

Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sejumlah Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Beton Reaktif (Reactive Powder Concrete)

Mufidah Aulia Annisa¹⁾

Masdar Helmi²⁾

Laksmi Irianti³⁾

Abstract

The quality of concrete can be determined by mixture composition, type of material, and treatment method. Reactive powder concrete is one of high quality performance concrete containing a lot of cement and fine powders which need a heat treatment. Rice husk ash containing silica compounds has a potential to be used in concrete mixtures.

This research was conducted with the percentage variation of rice husk ash instead of cement (0%, 10%, 20%, 30%, and 40%) and the treatments method were applied on prism samples with dimension of 40 x 40 x 160 mm (180° heating temperature, 90 ° steam treatment, and water treatment). The flexural strength test was conducted at 7 days and the compressive strength was tested at 7 days and 28 days. The test results show that the optimum flexural strength was 16.48 MPa, obtained from the composition of 10% rice husk ash with steam treatment. The optimum compressive strength was also obtained by the steam treatment, but on the composition of 30% rice husk ash, which are 37.54 MPa at 7 days and 54.44 MPa at 28 days. It is concluded that rice husk ash can be used as a substitute for some cement in the composition of reactive powder concrete with steam treatment.

Keywords: reactive powder concrete, rice husk ash, compressive strength, flexural strength.

Abstrak

Kualitas beton dapat ditentukan dari komposisi adukan, jenis bahan, dan cara perawatan. Beton reaktif adalah salah satu jenis beton mutu tinggi yang komposisinya mengandung banyak semen dan bahan sangat halus lainnya serta di rawat dengan cara pemanasan. Abu sekam padi yang mengandung senyawa silika juga berpotensi untuk bahan adukan beton reaktif.

Penelitian ini dilakukan pada variasi presentase abu sekam sebagai pengganti sejumlah semen (0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%) dan cara perawatan benda uji prisma 40 x 40 x 160 mm (pemanasan suhu pada 180°, perawatan uap air panas pada 90 °, dan perendaman dalam air). Pengujian kuat lentur pada umur 7 hari dan kuat tekan pada umur 7 hari dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat lentur optimum 16,48 MPa diperoleh dari komposisi 10% abu sekam dan perawatan uap air panas. Kuat tekan optimum juga diperoleh dari perawatan uap air panas, namun pada komposisi 30% abu sekam, yaitu 37,54 MPa umur 7 hari dan 54,44 MPa umur 28 hari. Dengan demikian abu sekam dapat digunakan untuk bahan pengganti sebagian semen dalam komposisi beton reaktif dengan perawatan uap air panas.

Kata kunci : beton mutu tinggi, beton reaktif , *reactive powder concrete*, abu sekam, kuat tekan, kuat lentur.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. surel:

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Beton adalah material yang sudah sering digunakan dalam konstruksi, karena mempunyai kelebihan terhadap tegangan tekan, mudah dibentuk, dirawat, dan dapat digunakan pada berbagai jenis bangunan sipil. Selain itu beton juga dapat dibuat dengan bahan-bahan lokal, oleh karena itu beton sangat sering digunakan. Teknologi beton terus dikembangkan dengan berbagai macam cara, misalnya dengan penambahan material untuk menghasilkan beton mutu tinggi. Selain dengan penambahan material, beton mutu tinggi juga bisa diperoleh dengan perlakuan perawatan saat proses pengerasan (*treatment curing*) seperti pada *Reactive Powder Concrete* (RPC). RPC merupakan beton tanpa agregat kasar dan tersusun atas semen, *silica fume*, *quartz powder* dan air. Ciri khas RPC adalah penggunaan kadar semen sangat tinggi, faktor air semen rendah dan tanpa menggunakan agregat kasar. Penghilangan agregat kasar merupakan kunci untuk mengatur homogenitas antara semen dengan komponen lainnya. Campuran beton reaktif yaitu berupa material tambahan mengandung silika, yang diperoleh dari berbagai limbah industri, seperti *fly ash*, *silica fume*, GGBS, dan abu sekam (Anıl et al. 2008; Helmi et al. 2016; Helmi et al. n.d.; Richard et al. 1995).

Abu sekam padi mengandung komposisi silika yang sangat tinggi (Kamath, 1998). Kandungan silika dapat membentuk senyawa *xonotlite* yang mengakibatkan kekuatan beton meningkat (Richard et al. 1995). Sehingga abu sekam berpotensi untuk digunakan dalam campuran beton, bahkan dapat menggantikan sebagian semen. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut bagaimana pengaruh penggantian sebagian semen dengan abu sekam pada keadaan curing yang berbeda-beda terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Menurut SNI 2847:2013 beton (*concrete*) merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Beton memiliki sifat getas (*brittle*) sehingga mempunyai kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah. Berdasarkan kuat tekan beton, beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis.

Tabel 1. Jenis beton berdasarkan kuat tekannya

Jenis beton	Kuat tekan
Beton sederhana	Sampai 10 MPa
Beton normal	15 – 30 MPa
Beton prategang	30 – 40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa

Sumber : Tjokrodinuljo, 2012

2.2. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi merupakan beton yang mempunyai kuat tekan yang lebih besar dari beton mutu normal. Berdasarkan ACI 21.4R-93 (ACI Committee:1996) beton mutu normal adalah beton yang mempunyai nilai kuat tekan kurang dari 41 MPa, dan menurut ACI

Committee 363R-92, beton mutu tinggi adalah beton yang mempunyai batasan minimum untuk nilai kuat tekan 41 MPa atau 6000 psi. Sedangkan menurut SNI Pd-T-04-2004-C beton mutu tinggi adalah beton dengan kuat tekan yang disyaratkan f_c 40 MPa – 80 MPa, dengan benda pengujian standar silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pemakaian beton mutu tinggi dapat memberikan beberapa keuntungan tergantung jenis pemakaiannya antara lain sebagai berikut:

- a. Pada gedung bertingkat berfungsi memperkecil dimensi kolom dan balok sehingga mengurangi berat gedung secara keseluruhan, memberikan sistem pondasi yang lebih ekonomis sebagai akibat dari berkurangnya berat struktur.
- b. Pada struktur jembatan beton pratekan berfungsi memperkecil lendutan balok jembatan, mengurangi penggunaan baja pratekan, memperkecil dimensi penampang balok.
- c. Pada beton pracetak, mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu pengangkutan dan pemasangan beton.

2.3. Mortar

Mortar (sering disebut juga mortel atau spesi) adalah bahan bangunan terdiri dari agregat halus, bahan perekat serta air, dan diaduk sampai homogen. Adukan mortar dibuat kececernya cukup baik sehingga mudah dikerjakan (diaduk, dibawa ke tempat pembuatan dengan “uji sebar” dengan alat berupa “meja sebar”. Mortar sebagai bahan bangunan, biasa diukur sifat-sifatnya, misalnya kuat tekan, berat jenis, kuat tarik, daya serap air, kuat rekat dengan bata merah, susutan, dan sebagainya. (Tjokrodinuljo, K 2012).

2.4. Material Beton

a) Semen portland

Semen berfungsi sebagai bahan perekat untuk menyatukan agregat kasar dan agregat halus menjadi satu massa yang kompak dan padat dengan proses hidrasi. Semen berfungsi sebagai perekat apabila diberi air, sehingga semen tergolong bahan pengikat hidrolis.

b) Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting. Untuk bereaksi dengan semen portland, air diperlukan sekitar 25% - 30% dari berat semen. Dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat yaitu, air harus bersih, kandungan lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya tidak boleh lebih dari 2 gram/liter, tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton lebih dari 15 gram/liter, tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter. (Tjokrodinuljo, 2012).

c) Agregat

Menurut SNI 2847:2013 agregat (*aggregate*) merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan *slag* tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat agar menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% - 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar. Agregat halus untuk beton adalah agregat berupa pasir alam atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir maksimum 5 mm. Agregat kasar untuk beton adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran butir antara 5 sampai 40 mm.

d) *Plasticizer*

Plasticizer ialah bahan selain unsur pokok beton (semen, air dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton. Berikut merupakan beberapa bahan tambahan *plasticizer* yang sering digunakan dalam campuran beton : Pozzolan, *Silica fume*, Abu Sekam Padi, *Fly ash*, GGBS, Limbah Baja Padat (*Steel Slag*), dan *Fiber*.

2.5. Perawatan Beton

Kekuatan beton tergantung beberapa faktor, seperti proporsi campuran beton maupun kondisi kelembaban tempat beton akan mengeras. Untuk memperoleh kuat tekan dan kuat lentur yang diinginkan maka beton yang masih muda perlu dilakukan proses perawatan (*curing*), dengan tujuan agar proses hidrasi semen berjalan dengan sempurna. Berikut merupakan beberapa jenis perawatan yang sering dilakukan:

a. Perawatan perendaman

Beton dengan perawatan perendaman biasanya dilakukan dengan dibasahi dengan air secara terus menerus, misalnya dengan penyiraman air pada beton kolom *pier* jembatan, atau biasa digunakan untuk perawatan pada sampel beton di laboratorium. Beton ditutup dengan karung basah yang sering dilakukan pada perawatan beton *rigid pavement*.

b. Perawatan uap

Tujuan utama dari perawatan uap adalah untuk mencapai kekuatan awal beton yang cukup tinggi sehingga kegiatan produksi beton lebih cepat dilaksanakan, demikian pula ruang penyimpanan beton yang dibutuhkan akan lebih kecil, hal ini akan memberikan keuntungan dari segi ekonomi (Neville, 1987). Secara umum semakin lama perawatan uap akan menyebabkan kuat tekan beton bertambah, hal ini terjadi karena proses hidrasi berlangsung lebih cepat akibat adanya panas. Peningkatan kuat tekan beton terjadi secara drastis sampai lama perawatan 4 jam. Setelah perawatan 4 jam peningkatan kuat tekan berlangsung lebih lambat, bahkan kuat tekan pada temperatur 90 °C setelah 4 jam terjadi penurunan.

c. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Richard *et al.* 1995 mengemukakan bahwa perlakuan panas yang telah dilakukan pada 90°C secara substansial mempercepat reaksi pozzolan. Sedangkan perlakuan panas dengan suhu tinggi yaitu di antara 250° dan 400 °C akan membentuk *hidrat kristal (xonotlite)* yang merupakan senyawa yang mengakibatkan kekuatan beton meningkat. Helmi *et al.*, 2016 mengemukakan bahwa kondisi optimal dari pemanasan panas dimulai pada 2 hari setelah pengecoran dengan tingkat 50° C/jam selama 48 jam karena adanya peningkatan pozzolonic dan reaksi hidrasi dan jumlah transformasi kristal. Pada suhu sekitar 180-300° terdapat adanya kemungkinan perubahan gel C-S-H menjadi *xonotlite*.

2.6. Sifat Mekanik Pada Beton

a. Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang akan menyebabkan benda uji beton hancur apabila dibebani gaya tekan tertentu oleh mesin uji tekan. Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum f'_c dengan satuan N/mm² atau MPa (Mega Pascal). Pengujian kuat tekan beton untuk standar ACI dan SNI dapat dilakukan dengan cara menekan benda uji silinder 150 mm x 300 mm. Namun untuk standar British dapat menggunakan benda uji kubus 150 mm x 150mm.

b. Kuat Lentur Beton

Berdasarkan SNI 4431 (2011), kuat tarik lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah, dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya per satuan luas. Ada dua jenis pengujian kuat tarik lentur beton, yaitu pengujian sistem satu beban titik (ASTM C 293) dan pengujian sistem dua beban titik (ASTM C78).

2.7. Beton reaktif

Reactive powder concrete (RPC) merupakan material beton tipe khusus dari *ultra high performance concrete* (UHPC). Beton bubuk reaktif (RPC) terbuat dari semen portland, mikrosilika (*silica fume*), bubuk kuarsa (*crushed quartz*), pasir (kuarsa atau silika), *superplasticizer*, serat baja mikro dan air, sehingga dapat disebut sebagai “mortar” dengan kandungan pasta semen dan mikrosilika yang sangat tinggi serta rasio air semen (w/c) yang sangat rendah (Dallaire, E., et al. 1998, Bonneau, O., et al., 1997). Optimalisasi struktur-mikro matriks beton RPC menggunakan gradasi material berukuran nano (nm) yang berguna untuk meminimalisir adanya rongga kosong antara butiran/partikel sehingga didapatkan beton yang ultra padat.

Prinsip dasar pembuatan RPC menurut Richard P dan Cheyrezy :

Peniadaan agregat kasar untuk meningkatkan homogenitas beton, penggunaan *silica fume* untuk reaksi pozzolanik, penerapan tekanan pada beton segar untuk memperoleh pemadatan terbaik, perawatan pemanasan dalam waktu panjang untuk meningkatkan sifat struktur-mikro, mempercepat proses susut dan pengeringan, penggunaan faktor air semen ekstim rendah guna mengurangi jumlah pori-pori dan kapiler sehingga impermeabilitas meningkat yang menghasilkan durabilitas dan kekuatan superior, penggunaan *superplasticizer* dalam dosis tinggi guna memperoleh kelecakan (*workability*) yang baik.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Semen tipe I, dengan merk semen padang
- Pasir halus yang lolos saringan no.2,4 mm.
- Air yang telah memenuhi persyaratan air bersih di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung
- Abu sekam padi lolos saringan no. 100.
- Elkem *microsilica* adalah butiran silikon yang sangat halus yang digunakan sebagai aditif dalam beton, sebagai lapisan dalam sumur minyak, sebagai pengganti asbes, dalam bahan refraktori, dalam pupuk dan dalam plastik.
- Superplasticizer*, dengan merk PUTOFF PF-01 kemasan 5 Kg dengan tipe modifikasi *Sodium-naphthalene-sulfonat*, berupa cairan coklat tua yang berfungsi sebagai aditif untuk beton dengan mengurangi air dalam jumlah besar dan menghasilkan beton mutu tinggi.

3.2. Peralatan

Alat – alat yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut: Satu set saringan, timbangan, *picnometer*, bejana silinder, botol *Le Chatelier*, oven, alat modifikasi *steam*, cetakan beton, mesin uji beton, *Compression Testing Machine* (CTM), *Universal Testing Machine* (UTM), meja penggetar, dan mixer.

3.3. Variabel Penelitian

Adapun variabel penelitian ini adalah cara perawatan dan umur benda uji seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Metode perawatan dan umur benda uji

Variabel perawatan	Kode benda uji	Variasi abu sekam	Uji kuat lentur 7 hari	Uji kuat tekan	
				7 hari	28 hari
Perendaman dalam air	C1A	0%	3	3	3
	C2A	10%	3	3	3
	C3A	20%	3	3	3
	C4A	30%	3	3	3
	C5A	40%	3	3	3
Pemanasan dalam oven	C1O	0%	3	3	3
	C2O	10%	3	3	3
	C3O	20%	3	3	3
	C4O	30%	3	3	3
	C5O	40%	3	3	3
Pemanasan dalam uap air	C1U	0%	3	3	3
	C2U	10%	3	3	3
	C3U	20%	3	3	3
	C4U	30%	3	3	3
	C5U	40%	3	3	3
TOTAL			36		

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung

- Pengadaan bahan dan peralatan.
- Pemeriksaan bahan dan peralatan penelitian agar bahan yang digunakan berada pada kondisi baik dan sesuai standar.
- Perencanaan campuran beton mengacu pada peraturan metode brithis dengan menggunakan perbandingan dari penelitian sebelumnya. *Rice husk ash* (abu dasar) digunakan sebagai bahan pengganti sejumlah semen pada beton mutu tinggi.
- Penakaran (Penimbangan) bahan-bahan yaitu menimbang bahan-bahan untuk pembuatan beton,.
- Pengadukan beton hingga adukan beton benar-benar homogen, warnanya tampak rata, kelecakan cukup.
- Pengujian *slump flow test* yang mengacu pada ASTM C1611 Slump-Flow Test dapat digunakan untuk menentukan “*filling ability*” baik di laboratorium.

- h. Pemadatan beton dengan menggunakan alat getar internal berupa meja penggetar. Setelah itu, dilakukan pemadatan eksternal dengan cara menggetarkan cetakan beton secara manual.
- i. Perawatan beton (*Curing*) menjadi 3 jenis variabel, yaitu dengan perawatan dalam air, pemanasan dengan oven dengan suhu 180° selama 7 jam, dan dengan penguapan dengan alat uap dengan suhu 90 °.
- j. Pengujian beton yang dilakukan adalah pengujian kelecakan adukan beton, kuat tekan, kuat lentur.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik material yang akan digunakan untuk campuran beton. Material yang diuji terdiri dari semen, pasir, dan abu sekam.

Tabel 3. Hasil pengujian sifat fisik semen.

Jenis Pengujian	Nilai hasil pengujian	Standar	ASTM
Berat jenis semen	3,1527	3,25 – 3,17	C403/C3403M
Waktu pengikatan semen	54 menit	60 menit	C403/C3403M

Tabel 4. Hasil pengujian sifat fisik pasir.

Jenis Pengujian	Nilai hasil pengujian	Standar	ASTM
Kadar air (%)	0,9082%	0-3	C566
Berat jenis SSD	2,6738	2,5-2,7	C128
Penyerapan	1,8%	1-3	C128
Berat volume padat (kg/m ³)	1286 kg/m ³	-	C29/C29M
Kadar lumpur (%)	2,7%	<5	C117
Kandungan zat organis	No. 2	Di bawah no. 3	C40

Tabel 5. Hasil pengujian sifat fisik pasir.

Jenis Pengujian	Nilai hasil pengujian
Kadar air (%)	0,1111 %
Berat volume padat (kg/m ³)	37,5 kg/m ³

4.2. Pengujian Awal

4.2.1. Uji Coba Waktu Pengadukan

Pengadukan beton direncanakan selama 15 – 20 menit. Perhitungan waktu dimulai saat mesin pengaduk berputar saat adukan kering hingga selesai semua pencampuran. Pengadukan dilakukan hingga kondisi campuran mencair sesuai dengan kondisi fisik penelitian sebelumnya.

4.2.2. Uji Coba Komposisi

a. Komposisi 0% : Pengujian dilakukan pada kondisi 0% dengan perawatan pemanasan menghasilkan kuat lentur sebesar 12,97 MPa, kuat tekan 54,50 MPa pada umur 7 hari, dan 66,17 MPa pada umur 28 hari.

Pada perawatan perendaman menghasilkan kuat lentur sebesar 9,6 MPa, kuat tekan sebesar 54,23 MPa pada umur 7 hari, dan 68,27 MPa pada umur 28 hari. Perawatan

optimum untuk kondisi 0% kuat tekan adalah perawatan perendaman dalam air. Sedangkan untuk menghasilkan kuat lentur yang optimum adalah perawatan pemanasan dalam oven.

b. Komposisi 40% : pengujian dilakukan dengan penambahan air 250 ml untuk mengecek *slump flow* dan kondisi fisik campuran. Pada kondisi 40% menghasilkan nilai diameter *slump flow* sebesar 8,8 cm dan memiliki kelecakan yang tidak cukup baik. Sehingga kondisi 40% tidak digunakan dalam pempuatan sampel.

4.2.3. Komposisi RPC yang digunakan

Berdasarkan hasil dari uji komposisi, menghasilkan komposisi baru berupa diperlukannya penambahan air sebanyak 250 ml pada kondisi 0%, 10%, 20%, dan 30% agar beton dapat dicetak.

Tabel 6. Komposisi RPC yang digunakan per 1 m³

Variasi abu sekam	Semen (kg)	SF (kg)	Abu Sekam (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	SP (lt)
0%	830	208	0	488	287	55
10%	749	208	83	488	287	55
20%	664	208	166	488	287	55
30%	581	208	249	488	287	55
40%	498	208	332	488	287	55

4.2.4. Faktor Air Semen

Pada kondisi 0% kondisi fisik beton sudah memenuhi persyaratan, yaitu cair seperti adonan bolu, sedangkan pada kondisi 40% diperlukan penambahan air 600 ml hingga kondisi dapat di cetak. Penambahan air ini mengakibatkan volume campuran bertambah, dan kuat beton menurun.

Tabel 7. Faktor air semen dan faktor air *powder* pelaksanaan

Variasi abu sekam	Faktor air semen pelaksanaan	Faktor air <i>powder</i>
0%	0.35	0.35
10%	0.38	0.35
20%	0.43	0.35
30%	0.49	0.35
40%	0.57	0.35

4.2.5. Pengujian Sampel Penelitian

3.5.1. Hasil Pengujian *Slump Flow*

Pengujian kelecakan dengan cara *slump test* dilakukan pada masing masing adukan beton

Tabel 8. Hasil pengujian *slump flow*

Variasi abu sekam	Slump flow (cm)
0%	50
10%	25
20%	16,5
30%	10.5

3.5.2. Berat Volume Beton

Berat volume beton didapatkan dengan cara membagi berat beton dengan volumenya. Sebelum dilakukannya pengujian sampel beton terlebih dahulu dilakukan penimbangan sampel beton

Tabel 9. Berat volume rerata

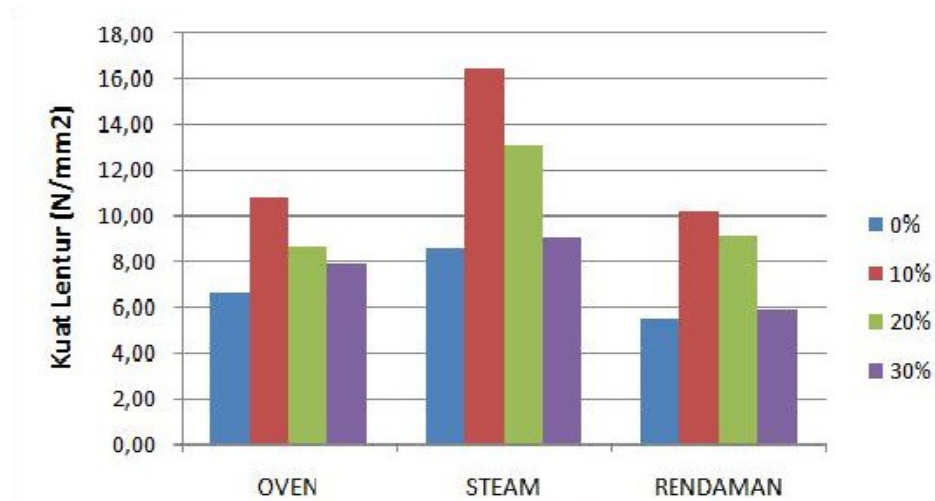
Perawatan	Berat volume rerata (kg/m ³)			
	0%	10%	20%	30%
Pemanasan oven	2057,3	2031,3	1979,2	1927,1
Pemanasan uap air	2154,9	2109,4	2057,3	2005,2
Perendaman dalam air	2083,3	2070,3	2024,7	1992,2

3.5.2. Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat tarik lentur beton ini dilakukan dengan cara membebani balok yang berukuran 40 x 40 x 160 mm di atas dua perletakkan dan dibebani dengan beban terpusat.. Pengujian kuat tarik lentur dilakukan hanya pada saat benda uji berumur 7 hari setelah pengecoran. Pada saat umur 7 hari juga akan dilakukan pengujian kuat tekan dari patahan uji kuat lentur.

Tabel 10. Hasil pengujian kuat lentur beton umur 7 hari

Variabel perawatan	Variasi abu sekam	Kuat lentur rerata (MPa)
Perendaman dalam air	0%	6,62
	10%	10,83
	20%	8,66
	30%	7,88
Pemanasan dalam oven	0%	8,56
	10%	16,48
	20%	13,11
	30%	9,00
Pemanasan dalam uap air	0%	5,46
	10%	10,23
	20%	9,14
	30%	5,89



Gambar 1. Grafik kuat lentur beton 7 hari

Kuat lentur beton optimal terjadi pada kondisi 10% dengan perawatan metode penguapan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang membentuk Calsium Silikat Hidrat atau dalam semen disebut tobermorin yang mengisi pori- pori udara yang terperangkap, hal ini lah yang dapat meningkatkan kepadatan pada beton reaktif tersebut (Tam *et al*, 2010).

Kuat lentur dengan perawatan rendaman memiliki kuat lentur yang paling rendah, karena pada perawatan rendaman material pozolan masih akan terus bereaksi dengan waktu yang cukup lama, berbeda dengan perawatan pemanasan dan penguapan sebagaimana reaksi dipercepat sehingga menghasilkan kuat lentur yang lebih besar daripada perawatan rendaman. Sehingga dapat disimpulkan kuat lentur untuk rendaman akan lebih kecil dari kuat lentur dari kuat lentur dari pemanasan dan penguapan.

3.5.3. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan cara memberikan pembebanan menggunakan *Compressing Testing Machine* pada benda uji kemudian mencatat beban ultimit (P) pada saat benda uji runtuh. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari dan 28 hari setelah pengecoran. Hasil pengujian kuat tekan beton karakteristik diperoleh dari pengujian kuat tekan rata-rata tiga buah benda uji beton balok berukuran 4 x 4 x 16 cm pada setiap masing-masing variasi abu sekam.

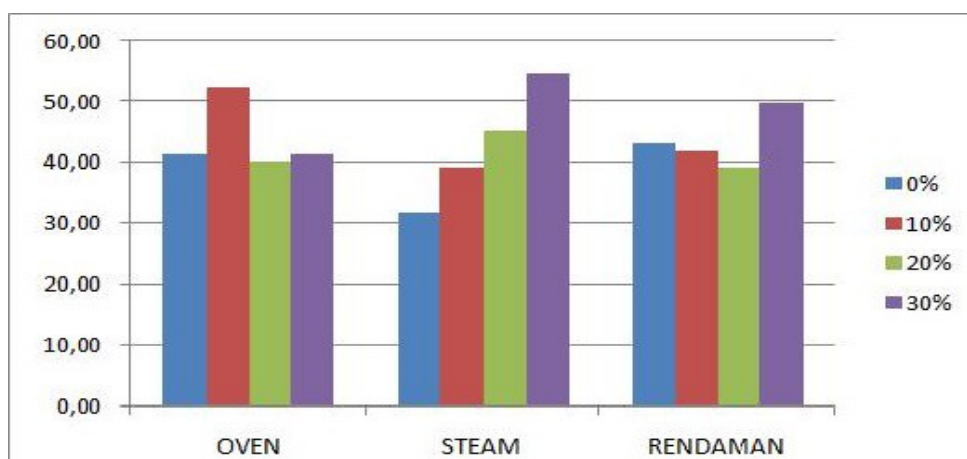
Tabel 11. Hasil pengujian kuat lentur beton umur 7 hari

Variabel perawatan	Variasi abu sekam	Kuat tekan rerata umur 7 hari (MPa)	Kuat tekan rerata umur 28 hari (MPa)
Perendaman dalam air	0%	33,13	41,31
	10%	49,23	52,35
	20%	36,96	40,35
	30%	35,79	41,38

Pemanasan dalam oven	0%	29,85	31,94
	10%	38,04	39,27
	20%	39,81	45,25
	30%	37,44	54,44
Pemanasan dalam uap air	0%	30,13	43,13
	10%	39,46	41,85
	20%	39,46	43,46
	30%	39,23	49,85

Kuat tekan beton umur 7 hari berada maksimum pada perawatan oven kondisi 10% abu sekam. Hal ini disebabkan oleh adanya abu sekam dan sebagian semen yang cukup banyak bereaksi ketika pemanasan berlangsung sehingga menyebabkan kuat tekan beton pada kondisi 10% meningkat. Hal ini di perkuat oleh penelitian Aryal (2004) yang telah menyebutkan pengaruh parameter sifat-sifat fisik dan komposisi kimiawi abu sekam padi di Nepal yang diperoleh dari dua sumber pengambilan yang berbeda dalam pembuatan pasta, mortar dan beton mutu $f'c$ 25 MPa dan $f'c$ 35 Mpa dari pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik dan keawetan beton, kebutuhan abu sekam padi sebagai bahan substitusi parsial semen pada beton optimal berkisar 10-15% dari berat semen.

Kuat tekan dengan perawatan pemanasan dengan uap air menghasilkan kuat tekan yang cukup tinggi namun kurang optimum, hal ini disebabkan kemungkinan gel *xonotlite* yang belum sempurna karena suhu pada penguapan hanya berkisar hingga $90^{\circ}C$, sedangkan pada saat pemanasan oven suhu berkisar $180^{\circ}C$. Pada perawatan pemanasan oven beton memiliki resiko terbakar. Hal ini dipengaruhi oleh durasi waktu pemanasan. Perawatan pemanasan dengan oven perlu disesuaikan dengan laju pemanasan dan lama waktu pemanasan agar reaksi yang diinginkan dapat tercapai.



Gambar 2. Grafik kuat lentur beton 28 hari

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: Penggantian sebagian semen dengan abu sekam padi akan meningkatkan kuat tekan : Pada perawatan pemanasan dengan oven menghasilkan kuat tekan beton tertinggi terjadi pada beton dengan kadar abu sekam padi 10%, yaitu 49,23 MPa pada umur 7 hari dan sebesar 52.35 MPa pada umur 28 hari. Pada perawatan *steam* 30% menghasilkan kuat tekan beton yang optimum yaitu sebesar 37,544 MPa pada umur 7 hari, dan 54,44 MPa pada umur 28 hari. Pada perawatan perendaman dalam air menghasilkan kuat tekan optimum pada kondisi 30% yaitu sebesar 34,17 MPa pada umur 7 hari, dan 49,85 MPa pada umur 28 hari. Kuat lentur beton optimal terjadi pada kondisi 10% dengan perawatan metode penguapan yang menghasilkan kuat lentur beton sebesar 16.48 MPa. Pada perawatan pemanasan menghasilkan kuat lentur sebesar 10.83 MPa, sedangkan untuk perawatan perendaman menghasilkan kuat lentur sebesar 10.23 MPa. Perawatan yang paling optimal untuk menghasilkan kuat tekan optimal adalah perawatan dengan metode penguapan pada kondisi 30% .

DAFTAR PUSTAKA

- Anıl, S., Yazıcı, H., Yig, H., & Baradan, B., 2008, *Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete*, 87, 2401–2407.
- Bonneau, O., Poulin, C., Jr., Dugat, M., Aitcin, P., R., 1996, *Reactive Powder Concretes: From Theory to Practice*, International Concrete Research & Information Portal, ACI, Vol. 18, Issue 4, pp. 47 – 49.
- Dallaire, E., Aitcin, P.C., dan Lachemi, M., 1998, *High Performance Powder, Author Affiliation*, University of Sherbrooke Source, Civil Engineering (New York), Vol. 68, No.1, Jan, ASCE, Reston, VA, USA, pp. 48 – 51.
- Helmi, M., Hall, M. R., & Rigby, S. P., 2018, *Effect of Pressure and Heat Treatment on the Compressive Strength of Reactive Powder Concrete*. MATEC web of conferences 147.01006.
- Kamath, S., & Proctor, A., 1998, *Silica Gel from Rice Hull Ash, Preparation and Characterization*, *Cereal Chemistry*, 75(4), 484 – 487.
- Neville, A.M. dan Brooke, J.J, 1987, *Concrete Technology*, Longman Scientific & Technical, London.
- Qijun Yu., Sawayama, K., Sugita, S., Shoya, M., Isojima, Y., 1999, *The reaction between ricehusk ash and Ca(OH)₂ solution and the nature of its product*, *Journal of Cement and Concrete Research*. Vol. 29 (1), pp. 37– 43.
- Tam, C. M., Tam, V. W. Y., & Ng, K. M., 2010, *Optimal conditions for producing reactive powder concrete*, 16 (10), 701–716.
- Tjokrodinuljo, Kardiyo., 2012, *Teknologi Beton*. KMTS FT UGM, Yogyakarta.