

Sifat Mekanik Beton Reaktif yang Menggunakan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Sebagian Semen dan Perlakuan Perawatan Panas (*Heat Curing*)

Masdar Helmi¹, Ratna Widyawati¹, Laksmi Irianti¹, Mufidah A. Annisa¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jalan S. Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145
Email : masdar.helmi@eng.unila.ac.id

Abstrak— Beton reaktif (*reactive powder concrete / RPC*) dikembangkan dengan cara pengaturan komposisi material dan perawatan panas.. Penelitian tentang pemanfaatan limbah industri dalam campuran beton reaktif masih dibutuhkan untuk mengurangi penggunaan semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat mekanik beton reaktif yang menggunakan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi perawatan panas. Variable penelitian berupa persentase penggantian semen (0, 10, 20, dan 30%) dan kondisi perawatan beton (di dalam air, diberi uap panas, dan dipanaskan dalam oven). Evaluasi meliputi sifat kelecakan adukan, kuat lentur dan kuat tekan beton reaktif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan persentase penggantian semen mengakibatkan kelecakan menurun. Kuat lentur beton reaktif optimum pada saat penggantian semen 10%. Kuat tekan beton umur 28 hari relative meningkat seiring dengan peningkatan persentase abu sekam jika perawatan dengan di rendam dalam air dan uap panas. Abu sekam berpotensi dapat menggantikan 30 % semen dalam campuran beton reaktif. Perawatan beton reaktif dengan sistem uap panas lebih baik dibandingkan lainnya.

Kata Kunci—Beton reaktif, abu sekam padi, perawatan panas, kelecakan adukan, kuat lentur, kuat tekan.

Abstract: *Reactive powder concrete (RPC) is developed by controlling the material composition and heat curing. Research on the use industrial waste as a component of RPC is still needed to reduce the amount of cement. The purpose of this research is to evaluate the mechanical properties of RPC which used some rice husk ash (RHA) as a part of cement replacement with heat curing condition. The experiment variables used were the percentage of cement replacement (0, 10, 20, and 30%) and curing conditions (water, steam and oven). Evaluation covers the properties of fresh mixture, flexural strength and compressive strength. The results show that increasing the RHA percentage reduced the workability. The optimum flexural strength was achieved at 10% of cement replacement. Compressive strength at 28 days increased in line with the rusk hush ash percentage for curing in water and with steam. Rice husk ash potentially replaced amount of cement up to 30%. The curing with steam was better than others.*

Keywords: *Reactive powder concrete, rice husk ash, heat curing, workability, flexural strength, compressive strength.*

I. PENDAHULUAN

Beton reaktif (*reactive powder concrete /RPC*) merupakan salah satu jenis beton mutu tinggi yang dibuat dari bahan dan cara yang berbeda dengan beton pada umumnya. Beton reaktif tidak menggunakan agregat kasar dan mengandung banyak partikel halus (<600 μm) yang berasal dari semen, *silicafume*, pasir dan campuran bubuk reaktif lainnya. Material berupa bubuk tersebut dapat bereaksi secara kimiawi, misalnya proses hidrasi dari partikel semen, reaksi *pozzolonic* dari *silicafume* dan pembentukan mineral *tobermorite* atau *xonotlite* dari *calcium silicate hydrate* (CSH) pada saat beton dipanaskan [1]. Bubuk reaktif biasanya berasal dari berbagai limbah industri yang mengandung silika, seperti *silicafume*, *fly ash* (FA), *ground blast-furnace slag* (GGBS), *abu sekam* dan abu organik [2] - [5].

Silicafume dalam bentuk silika amorf merupakan bahan yang sangat reaktif pada suhu tinggi. Butirannya yang sangat halus akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan selama hidrasi silikat kalsium [6]. Selain sifat reaktif tersebut, partikel *silicafume* yang sangat halus juga dapat mengisi celah antara partikel semen dan memberikan efek pelumasan untuk pergerakan antar butiran [1]. Penggunaan butiran material berukuran sangat halus dalam campuran beton reaktif ini bisa menghasilkan campuran yang lebih homogen dan susunan mikro struktur beton yang sangat padat. Bahan GGBS merupakan kerak (*slag*) non-metal dari pembakaran tanur tinggi pada pengolahan aluminium. Abu sekam diperoleh dari pembakaran kulit padi pada suhu 500-600°C sehingga dapat menghilangkan semua komponen organik dan menyisakan komponen anorganik [7]. Abu sekam ini mengandung banyak silika dan sedikit logam oksida yang dapat digunakan untuk berbagai proses kimia [8].

Pada umumnya penggunaan mineral dari berbagai limbah industri ke dalam campuran beton bertujuan untuk mengurangi jumlah semen [9], [10]. Referensi [11] juga melakukan upaya ini dengan menggunakan FA dan GGBS untuk pengganti sebagian semen dalam campuran beton reaktif. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan komposisi *silicafume* 35 % dari berat semen, FA atau GGBS dapat menggantikan sebagian semen hingga 60% dan menghasilkan kuat tekan beton lebih dari 100 MPa. Hal ini terkait dengan dengan kehalusan butiran FA atau GGBS yang

dapat memodifikasi *micro structure* pasta beton dengan mengisi pori-pori kapiler.

Pemanasan beton reaktif selain bertujuan untuk mempercepat proses hidrasi semen, juga untuk mengaktifkan sifat *puzzolan* dari butiran-butiran silika [12]. Para peneliti menggunakan proses pemanasan beton reaktif ini dengan beberapa cara, temperatur dan lamanya. Referensi [11] menggunakan autoklaf pada suhu 210 °C selama 8 jam; oven suhu 240 °C bertekanan 2 MPa selama 24 jam [12]; autoklaf suhu 400 °C bertekanan 625 atm selama 6 jam [13]; oven suhu 100 °C selama 3 hari [14]; uap air suhu 90 °C selama 24 jam [15], oven suhu 150- 240 °C selama 8 jam [16], [17].

Keunikan beton reaktif adalah proses pemanasan beton pada periode hidrasi yang akan mempengaruhi sifat-sifat *microstructure* dan kekuatannya. Kandungan semen dalam komposisi bahan untuk beton reaktif juga menjadi perhatian para peneliti untuk menggunakan bahan lain sebagai penggantinya. Abu sekam yang mudah diperoleh di Indonesia juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian awal penggunaan abu sekam dalam campuran beton reaktif ini dengan dua cara perlakuan perawatan panas, yaitu panas uap air dan panas oven. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat mekanik beton reaktif yang menggunakan abu sekam sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi perawatan panas.

II. TEORI

A. Fungsi Perawatan Panas

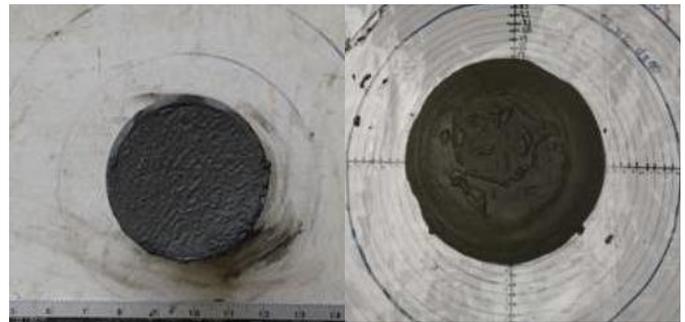
Pemberian panas pada beton reaktif setelah waktu pengikatan akhir semen pada temperatur antara 90 – 250 °C memiliki dua fungsi, yaitu untuk mempercepat proses hidrasi semen dan mendorong terjadinya reaksi *pozzolan* antara silicafume dan serbuk quartz [12], [13], [16]. Pemanasan ini juga dapat mengubah struktur mikro dari hidrat (C-S-H) dari trimer menjadi pentamer [12]. Jika temperature dinaikkan terus maka kristal hidrat akan mengalami kekurangan molekul air dan bisa berubah bentuk (transformasi) secara spontan menjadi mineral tobermorite pada suhu 150 °C dan selanjutnya bisa terbentuk xonotlite pada suhu >200 °C [13], [16].

B. Kelecekan Adukan

Kelecekan (*workability*) merupakan sifat adukan beton yang dapat menunjukkan tingkat kemudahan dalam proses pencampuran, pengangkutan, pencetakan, pemadatan dan perapihan. Pada umumnya tingkat kelecekan adukan beton diukur dengan *slump test* menggunakan kerucut *Abrams* yaitu kerucut baja yang terbuka pada kedua ujungnya.

Pada penelitian ini tingkat kelecekan adukan beton reaktif tidak diukur dengan *slump test* melainkan dengan *slump flow test*, yaitu untuk mengukur tingkat konsistensi penyebaran adukannya dengan sesuai standar ASTM C1611 [17] seperti terlihat pada Gambar 1. Tingkat penyebaran ini diukur dengan alat bantu sebuah tabung PVC berdiameter 75 mm dan

tinggi 150 mm. Adukan beton reaktif dimasukkan ke dalam tabung tersebut, kemudian tabungnya diangkat sehingga adukan tersebar akibat berat sendirinya. Konsistensi diukur dari rata-rata diameter sebaran adukan pada dua arah nya,



Gambar 1. Pengukuran tingkat konsistensi beton reaktif dengan *slump flow test*. (a) Saat adukan dimasukkan dalam tabung PVC; (b) Setelah tabung diangkat dan adukan tersebar

C. Kuat Lentur

Kuat lentur menunjukkan kemampuan beton untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus sumbu pada benda uji sampai mengalami keruntuhan. Pemberian beban pada uji lentur ada dua macam, yaitu satu beban terpusat di tengah bentang dan dua beban terpusat di sepertiga bentang. Kuat lentur ditentukan sesuai BS EN 196-1:2011 menggunakan benda uji prisma berukuran 40 x 40 x 160 mm dengan satu beban terpusat di tengah bentang yang bertumpu di atas dua tumpuan berjarak bersih 100 mm dengan persamaan (1).

$$f_r = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

f_r = Kuat lentur beton (MPa); P = Beban maksimum (N); L = Bentang tumpuan (mm); b = Lebar prisma (mm); h = Tinggi prisma (mm)

D. Kuat Tekan

Kuat tekan menunjukkan beban per satuan luas yang mampu ditahan oleh beton hingga hancur. Kuat tekan beton pada umumnya ditentukan menggunakan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm atau juga kubus berukuran 150 x 150 x 150 mm. Kuat tekan juga bisa diperoleh dari potongan benda uji lentur (sesuai BS EN 196-1:2011) yang diberi beban pada permukaan seluas 40 x 40 mm dan dihitung menggunakan persamaan (2).

$$f_{ck} = \frac{P}{A} \quad (2)$$

f_{ck} = Kuat tekan beton (MPa); P = Beban maksimum (N); A = Luas penampang beton (mm²).

III. METODOLOGI

A. Bahan, Peralatan dan Komposisi Campuran

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa semen *portland cement* (PC) tipe I merek Semen Padang, pasir halus lolos saringan no.2,4 mm dari Gunung Sugih, abu sekam dari pembakaran sekam lokal, *microsilica* merek Elkem, *Superplasticizer* dengan merk PUTOFF PF-01 dan air kualitas air minum.

Peralatan digunakan untuk pengujian sifat fisik material beton, pengadukan bahan, perlakuan perawatan dan pengujian sifat mekanis beton. Mesin pengaduk beton kapasitas 10 liter yang digerakkan dengan tenaga listrik dan dapat diatur kecepatan putar pengaduknya. Cetakan benda uji berupa mould baja berAlat untuk perawatan beton menggunakan uap air panas berupa kotak bahan kayu dilapisi aluminium di bagian dalamnya berukuran 10x20x30 cm yang dihubungkan dengan sumber uap air panas. Sedangkan perawatan panas menggunakan oven pada temperatur 180° C. Alat uji sampel menggunakan universal testing machine (UTM) yang dapat disetting untuk uji lentur dan uji tekan.

Komposisi campuran mengacu pada perbandingan berat seperti yang sudah dilakukan dalam penelitian sebelumnya [17], seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi beton reaktif per 1 m³ (kg)

Bahan	Persentase abu sekam			
	0%	10%	20%	30%
Semen	830	747	664	581
Silicafume	208	208	208	208
Abu sekam	0	83	166	249
Pasir	488	488	488	488
Air	287	287	287	287
Superplastisizer	55	55	55	55
Rasio air/semen	0,35	0,38	0,43	0,49
Rasio air/powder	0,28	0,28	0,28	0,28

B. Pencampuran Bahan dan Pembuatan Benda Uji

Proses pencampuran bahan beton reaktif merupakan faktor penting untuk menentukan konsistensi adukan. Beton reaktif yang banyak mengandung bahan sangat halus dan rasio air-semen yang rendah mengakibatkan proses pencampurannya berbeda dengan beton pada umumnya. Proses pencampuran dalam penelitian ini mengadopsi penelitian sebelumnya [17]. Pada mulanya bahan-bahan beton yang masih kering dimasukkan ke dalam mangkuk stainless steel, kemudian diaduk dengan kecepatan putar sekitar 120 rpm selama 2 menit dan dilanjutkan dengan kecepatan hingga ~ 450 rpm selama 2 menit lagi. Sebelum dituangkan ke dalam mangkuk pengaduk, air dan *superplasticiser* dicampur terlebih dahulu kemudian ditambahkan dan dicampur selama sekitar 5 menit sampai campuran memiliki tampilan yang konsisten. Seluruh proses pencampuran memakan waktu sekitar 12-16 menit.

Setelah campuran menjadi konsisten, terlihat dari bentuknya yang mudah mencair, kemudian dimasukkan ke dalam cetakan baja yang berisi tiga prisma dengan dimensi 40 x 40 x 160 mm dan sudah diminyaki oli. Penggunaan oli membantu mengurangi gesekan pada antarmuka cetakan dan beton reaktif yang mengeras.

C. Perawatan Benda Uji

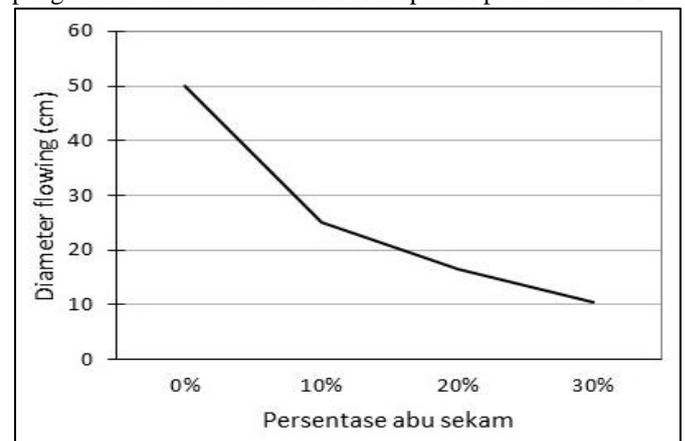
Setelah berumur sehari dari pengecoran, benda uji dilepas dari cetakan, kemudian dilakukan perawatan dengan 3 cara:

1. Perendaman dalam air; dengan cara meletakkan sampel ke dalam bak baja berisi air pada suhu ruang.
2. Pemanasan uap air; dengan meletakkan sampel ke dalam kotak kayu berlapis aluminium di dalamnya yang diberi uap air panas suhu 90 °C berasal dari perebusan air dalam panci selama 4 jam
3. Pemanasan dalam oven; dengan meletakkan sampel ke dalam oven bersuhu 180 °C selama 8 jam.

IV. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Keleccakan Adukan

Tingkat konsistensi adukan beton reaktif dapat dilakukan dengan mengukur diameter pada keempat sisi sebaran adukan yang terbentuk setelah tabung PVC diangkat. Hasil rata-rata pengukuran tersebut kemudian ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tingkat konsistensi adukan beton reaktif

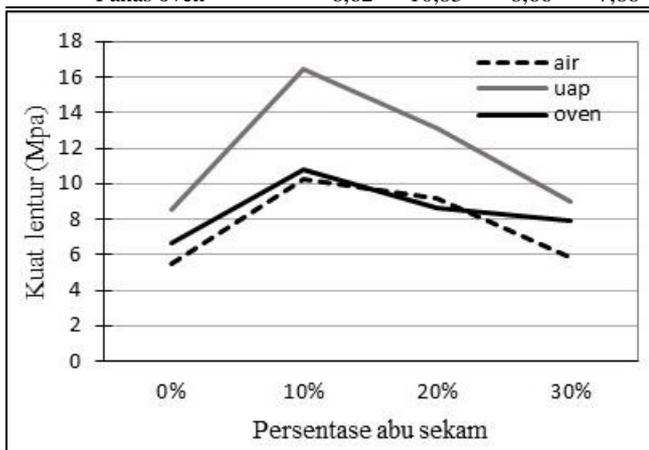
Kurva pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai *slump flow* semakin menurun seiring dengan bertambahnya persentase penggantian semen dengan abu sekam. Penurunan tingkat konsistensi ini dapat disebabkan semakin banyak air yang terserap abu sekam sehingga adukan mengalami kekurangan air bebas dipermukaan butiran pasirnya. Dengan demikian semakin banyak kandungan semen yang digantikan dengan abu sekam, maka akan semakin kecil tingkat penyebarannya yang berarti akan semakin sulit adukan beton reaktif untuk diaduk, dituang hingga dipadatkan.

B. Kuat Lentur

Kuat lentur diperoleh dari pengujian sampel pada umur 7 hari yang dibebani beban terpusat di tengah bentangnya di atas tumpuan sederhana. Kuat lentur dihitung menggunakan persamaan 1 dan hasil rata-rata dari 3 sampel untuk semua komposisi beton reaktif dan perlakuan perawatan ditampilkan pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan perawatan pada benda uji memiliki dampak yang bervariasi pada kuat lentur beton reaktif.

Tabel 2. Kuat lentur beton reaktif untuk semua perawatan (MPa)

Perawatan	Persentase abu sekam			
	0%	10%	20%	30%
Rendam air	5,46	10,23	9,14	5,89
Uap panas	8,56	16,48	13,11	9,00
Panas oven	6,62	10,83	8,66	7,88



Gambar 3. Kuat lentur optimum beton reaktif

Penggantian sebagian semen cenderung menurunkan kekuatan lentur seiring dengan peningkatan persentase abu sekam, kecuali pada saat penggantian semen 10%. Kuat lentur beton reaktif paling tinggi (16,48 MPa) diperoleh pada saat benda uji diperlakukan perawatan uap panas sebesar, diikuti dengan perawatan panas oven sebesar 10,83 MPa dan perawatan rendam dalam air sebesar 10,23 MPa. Pada komposisi penggantian semen 10 % ini kuat lentur optimum untuk semua jenis perawatan, seperti terlihat pada Gambar 3. Apabila dibandingkan kuat lentur yang diperoleh dari benda uji yang direndam dalam air, maka perawatan dengan uap panas menghasilkan peningkatan kuat lentur berkisar 40 % - 60 %, sedangkan perawatan dengan panas oven hanya meningkatkan sedikit kuat lenturnya bahkan ada yang lebih rendah saat persentase 20 %.

C. Kuat Tekan

Kuat tekan beton diperoleh dengan cara memberikan beban pada potongan benda uji lentur menggunakan UTM dengan luas kontak yang tertekan 40 x 40 mm dan tinggi 40 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji berumur 7 hari

dan 28 hari. Perhitungan kuat tekan menggunakan persamaan 2 dan hasil rata-rata dari 3 benda uji untuk semua komposisi dan perlakuan perawatan ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kuat tekan beton reaktif umur 7 dan 28 hari (MPa)

Perawatan	Umur beton (hari)	Persentase abu sekam			
		0	10	20	30
Rendam air	7	30,13	39,46	39,2	34,17
	28	43,13	41,85	43,5	49,85
Uap panas	7	29,85	38,04	39,8	37,44
	28	31,94	39,27	45,3	54,44
Panas oven	7	33,13	49,23	36,96	35,79
	28	41,31	52,35	40,35	41,38

Pada umur 7 hari kuat tekan beton reaktif cenderung meningkat seiring dengan persentase abu sekam. Pada sampel yang dirawat dengan perendaman dalam air dan uap panas, kuat tekan meningkat sampai dengan persentase abu sekam 20% dan kemudian sedikit menurun pada persentase abu sekam 30 % seperti terlihat pada Gambar 4. Sedangkan pada perawatan panas oven, kuat tekan meningkat drastis pada persentase abu sekam 10 % hingga mencapai 49,23 MPa dan kemudian menurun hingga 35,79 MPa pada persentase abu sekam 30 %.

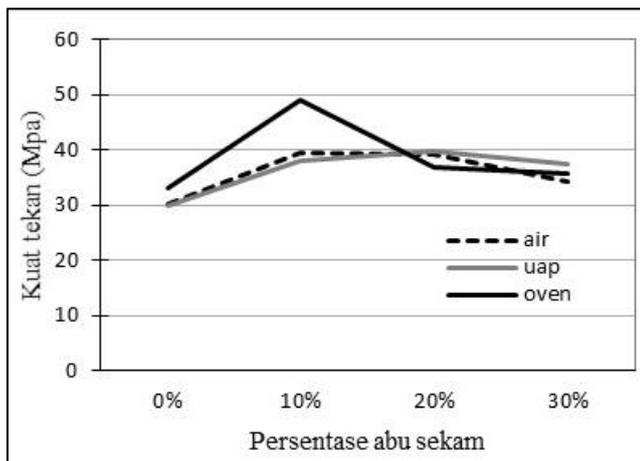
Fenomena kuat tekan beton reaktif pada umur 28 hari sedikit berbeda dengan umur 7 hari. Kuat tekan beton reaktif cenderung meningkat seiring dengan persentase abu sekam pada sampel yang dirawat dengan perendaman dalam air dan uap panas seperti terlihat pada Gambar 4. Pada persentase abu sekam 30 %, kuat tekan mencapai 48,55 MPa pada perawatan direndam air dan 54,44 MPa dengan uap panas. Sedangkan pada sampel dengan perawatan panas oven, fenomenanya mirip dengan saat umur 7 hari dimana kuat tekan meningkat drastis pada persentase abu sekam 10 % mencapai 52,35 MPa dan kemudian menurun hingga 41,38 MPa pada persentase abu sekam 30 %.

Pada umur 28 hari ini kuat tekan beton reaktif pada persentase abu sekam 30% untuk semua jenis perawatan juga tidak jauh berbeda dengan persentase abu sekam 30%. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian [3], [5], [18]. Dengan demikian abu sekam memiliki potensi untuk digunakan menggantikan sebagian semen hingga 30 % dalam adukan beton reaktif yang menghasilkan kekuatan yang tidak jauh berbeda dengan komposisi 100% semen.

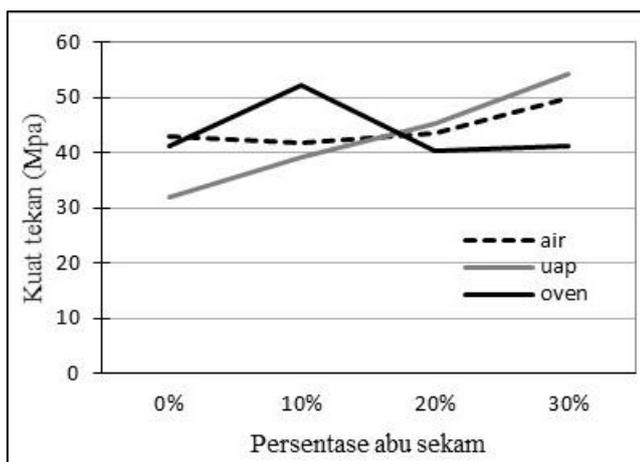
Pada komposisi beton reaktif 100 % semen, perawatan sampel dengan uap panas mengakibatkan kuat tekan menurun, baik saat umur 7 hari maupun 28 hari, dibandingkan dengan sampel yang direndam dalam air. Sedangkan perawatan sampel dengan uap panas dapat meningkatkan kuat tekan saat umur 7 hari menurun, namun menurunkan kuat tekan saat

umur 28 hari, Pada komposisi 10 % abu sekam, kuat tekan sedikit dipengaruhi perawatan uap panas, namun kuat tekan sangat dipengaruhi perawatan panas oven.

Perawatan sampel dengan uap panas menghasilkan kuat tekan yang cenderung meningkat sejalan dengan peningkatan persentase penggantian semen dan umur beton reaktif. Hal ini dapat disebabkan uap panas dapat meningkatkan reaksi puzzolan yang berasal dari abu sekam [9] - [11]. Sedangkan penurunan kuat tekan pada perawatan sampel dengan panas oven disebabkan terjadinya penguapan air secara cepat dari gel CSH sehingga menimbulkan tekanan dalam pori-pori dan tegangan tarik pada bagian pasta semennya. Jika tegangan ini melebihi kapasitas pastanya, maka akan menimbulkan microcacks yang tersebar di bagian pasta semennya [17].



Gambar 4. Kuat tekan beton reaktif umur 7 hari



Gambar 5. Kuat tekan beton reaktif umur 28 hari

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Semakin tinggi persentase abu sekam menggantikan semen dalam campuran beton reaktif maka kecacakan adukan semakin menurun.
2. Kuat lentur beton reaktif optimum pada saat sebagian semen digantikan 10 % abu sekam untuk semua jenis perawatan beton, direndam dalam air, diberi uap panas, dan dipanaskan dalam oven.
3. Kuat tekan beton reaktif cenderung meningkat sejalan dengan peningkatan persentase penggantian semen hingga 30% abu sekam pada perawatan dalam air dan uap panas. Sedangkan pada perawatan dengan panas oven hanya meningkat sampai dengan 10% abu sekam.
4. Abu sekam berpotensi menggantikan sebagian semen sampai dengan 30 % pada campuran beton reaktif karena masih menghasilkan kuat tekan relative sama dengan komposisi 100 % semen.

REFERENSI

- [1] P. Richard, and M. Cheyrezy, "Composition of reactive powder concretes," *Cement and Concrete Research*, vol. 25, pp. 1501-1511, Oct. 1995.
- [2] Y. R. Alkhalay, "Reactive powder concrete dengan sumber silika dari limbah bahan organik," *Teras Jurnal*, vol. 3(2), pp. 157-166, Sep. 2013.
- [3] Triastuti and A. Nugroho, "Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi terhadap Sifat Mekanik Beton Busa Ringan," *Jurnal Teknik Sipil ITB*, vol. 24(2), pp. 139-144, Agt. 2017
- [4] A. K. M. L. Rahman, A. Barai, A. Sarker, and M. Moniruzzaman, "Light weight concrete from rice husk ash and glass powder," *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.* vol. 53(3), pp. 225-232, Jan. 2018.
- [5] H. T. Le, S. T. Nguyen, and H-M. Ludwig, "A Study on High Performance Fine-Grained Concrete Containing Rice Husk Ash," *International Journal of Concrete Structures and Materials*. vol.8 (4), pp. 301-307, Dec. 2014
- [6] A.M. Neville. *Properties of concrete*, Prentice Hall, 5th edition, 872 p, 2011.
- [7] Amaria, "Adsorpsi Ion Sianida dalam Larutan Menggunakan Adsorben Hibrida Aminopropil Silika Gel dari Sekam Padi Terimpregnasi," *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. vol.19 (1), pp. 56-65, Jan. 2012.
- [8] W. Xu, T. Y. Lo, W. Wang, D. Ouyang, P. Wang, and F. Xing, "Pozzolanic Reactivity of Silica Fume and Ground Rice Husk Ash as Reactive Silica in a Cementitious System: A Comparative Study," *Materials*. vol. 9(146), pp. 1-14, March 2016.
- [9] S. A. Zareeia, F. Amerib, F. Dorostkarc, and M. Ahmadi, "Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties," *Case Studies in Construction Materials*. vol. 7, pp. 73-81, May 2017.
- [10] A. Shukla, C. K. Singh, and A. K. Sharma, "Study of the Properties of Concrete by Partial Replacement of Ordinary Portland Cement by Rice Husk Ash," *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, vol. 04, pp. 965-968, Oct. 2011
- [11] H. Yazıcı, H. Yiğiter, A.S. Karabulut, and B. Baradan, "Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete," *Fuel*, vol. 87(12), pp. 2401-2407, Sep. 2008
- [12] A. Cwirzen, "The effect of the heat-treatment regime on the properties of reactive powder concrete," *Advances in Cement Research*, vol. 19(1), pp. 25-33, Jan. 2007.
- [13] M. Cheyrezy, V. Maret, and L. Frouin, "Microstructural analysis of RPC (reactive powder concrete)," *Cement and Concrete Research*, vol. 25 (7), pp. 1491-1500, June 1995.

- [14] H. Yazıcı, M.Y. Yardımcı, S. Aydın, and A.Ş. Karabulut, "Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes," *Construction and Building Materials*, vol. 23(3), pp.1223-1231, March 2009.
- [15] H. Yazıcı, M.Y. Yardımcı, H. Yigiter, S. Aydın, S. Turkel, "Mechanical properties of reactive powder concrete containing high volumes of ground granulated blast furnace slag," *Cement and Concrete Composite*, vol. 32(8), pp. 639-648, 2010.
- [16] C.M. Tam, and V.W.Y. Tam. "Microstructural behaviour of reactive powder concrete under different heating regimes," *Magazine of concrete research*, vol. 64(3), pp. 259-267, March 2012
- [17] M. Helmi, M.R. Hall, L.A. Stevens, and S.P. Rigby, "Effects of high-pressure/temperature curing on reactive powder concrete microstructure formation," *Construction and Building Materials*, vol. 105, pp. 554-562, Jan. 2016.
- [18] K. Ganesan, K. Rajagopal, and K. Thangavel, "Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete," *Construction and Building Material*. vol (22), pp. 1675-1683, Agt. 2008.