



Research Articles

Sifat Rheology dan Sifat Mekanis Beton Semi Ringan Batu Apung dengan Penggantian Sebagian Semen dengan Abu Sekam Padi

Rheological and Mechanical Properties of Semi Light-weight Pumice Concrete due to Partial Substitution of Portland with Rice Husk-Ash

I Nyoman Merdana^{*}, Fathmah Mahmud, Yasid Bastomi Muttakin

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mataram
Nusa Tenggara Barat Indonesia Telp. 0370-638436

*corresponding author, email: nnmerdana@unram.ac.id

Manuscript received: 23-07-2024. Accepted: 28-09-2024

ABSTRAK

Dari sudut pandang ilmu rekayasa gempa, semakin besar massa suatu struktur maka semakin besar pula gaya geser yang harus dipikul oleh suatu struktur, dan begitu juga sebaliknya. Untuk memperoleh struktur yang ringan namun tetap kuat, dapat digunakan beton ringan sebagai alternatif pengganti beton konvensional. Beton ringan dapat dibuat dari berbagai jenis agregat kasar yang mana satu diantaranya yaitu Batu apung. Timbulnya retak retak rambut pada permukaan beton akibat panas hidrasi dapat dicegah dengan mengurangi jumlah semen. Jumlah semen tersebut dapat diganti dengan bahan pozzolan alam yang relatif mudah dan murah untuk didapatkan yaitu Abu sekam padi. Studi ini mempelajari sifat-sifat Rheology dan Sifat Mekanis beton ringan batu apung akibat pengaruh penggantian sebagian porsi semen dengan Abu sekam padi. Abu sekam padi yang digunakan telah disiapkan dengan membakar sekam padi pada tungku dengan suhu sekitar $700^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam. Sifat kimiawi Abu sekam padi dan juga sifat kimiawi Batu apung telah diuji dilaboratorium. Untuk pengujian Kuat tekan f_c dan Modulus Elastisitas beton E_c telah disiapkan benda uji silinder $15\times 30\text{cm}$ sesuai SNI 1974-2011 yang diuji pada umur 28, 56 dan 90 hari. Dari serangkaian pengujian yang dilakukan diperoleh bahwa penggunaan Abu sekam padi sangat berpengaruh terhadap sifat Rheology dari Beton batu apung semi ringan. Selanjutnya Penggantian semen dengan Abu sekam padi potensial untuk digunakan dengan kadar optimum 5% penggantian semen. Kuat tekan dan Modulus Elastisitas Statis beton ringan dipengaruhi oleh umur beton.

Kata kunci: Abu sekam padi, Beton Semi Ringan Batu Apung, Sifat Rheology, Sifat Mekanis

ABSTRACT

From point view of earthquake engineering, the greater the mass of a structure, the greater the shear force imposed on the structures, and vice versa. To obtain a lightweight strong structure, lightweight concrete can be used instead of conventional concrete. Lightweight concrete can be made from various types of coarse aggregates, such as pumice. Smooth cracks occurred on the concrete surface due to hydration can be prevented by reducing cement content. Some amount of the cement can be replaced with natural pozzolan which relatively easy and low-cost to produce. This research is to examine rheological and Mechanical properties of semi light-weight concrete due to partial replacement of cement content with Rice husk ash. The rice husk ash was prepared by burning Rice Husks in a furnace

at a temperature of $700^{\circ}\pm 50^{\circ}\text{C}$ for 4-hours. The chemical properties of both the Rice Husk Ash and Pumice was also tested in laboratory. In this study, the Compressive strength f'_c and the Modulus of Elasticity of concrete E_c were tested with 15x30cm cylindrical specimens prepared according to SNI-1974-2011 tested at age of 28, 56 and 90 days. Based on a series of tests conducted, it was found that the Rheological properties of Semi-Light Pumice Concrete was greatly governed by the Rice Husk Ash. Furthermore, Partial cement replacement with Rice Husk Ash was potentially to be used with an optimum of 5% cement content. The compressive strength and Modulus of Elasticity of Semi Lightweight concrete are influenced by the age of the concrete testing.

Keywords: Rice Husk Ash, Semi Lightweight Pumice Concrete, Rheological Properties, Mechanical Properties

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang daerah rawan gempa bumi. Sampai saat ini beton masih menjadi bahan konstruksi yang paling populer untuk digunakan karena berbagai pertimbangan. Untuk mengurangi pengaruh beban gempa maka selalu diupayakan menggunakan bahan bangunan dengan massa yang ringan. Menurut SNI 03-2847 suatu beton dapat dikategorikan sebagai Beton ringan bila memiliki berat volume tidak lebih dari 1900kg/m^3 . Untuk tujuan mengurangi beban gempa dapat digunakan beton ringan (*Lightweight concrete*). Beton ringan dapat dibuat dari berbagai jenis agregat kasar yang mana satu diantaranya yaitu Batu apung (*Pumice*).

Telah diketahui secara luas bahwa secara umum beton ringan mempunyai sifat Workability yang rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut seringkali dipergunakan agregat halus dengan berat normal sebagai pengganti agregat halus ringan. Beton ringan yang terbuat dari agregat halus berat normal disebut Beton semi ringan, atau Beton ringan berpasir. Dewasa ini beton semi ringan telah banyak dipergunakan, baik untuk elemen struktural ataupun elemen non struktural seperti Joist, balok, panel panel dinding pracetak dan lainnya.

Konsumsi semen secara massif dalam dunia konstruksi cenderung mengakibatkan produksi semen yang juga meningkat secara signifikan karena adanya kebutuhan yang tinggi. Permintaan yang demikian tinggi terhadap produk semen juga pada akhirnya menimbulkan sisi negatif terhadap lingkungan yang berupa emisi gas karbondioksida dari pabrik semen. Menurut Fischetti et al (2023) bahwa produksi satu kilogram semen menimbulkan sekitar satu kilogram Karbon dioksida CO_2 . Produksi semen dan beton setiap tahun secara umum menimbulkan dampak negatif berupa 9% CO_2 dari semua emisi dunia. Laporan yang senada dari Lehne dan Preston (2018) bahwa lebih dari 4 miliar ton semen diproduksi per-tahun yang menyumbang sekitar 8% emisi CO_2 dunia. Dengan menggunakan bahan Additif seperti Fly ash, Silica fume dan bahkan Abu sekam padi pada komposisi semen diharapkan dapat menekan tingginya angka emisi CO_2 tersebut.

Beton ringan merupakan beton yang memiliki berat jenis yang lebih rendah dari berat jenis beton pada umumnya. Menurut SNI 2847, beton ringan ataupun beton ringan berpasir mempunyai berat jenis kurang dari 1900 kg/m^3 . Material penyusun beton ringan dapat terdiri dari agregat halus ringan dan agregat kasar ringan atau dengan agregat halus berat normal yang diikat dengan pasta semen. Salah satu agregat ringan yang umum dipakai adalah batu apung (*pumice*).

Riset tentang Abu sekam padi (ASP) dan beton ringan beberapa diantaranya yaitu Lamboan dkk (2016), Raheem dkk (2017), Heldita (2018), Kameshwar dkk (2020), Trimurtiningrum (2021), Patah dan Dasar (2022), dan Merdana dkk (2023).

Berdasarkan Heldita (2018) dan Kameshwar (2022), bahwa ASP sebagai bahan tambah maupun substitusi sebagian semen sangat memungkinkan dan mampu menambah kuat tekan. Lamboan dkk (2016) melaporkan bahwa setiap penambahan abu sekam padi mengharuskan penggunaan air yang semakin tinggi dikarenakan sifat abu sekam padi yang menyerap air. Penggunaan air dengan volume banyak akan menghasilkan pori-pori dalam beton yang akan menurunkan kualitas beton, sebaliknya jumlah air yang terlampaui rendah akan menurunkan Workability beton. Salah satu solusi yang diusulkan adalah dengan menggunakan bahan tambah kimia berupa Superplasticizer (SP) yang dapat mengurangi pemakaian air dengan tetap mempertahankan workability beton.

Konsistensi dan waktu pengikatan (Initial time dan Final time setting) penting dalam hidrasi beton karena menentukan laju perkembangan kekuatan. Temuan penelitian yang dilakukan oleh Kameshwar dkk (2020), Raheem dan Kareem (2017) menunjukkan konsistensi dan waktu pengikatan awal dan akhir meningkat dengan peningkatan ASP ke tingkat tertentu. Konsistensi semen campuran meningkat seiring dengan peningkatan persentase penggantian ASP. Nilai konsistensi semen campuran yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol dikaitkan dengan kehalusan ASP. Raheem dan Kareem (2017) melaporkan bahwa waktu pengikatan awal menurun dari tingkat penggantian ASP 5 hingga 11.25%, meningkat hingga 15%, dan kemudian turun dari tingkat penggantian ASP 15 hingga 25%. Kecuali untuk semen campuran dengan tingkat penggantian ASP 11.25% dan 25%, waktu pengikatan awal untuk semen campuran ASP lebih lama daripada campuran kontrol. Nilai waktu pengikatan awal yang rendah dapat dikaitkan dengan kandungan gipsum dan klinker yang rendah jika dibandingkan dengan campuran kontrol dan tingkat penggantian ASP lainnya yang dipertimbangkan. Hasil serupa juga diamati untuk waktu pengikatan akhir. Ini menyiratkan bahwa waktu pengikatan sensitif terhadap kandungan gipsum (yang tujuan utamanya adalah untuk memperlambat waktu pengikatan). Persyaratan Initial time setting minimum, yaitu setidaknya 30 menit dipenuhi oleh semen campuran dengan semua tingkat penggantian ASP. Persyaratan waktu pengikatan akhir maksimum 10 jam yaitu tidak melebihi 600 menit juga terpenuhi, kecuali penggantian ASP 15% yang gagal memenuhi persyaratan ini. Selain itu, seiring dengan meningkatnya kandungan ASP dalam semen, luas permukaannya pun akan meningkat. Akibatnya, proses hidrasi berlangsung lambat, sehingga waktu pengikatan menjadi lebih lama.

Laporan dari Lamboan (2016), dengan pengujian beton ringan dari batu apung dan ASP sebagai pengganti semen, pada usia 7,14 dan 28 hari disebutkan bahwa kebutuhan air pada campuran beton meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan ASP.

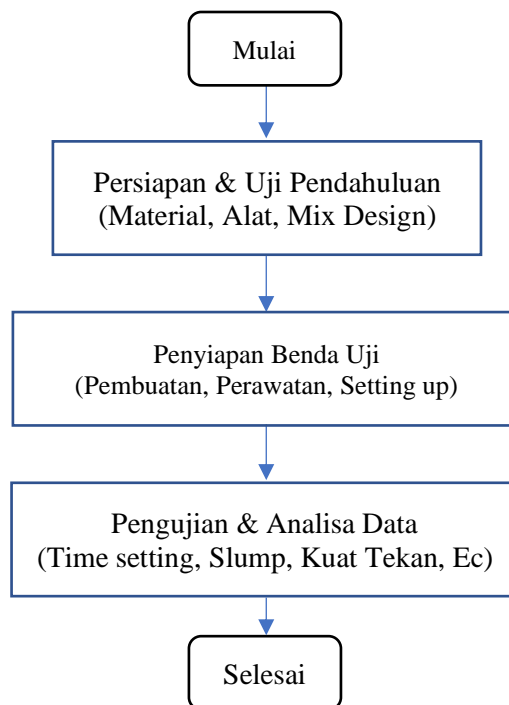
Dari beberapa studi yang telah diuraikan diatas nampak bahwa pada beton semi ringan terdapat hubungan yang erat saling terkait antara ASP sebagai Pozzolanic material, sifat Workability dan umur beton dengan Kuat tekan beton yang dicapai. Berangkat dari kondisi tadi diatas maka kajian ini ditujukan untuk membahas tentang penggunaan ASP ditinjau dari aspek Rheology yang mencakup Initial time setting, Final time setting dan Slump beton segar dan Sifat mekanis beton semi ringan batu apung. Dalam studi ini telah disiapkan silinder

15x30cm dari beton semi ringan batu apung dengan berbagai porsi ASP yang diuji pada umur 28, 56 dan 90 hari.

BAHAN DAN METODE

Pengujian Pendahuluan dan Rancangan Campuran

Secara garis besar langkah studi ini ditampilkan pada flowchart Gambar 1. Tahap pertama yaitu pengadaan bahan dan uji pendahuluan, persiapan alat serta perancangan campuran beton. Untuk tahap ini dilakukan pengujian terhadap pasir, Batu apung dan ASP. Pengujian untuk pasir berupa Analisa ayakan, Berat satuan, Berat jenis dan Kandungan lumpur yang masing masing berpedoman pada SNI 03-1968-1990, SNI 03-4804-1998, SNI-1970-2008 dan SNI-S-04-1989F yang mana hasilnya dirangkum pada Tabel 1.



Gambar 1. Flow Chart Langkah-Langkah Penelitian

Sedangkan untuk material batu apung juga diuji Analisa ayakan, Berat satuan, Berat jenis yang masing masing sesuai SNI 03-1968-1990, SNI 03-4804-1998, SNI-1969-2008. Hasil Analisa ayakan pasir dan Analisa ayakan batu apung diperlihatkan masing masing pada Gambar 2 dan Gambar 3. Selain itu, batu apung diuji keausannya mengikuti SNI 2417-2008 serta diuji secara kimiawi untuk mengetahui kandungan senyawa yang ada didalamnya yang mana hasilnya dicantumkan pada Tabel 1 dan Tabel 3. Sedangkan ASP dilakukan pengujian kandungan kimia dengan bantuan alat XRF-EDAX. Secara ringkas hasil pemeriksaan bahan penyusun beton dapat dilihat pada Tabel 1.

Tahap kedua yakni meliputi pembuatan, perawatan benda uji serta *Setting-up* pengujian sampel beton. Adapun benda uji yang digunakan dalam riset ini yaitu silinder beton berukuran 150x300mm yang dibuat sesuai SNI 1974-2011

Tabel 1. Resume Hasil Pengujian Bahan

Properti	Pasir	Batu Apung
BJ (SSD)	2630kg/m ³	1260kg/m ³
Berat isi rata-rata (Gembur)	1359kg/m ³	581kg/m ³
Mod. Halus butir	2.40	7.23
Penyerapan	6.02%	49.17%
Kand. lumpur	2.30%	---
Keausan agregat	---	48.34%
Senyawa Kimia	---	Tabel 3

Secara ringkas, hasil pengujian kandungan kimiawi dari ASP yang mana berasal dari Desa Sukamulia Lombok Timur dapat dilihat pada Tabel 2. Abu sekam padi tersebut diperoleh dari pembakaran sekam padi dengan tungku manual selama 4 jam dengan suhu yang dipertahankan berkisar 700±50°C yang selanjutnya diuji kandungan kimiawi-nya dengan dengan bantuan alat XRF-EDAX.

Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan adalah pasir alam dari sungai. Sedangkan batu apung yang digunakan adalah berdiameter nominal maksimum 20mm berasal dari desa Ijo Balit Kabupaten Lombok Timur NTB. Hasil pengujian kandungan kimiawi dari batu apung tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Kandungan Kimia ASP

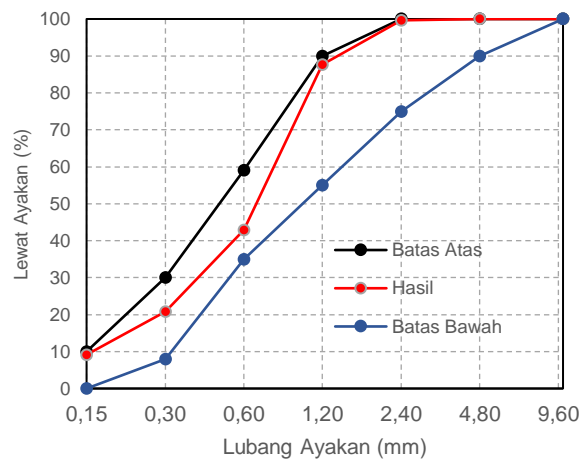
Senyawa Kimia	Berat (%)
SiO ₂	95.5
Fe ₂ O ₃	0.895
Al ₂ O ₃	---
CaO	1.73
K ₂ O	1.39
MnO	0.24
TiO ₂	0.03
Cr ₂ O ₃	0.053
CuO	0.065
BaO	0.046
ZnO	0.039

Berdasarkan Tabel 2 mengingat jumlah kumulatif kandungan Silika oksida, Alumina oksida dan Feroksida lebih dari 70%, maka ASP yang tersedia dalam studi ini layak untuk digunakan sebagai Pozzolan

Tabel 3 Resume Hasil Analisa Senyawa Kimia Batu Apung

Senyawa kimia	Berat (%)
SiO ₂	68.37
Al ₂ O ₃	16.26
Fe ₂ O ₃	4.26
Na ₂ O	3.67
MgO	2.51
CaO	4.93
K ₂ O	2.24
Cl	0.52

Sumber: Hasil Riset



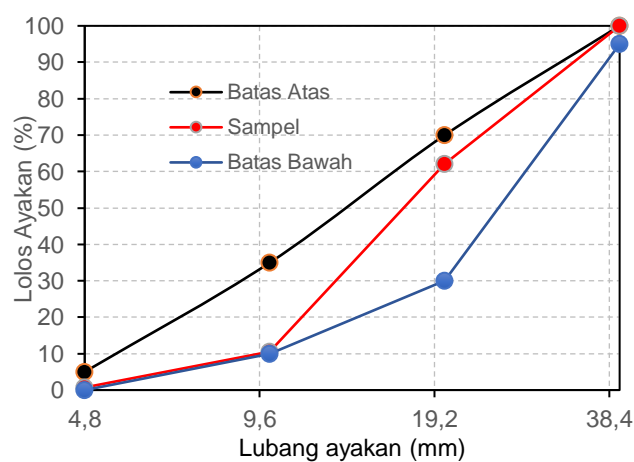
Gambar 2. Hasil Analisa Ayakan Pasir alam

Perancangan Proporsi Bahan Penyusun Beton

Rancangan campuran untuk tujuan riset ini telah dibuat mengikuti prosedur sebagaimana diuraikan pada SNI 3449-2002 yaitu Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan. Adapun rangkuman kebutuhan bahan beton ringan per-m³ yang disusun dengan kondisi *Superplasticizer* (SP) konsatan 0,40% dari massa binder yang mana setara dengan 1.32kg/m³ beton. Dalam studi ini prosentase ASP bervariasi dari 0-15% dari massa semen sebagaimana tercantum pada Tabel 4. Perlu juga diinformasikan bahwa semen yang digunakan dalam studi ini adalah Portland composite cement (PCC) sesuai SNI 7064-2014.

Tabel 4 Kebutuhan Bahan (dalam kg) Penyusun Beton Ringan (per-m³)

Benda Uji	Pasir	Pumice	PCC	ASP	Air	SP
BR00	845	488.5	330.5	0	145	1.32
BR05	845	488.5	314	16.5	145	1.32
BR10	845	488.5	297.5	33.0	145	1.32
BR15	845	488.5	280.9	49.6	145	1.32



Gambar 3. Hasil Analisa Ayakan Batu Apung

Kebutuhan Benda Uji

Secara ringkas kebutuhan sampel beton untuk pengujian ini dicantumkan pada Tabel 5. Benda uji pada Tabel 5 tersebut adalah silinder beton 15x30cm dengan umur yang bervariasi

yaitu 28, 56 dan 90 hari. Setelah beton dicor maka selanjutnya dirawat dengan perendaman selama 14 hari. Beton yang telah dirawat kemudian dibiarkan kering angin, yaitu tidak terkena sinar matahari secara langsung, sampai hari pengujian.

Tabel 5. Rancangan benda uji Beton Semi Ringan

Benda Uji	ASP (%)	Umur (hari) dan Jml. Benda Uji (bh)			Total (bh)
		28	56	90	
BR00	0	3	3	3	9
BR05	5	3	3	3	9
BR10	10	3	3	3	9
BR15	15	3	3	3	9

Pengujian Sampel Beton Ringan

Kuat Tekan Beton f'_c dan Modulus Elastisitas E_c

Kekuatan tekan f'_c dan Modulus Elastisitas E_c pada penelitian ini keduanya dilakukan dengan berpedoman pada SNI 1974-2011 dan ASTM C469-02. Kuat tekan f'_c , menurut SNI 1974 dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata rata sebagaimana ditunjukkan dengan Persamaan (1). Beban tekan diberikan secara berangsur angsur dengan loading rate rata rata 0,20MPa/dtk. Sedangkan Modulus elastisitas tekan E_c menurut ASTM C469 dihitung dengan Persamaan (2). Dalam pengukuran perpendekan beton digunakan alat Compressometer.

$$f'_c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

dengan:

- f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
- P = Ultimate load yang dicapai (N)
- A = Luas rata-rata tampang silinder beton (mm²)

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.00005} \tag{2}$$

dimana

- E_c = Chord Modulus of Elasticity (MPa)
- S_2 = Tegangan (MPa), pada kondisi 40-50% dari beban ultimit
- S_1 = Tegangan (MPa), yang bersesuaian dengan nilai regangan longitudinal $\epsilon_1=0.00005$
- ϵ_2 = Regangan beton yang ditimbulkan oleh tegangan S_2

HASIL DAN PEMBAHASAN

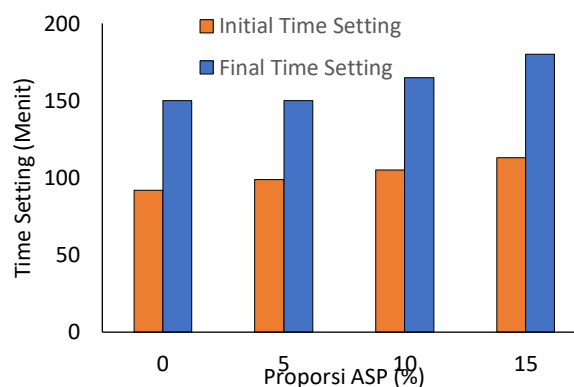
Waktu Ikut Semen PCC Dengan Abu Sekam Padi

Pengujian terhadap Time setting, baik Initial time setting maupun Final time setting dari semen ini ditujukan untuk mengetahui jumlah waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya pengikatan semen PCC dengan berbagai porsi penggunaan Abu sekam padi. Pengujian ini

berpedoman pada SNI 6827-2002. Adapun ringkasan hasil pengujian Konsistensi normal dapat dicantumkan pada Tabel 6. Hasil pengujian Waktu ikat semen PCC dengan berbagai porsi ASP ditunjukkan pada Gambar 4.

Tabel 6. Hasil Pengujian Konsistensi Normal Dari Semen PCC dengan Berbagai Porsi ASP

PCC (gr)	ASP		Air	
	(gr)	(%)	(gr)	(%)
400	0	0	112	28
380	20	5	128	32
360	40	10	144	36
340	60	15	160	40



Gambar 4 Hasil Pengujian Time Setting dari Semen PCC dengan Berbagai % ASP

Berpedoman pada Tabel 5 dan juga Gambar 4 nampak jelas bahwa Time setting, baik Initial time setting maupun Final time setting meningkat seiring dengan peningkatan jumlah porsi dari ASP. Dalam hal ini senyawa Trikalsium silikat (C_3S), Dikalsium silikat (C_2S), Trikalsium aluminat (C_3A) dan Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF) yang ada pada semen dan juga ASP menentukan sifat-sifat waktu ikat dari beton. Senyawa C_3S bersama dengan C_3A tersebut berperan dalam pengembangan kekuatan awal beton.

Bilamana senyawa Trikalsium Aluminat yang ada pada semen dan ASP disertai dengan air maka akan timbul hasil reaksi kimiawi berupa Gel yang kaku sehingga dengan demikian Waktu ikat akan terpengaruh. Hasil reaksi kimiawi tersebut, bersama dengan keberadaan senyawa Silika Oksida (SiO_2) yang ada pada ASP akan membentuk reaksi kimia berantai, yang pada akhirnya memperpanjang Waktu ikat semen.

Pengurangan jumlah penggunaan semen yang digantikan dengan ASP akan berakibat pada pengurangan kandungan C_3A yang memberikan dampak positif berupa penurunan panas hidrasi dari semen, sehingga apabila kandungan C_3A semakin kecil maka akan semakin lama waktu pengikatan semen. Hal ini konsisten dengan temuan yang diperoleh Raheem dkk (2017).

Nilai waktu pengikatan awal yang rendah dapat dikaitkan dengan kandungan Gypsum yang rendah jika dibandingkan dengan campuran kontrol dan tingkat penggantian ASP. Hasil serupa juga diamati untuk waktu pengikatan akhir. Ini menyiratkan bahwa Time Setting adalah sensitif terhadap kandungan Gypsum (yang tujuan utamanya adalah untuk memperlambat waktu pengikatan). Persyaratan Waktu ikat awal minimum (Minimum Initial time setting),

yaitu tidak kurang dari 30 menit telah dipenuhi oleh semen PCC campuran dengan semua tingkat prosentase penggantian ASP. Persyaratan waktu pengikatan akhir maksimum 10 jam (tidak melebihi 600 menit) yang ditetapkan oleh SNI 03 6827-2002.

Pengujian Slump

Tingkat kemudahan untuk dikerjakan (Workability) suatu beton mencakup kemudahan untuk, diangkat, dituang dan digetarkan dengan fibrator. Workability ini umumnya diukur dari nilai slump dengan alat Kerucut Abram sesuai SNI 03 1972-2008. Adapun ringkasan hasil pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 7.

Sesuai dengan hasil pengujian yang dilakukan maka nilai Slump dicantumkan pada Tabel 7 dan Gambar 5 Dari data tersebut nampak bahwa porsi dari penggantian PCC dengan ASP menentukan kinerja dari campuran beton dalam hal Workability. Karena sifat dari ASP yang menyerap air maka adukan beton saat pencampuran menjadi relatif lebih kaku yang pada akhirnya mengakibatkan penurunan nilai Slump. Kondisi ini konsisten dengan hasil pengujian Konsistensi normal pada Tabel 6.

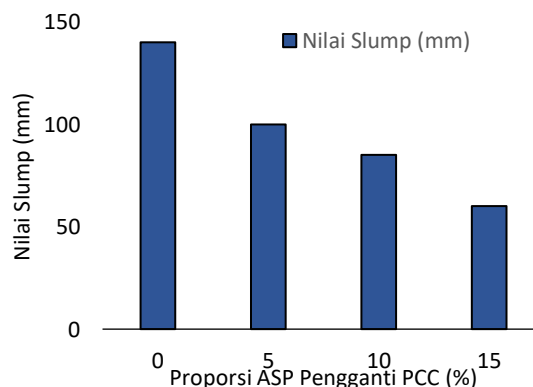
Tabel 7 Nilai Slump Beton Segar Semi Ringan

Proporsi ASP (%)	Nilai Slump (mm)	Penurunan (%)
0	140	-
5	100	28.57
10	85	39.28
15	60	57.14

Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan f'c dan Modulus Elastisitas Statis Ec

Dalam studi ini pengujian kuat tekan f'c beton ringan berpedoman pada SNI 1974-2011 yang setara dengan ASTM C-39 yang mana benda uji berupa silinder beton ringan yang berumur 28, 56 dan 90 hari. Sedangkan pengujian Modulus elastisitas Statis Ec merujuk pada ASTM C469-02.

Hasil pengujian kuat tekan f'c beton ringan dan Modulus Elastisitas Statis EC berbagai umur dapat dilihat pada Gambar 6, Gambar 7 dan Tabel 7.



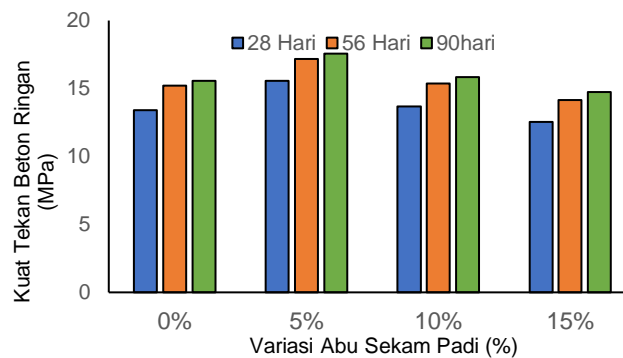
Gambar 5 Nilai Slump Beton Ringan dengan Berbagai Prosentase Penggantian ASP

Dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan untuk berbagai umur beton, baik beton umur 28, 56 dan 90 hari, maka dapat dilaporkan bahwa Kuat tekan beton ringan optimum

diperoleh dari beton semi ringan dengan porsi penggantian semen PCC dengan ASP sebanyak 5% dari berat *Binder*. Berdasarkan Tabel 7, Gambar 6 dan juga Gambar 7, nampak bahwa Kuat tekan beton semi ringan dan juga Modulus Elastisitas Statis E_c meningkat secara konsisten untuk setiap prosentase penggantian semen PCC, baik untuk umur pengujian 28, 56 maupun 90 hari. Selanjutnya Nilai Kuat tekan Optimum diberikan oleh sampel uji beton dengan penggantian semen sebanyak 5% ASP. Hal yang sama juga untuk nilai Modulus Elastisitas E_c beton ringan.

Tabel 7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Ringan f'_c dan Modulus Elastisitas Statis E_c pada Berbagai Umur Pengujian

Benda Uji	ASP (%)	Umur Beton (hari) dan Kuat Tekan f'_c (MPa)			Umur Beton (hari) dan E_c (MPa)		
		28	56	90	28	56	90
		BR00	0	13.4	15.2	15.6	6377
BR05	5	15.6	17.2	17.6	7151	7355	7682
BR10	10	13.7	15.4	15.9	6567	6942	7071
BR15	15	12.5	14.1	14.7	6106	6552	6606



Gambar 6 Grafik Kuat Tekan f'_c Beton Ringan Dengan Berbagai Porsi Penggantian PCC

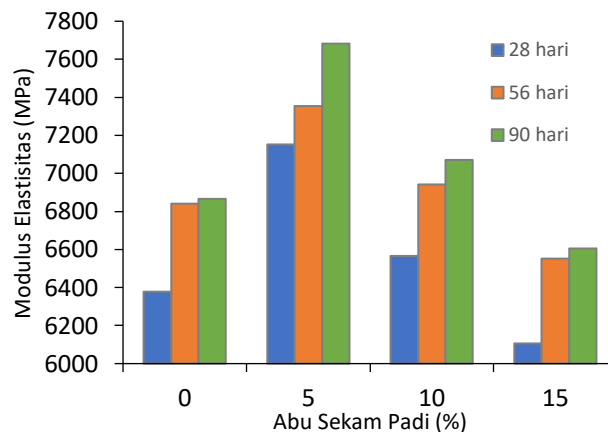
Dari gambar 6 dapat diketahui secara implisit bahwa kuat tekan beton ringan batu apung meningkat seiring dengan bertambahnya prosentase penggantian PCC dengan ASP sampai dengan penggantian 5% untuk semua umur beton ringan. Peningkatan tersebut diduga kuat karena adanya reaksi dari kandungan senyawa Silika dari ASP dengan senyawa kapur bebas sisa hasil hidrasi dari semen PCC yang menghasilkan Kalsium-Silikat-Hidrat C-S-H. Reaksi pozolanik tersebut membawa dampak positif berupa peningkatan kuat tekan beton ringan.

Untuk kondisi penggantian sebagian semen PCC dengan 10% ASP nilai kuat tekan mengalami penurunan, namun nilai kuat tekan tersebut masih diatas nilai kuat tekan dari beton kontrol (Beton dengan 0% ASP).

Sedangkan kuat tekan beton ringan, baik umur beton 28, 56 maupun 90 hari, untuk penggantian semen PCC dengan 15% ASP menimbulkan penurunan kuat tekan dibandingkan dengan kuat tekan beton kontrol. Keadaan ini diduga oleh karena senyawa Silika yang ada didalam ASP jumlahnya telah melebihi jumlah senyawa kapur yang tersedia untuk lebih lanjut

membentuk reaksi berantai. Kondisi terakhir ini membutuhkan studi lebih lanjut yang dapat menjadi topik riset tersendiri.

Dari pembahasan-pembahasan tersebut diatas, kuat tekan f'_c beton ringan, baik beton ringan kontrol maupun beton ringan dengan penggantian PCC, secara umum meningkat dengan bertambahnya umur sampel beton. Temuan ini sejalan dengan apa yang dilaporkan oleh Patah dan Dasar (2022).



Gambar 7 Grafik Nilai Modulus Elastisitas Ec Beton Ringan dengan Berbagai Prosentase Penggantian PCC

KESIMPULAN

Dari rangkaian pengujian dan pembahasan tersebut diatas dapat kiranya disimpulkan bahwa untuk semua pengujian kuat tekan f'_c beton ringan, baik pengujian umur 28, 56 maupun 90 hari, kuat tekan beton ringan optimum dihasilkan dari penggantian sebagian semen PCC dengan 5% ASP. Kondisi seperti ini juga diperoleh untuk pengujian Modulus Elastisitas Statis Ec. Sifat kemudahan untuk dikerjakan (Workability) sangat dipengaruhi oleh penggunaan ASP sebagai bahan pengganti sebagian semen PCC. Pemanfaatan Superplasticizer dapat meningkatkan dan mempertahankan sifat Workability dari beton semi ringan batu apung. Umur beton saat pengujian sangat berpengaruh terhadap Kuat tekan beton f'_c maupun Modulus Elastisitas Ec beton semi ringan ringan.

Ucapan Terimakasih

Riset ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram. Untuk itu disampaikan terimakasih banyak atas dukungan peralatan yang disediakan sehingga studi ini dapat diselesaikan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C469-02, (2002), Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States
- Fischetti, M., Bockelman, N., Srubar, W.V., (2023), Solving Cement's Massive Carbon Problem; New techniques and novel ingredients can greatly reduce the immense carbon emissions from cement and concrete production

- <https://www.scientificamerican.com/article/solving-cements-massive-carbon-problem/> (diakses 16 Sept 2024)
- Heldita, D. (2018). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton (Agregat Kasar Ex Desa Sungai Kacil, Agregat Halus Ex Desa Karang Bintang, Abu sekam Padi Ex Desa Berangas. *TAPAK* Vol. 8 No.1
- Kameshwar, P.; Athira, G.; Bahurudeen, A.; Nanthagopalan, P. (2020). Suitable pretreatment process for rice husk ash towards dosage optimization and its effect on properties of cementitious mortar. *Struct. Concr.* 2020, 22, E501–E513
- Lamboan, Felisa Octaviani., Kumaat, Ellen J., Windah, Reky S. (2016). Pengujian Kuat Tekan Mortar dan Beton Ringan Dengan Menggunakan Agregat Ringan Batu Apung dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik* Vol. 4 No.4
- Lehne, J., and Preston, F., (2018), Making Concrete Change; Innovation in Low-carbon Cement and Concrete, Chatham House; The Royal Institute of International Affairs; <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf> (diakses 16 Sept. 2024)
- Merdana, I., Pathurrahman, Winandar, R.A. (2023). Pengaruh Penggantian Semen Secara Parsial dengan Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis Beton Memadat Sendiri. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, Vol. 8, No. 1, Juni 2023, Hal. 147-154
- Patah, D. dan Dasar, A. (2022), Strength Performance of Concrete using Rice Husk Ash as Supplementary Cementitious Materials (SCM). *Journal of The Civil Engineering Forum*, September 2022, 8(3): 261-276 DOI 10.22146/jcef.3488. Cited in <https://journal.ugm.ac.id/v3/JCEF/issue/archive> Agustus 2024.
- Raheem, A.A.; Kareem, M.A. (2017). Chemical Composition and Physical Characteristics of Rice Husk Ash Blended Cement. *Int. J. Eng. Res. Afr.* 2017, 32, 25–35
- SK SNI S-04-1989-F. (1989): Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan logam). Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03 1968-1990, (1990), Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-4804-1998 (1998), Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03 3449-2002 (2002), Tata Cara Perancangan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03 6827-2002, Metode Pengujian Waktu Ikat Awal Semen Portland Dengan Menggunakan Alat Vicat Untuk Pekerjaan Sipil, Badan Standarisasi Nasional
- SNI-1969-2008, (2008), Cara uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Badan Standarisasi Nasional
- SNI-1970-2008, (2008), Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat halus, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 1972-2008, (2008), Cara Uji Slump Beton, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 2417-2008 (2008), Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, Badan Standarisasi Nasional.

SNI 7064-2014 Semen Portland Komposit, Badan Standarisasi Nasional Trimurtiningrum, R. (2021). Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Pengganti Semen terhadap Workability, Resapan dan Kuat Tekan Beton, *Pawon*, vol. 5, no. 2, 2021, pp. 201-212, doi:10.36040/pawon.v5i2.3470.)