas	10-2 – 10-3 cm/det	10-2 - 10-3 cm/det
Friable partikel (kerak batu bara)	Ada	Tidak ada

Sumber: Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian diperlukan bahan seperti : semen portland, bottom ash, agregat kasar dipakai batu pecah maksimum besar butir 25 mm dan air, sedang peralatan diantaranya : saringan, timbangan, oven, cawan, mixer, slump test, cetakan bentuk silinder Ø 15 cm dan tinggi 30 cm, mesin penggetar, mesin uji tekan dan alat pendukung lainnya seperti gelas ukur, sendok aduk, alat penumbuk beton, stopwach dan lain-lain.

Proses penelitian ini dibagi 6 (enam) tahapan yaitu tahap persiapan, tahap perhitungan, tahap pencampuran dan pengadukan, tahap pencetakan benda uji, tahap perawatan dan tahap pengujian.

1. Tahap persiapan : mencari data tentang agregat halus dan agregat kasar meliputi

data analisa ayak, berat jenis agregat, kadar air agregat, daya serap air dan kadar air kering udara.

2. Tahap perhitungan : menentukan kadar semen untuk tiap proporsi campuran beton diantaranya kadar semen 280 kg/m³ beton, 300 kg/m³ beton dan 320 kg/m³ beton.
3. Tahap pencampuran dan pengadukan : bahan beton yang sudah ditimbang kemudian diaduk apabila beton dilihat sudah merata dan homogen kemudian dituang dalam tempat penampung untuk dilakukan pengujian slump beton.
4. Tahap pencetakan benda uji : setelah diketahui slump beton kemudian dilakukan pembuatan benda uji silinder beton.
5. Tahap perawatan beton : benda uji kemudian ditempatkan pada lingkungan yang lembab

selama 1hari, kemudian cetakan dibuka dan dilanjutkan perendaman dalam air.

6. Tahap pengujian : pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari sampai mencapai beban maksimal. Tegangan beton dari masing-masing proporsi campuran beton adalah :

$$= \frac{\text{Beban Maksimum (kg)}}{\text{Luas Penampang beton (cm}^2\text{)}} \quad \text{Atau}$$

$$\sigma_{\text{Silinder}} = \frac{P(\text{kg})}{A(\text{cm}^2)} \quad (\text{Kusdiyono, 2002}).$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian bottom ash dan batu pecah dapat di lihat pada tabel berikut :

Hasil

Bottom ash yang digunakan harus memenuhi persyaratan ukuran butirannya, oleh karena itu dilakukan pengujian analisa butir. Hasil pengujian analisa butir yang dilakukan dengan pengayakan pada bottom ash seperti tabel 3 berikut.

Tabel 3. Analisa Butir Bottom Ash

Ø Ayakan (mm)	Tertinggal			(%) Kumulatif	
	Berat (gram)	%	% Seluruh	Tertinggal	Tembus
9.50	0	0	0	0	100.00
4.75	2.10	0.420	0.421	0.421	99.579
2.36	12.97	2.594	2.598	3.019	96.981
1.18	17.57	3.514	3.520	6.538	93.462
0.60	183.75	36.750	36.808	43.346	56.654
0.30	213.74	42.748	42.816	86.162	13.838
0.15	63.21	12.642	12.662	98.824	1.176
0.075	3.33	0.666	0.667	99.491	0.509
PAN	2.54	0.508	0.509	100.000	0.000
Jumlah	499.21	99.842	100.000		

Batu pecah yang digunakan juga dilakukan uji ayak. Adapun hasil pengujian

analisa ayak batu pecah yang dilakukan ditunjukkan pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Analisa Butir Batu Pecah

Ø Ayakan (mm)	Tertinggal			(%) Kumulatif	
	Berat (gram)	%	% Seluruh	Tertinggal	Tembus
38.10	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
19.00	239.00	2.39	2.39	2.39	97.61
9.50	1579.00	15.79	15.79	18.18	81.82
4.75	4321.00	43.21	43.21	61.39	38.61
2.36	3273.00	32.73	32.73	94.12	5.88
1.18	498.00	4.98	4.98	99.10	0.90
0.60	61.00	0.61	0.61	99.71	0.29
0.30	5.00	0.05	0.05	99.76	0.24
0.15	3.00	0.03	0.03	99.79	0.21
PAN	21.00	0.21	0.21	100.00	0.00
Jumlah	10000.00	100.00	100.00		

Beton yang dihasilkan dari campuran bottom ash kemudian di uji bobot isinya. Hasil

pengujian bobot isi beton menggunakan bottom ash seperti tabel 5 berikut.

Tabel 5. Pemeriksaan Bobot Isi Limbah Batu Bara

No	Berat Tempat & Benda Uji	Berat Tempat	Berat Benda Uji	Volume Tempat	Bobot Isi (gr/ltr)
1	9420	4740	4680	6.540	715.5963
2	9520	4740	4780	6.540	730.8869
3	9340	4740	4600	6.540	703.3639
Rata-rata			4686.667	6.54	716.6157

Agar memperoleh hasil yang optimal, maka kadar air bottom ash harus diuji. Hasil

pengujian kadar air bottom ash dan batu pecah seperti tabel 6 berikut.

Tabel 6. Pemeriksaan Kadar Air Limbah Batu Bara dan Batu Pecah

Pengujian	Sampel limbah bt.bara		Sampel Batu Pecah	
	I	II	I	II
Berat Benda Uji Semula (gram)	500	500	4000	4000
Berat Benda Uji Kering Oven (gram)	465	462	3974	3972
Kadar Air (%)	7.527	8.225	0.654	0.705
Rata-rata Kadar Air (%)	7.876		0.680	

Agregat yang digunakan harus diketahui berat jenisnya. Hasil pengujian berat jenis dan

penyerapan agregat yang dilakukan ditunjukkan pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Pemeriksaan Berat Jenis & Penyerapan Limbah Batu Bara dan Batu Pecah

Jenis Pengujian	Sampel limbah bt.bara		Rata-rata	Sampel Bt.Pecah		Rata-rata
	I	II		I	II	
Berat benda uji jenuh kering permukaan (SSD)	500	500		501	506	
Berat benda uji kering oven (Bk)	497	497		497	500	
Berat piknometer + air (B)	973	958		1601	1601	
Berat piknometer + benda uji + air (Bt)	1287	1271		1901	1912	
Berat Jenis = $Bk/(B+500-Bt)$	2.672	2.658	2.665	2.473	2.564	2.518
Berat Jenis jenuh kering permukaan (SSD) = $500/(B+500-Bt)$	2.688	2.674	2.681	2.493	2.595	2.544
Penyerapan = $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	0.604	0.604	0.604	0.805	1.200	1.002

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dalam tiga tahap, yaitu saat beton berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton seperti tabel 7 berikut.

Tabel 7. Pengujian Kuat Tekan Beton Rata-rata pada Umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari

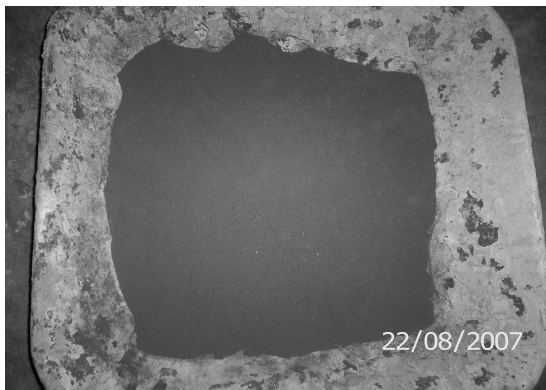
Kadar Semen Tiap m ³ Beton	Kuat Tekan (umur)		
	7 hari	14 hari	28 hari
S 280	60.12	95.14	68.36
S 300	62.91	94.88	97.58
S 320	152.43	181.31	169.50



Gambar 1. Bahan Limbah Batu Bara (Bottom Ash)



Gambar 2. Pencetakan Benda Uji Kubus Beton



Gambar 3. Perawatan Benda Uji Kubus Beton



Gambar 4. Pengujian Kuat Tekan

Pembahasan

Hasil uji analisa butir termasuk Zone 2 dengan gradasi tidak menerus karena beberapa saringan hanya terdapat sebagian kecil butiran saja, demikian juga hasil analisa butir pada kerikil juga tidak menerus(diskontinu). Sedangkan hasil pemeriksaan bobot isi

716.6157 gram/liter, kadar air rata-rata limbah batu bara 7,876 % dan batu pecah 0,680 %.

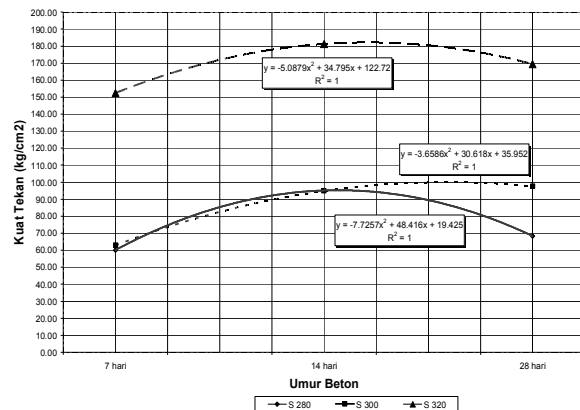
Uji berat jenis (BJ) dan penyerapan limbah batu bara adalah 2,665; BJ (SSD) = 2,681 sedang penyerapannya 0,604 %, sedangkan batu pecah BJ = 2.518, BJ (SSD) = 2,544 dan penyerapannya 1,002 %.

Hasil perhitungan campuran beton limbah batu bara untuk tiap m³ diperlukan bahan seperti tabel 8 berikut :

Tabel 8. Kebutuhan Bahan untuk 1 m³

No	Jumlah			
	Semen (kg)	Air (kg)	Limbah Bt. Bara (kg)	Kerikil (kg)
1	280.00	186.66	830.51	1080.38
2	300.00	187.50	818.07	1081.13
3	320.00	177.78	816.52	1110.67

Hasil kuat tekan beton limbah batu bara untuk tiap jenis campuran pada umur 7, 14 dan 28 hari seperti tabel 8 di atas, sedangkan hubungan antara kuat tekan, umur beton dan jenis campuran dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton

Nilai regresi masing-masing campuran adalah : untuk campuran beton tiap m³ dengan kadar semen 280 kg $Y = -7.7257X^2 + 48.416X + 19.425$, kadar semen 300 kg $Y = -3.6586X^2 + 30.618X + 35.952$ dan kadar semen 320 kg $Y = -$

$5.0879X^2 + 34.795X + 122.72$ dengan nilai korelasi R^2 semua sama = 1,000 artinya ada hubungan yang kuat antara kuat tekan beton dengan umur beton. Untuk ketiga jenis campuran beton yang menggunakan limbah batu bara pada umur 28 hari mengalami penurunan kuat tekan ini berbeda dengan beton biasa yang menggunakan pasir alam dimana makin lama makin tinggi kuat tekan betonnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian campuran beton yang menggunakan limbah batu bara sebagai pengganti pasir alam dapat disimpulkan sebagai berikut :

Kesimpulan

1. Limbah batu bara hasil pembakaran dapat dipakai sebagai pengganti pasir alam tetapi kekuatannya tidak seperti beton yang menggunakan pasir alam.
2. Kuat tekan beton limbah batu bara pada umur 28 hari mengalami penurunan, untuk itu perlu dipertimbangkan apabila dipakai untuk konstruksi.
3. Kuat tekan beton limbah batu bara untuk tiap jenis campuran dan umur pengujian 7, 14 dan 28 hari berturut-turut 60.12 kg/cm²; 95.14 kg/cm² dan 68.36 kg/cm² untuk kadar semen 280 kg/m³ beton, 62.91 kg/cm²; 94.88 kg/cm² dan 97.58 kg/cm² untuk kadar semen 300 kg/m³ beton, dan 152.43 kg/cm²; 181.31 kg/cm² dan 169.50 kg/cm² untuk kadar semen 320 kg/m³ beton.

Saran

1. Perlu dikaji lebih lanjut terhadap berbagai variasi proporsi campuran atau tidak mutlak

agregat halusnya menggunakan limbah batu bara seluruhnya.

2. Perlu dibuat benda uji lebih banyak agar nilai rata-rata kuat tekan benda uji lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada : Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah berkenan menyetujui dan memberikan dukungan dana guna penelitian ini, rekan-rekan dan semua pihak yang telah membantu selesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- D.P.U, 1980, SII. 013 – 1980 *Keleccakan Beton dengan Menggunakan Semen Portland Tipe I dan Tipe II*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- D.P.U, 1980, SII. 052 – 1980 *Syarat Agregat untuk Adukan dan Beton*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- D.P.U, 1990, SK SNI T – 15 – 1990 – 03 *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Kusdiyono. dkk, 2002, *Modul Praktikum Uji Bahan Bangunan I*, Jurusan Teknik Sipil Polines, Semarang.
- Ritonga Abdulrahman, 1987, *Statistika Terapan untuk Penelitian*, Lembaga Penerbit FE – UI, Jakarta.
- Suhud Ridwan, 1996, *Disain Campuran Beton*, Jurnal teknik Sipil, ITB, Bandung.
- Suhud Ridwan, 2000, *Konstruksi Beton Teknik Sipil*, ITB, Bandung.
- Supartono. F. X, 2001, *High Performance Concrete and Under Water Concreting, short Course*, FT. UI. Jakarta.
- Suwanto Bodja, 1999, *Teknologi Bahan II*, BPKM Jurusan Teknik Sipil Polines, Semarang.