

PEMANFAATAN CAMPURAN SERBUK BATU APUNG DENGAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI PENGGANTI SEMEN

The Utilization of Pumice Powder and Rice Husk Ash as a Substitute for Portland Cement

Miko Eniarti*, Muhammad Syahroni*, Shofia Rawiana*, Tri Sulistyowati*, Aryani Rofaida*

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram,
Jl. Majapahit No 62, Mataram 83125 Indonesia

Email : mikoeniarti@unram.ac.id, muhammadroney@gmail.com, shofiarawiana@unram.ac.id,
trisulistyowati@unram.ac.id, aryanirofaida@unram.ac.id

Manuscript received: 29 Januari 2024

Accepted:

05 Maret 2024

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pemanfaatan campuran serbuk batu apung dengan abu sekam padi sebagai pengganti semen. Nilai termahal dari bahan mortar adalah semen, oleh karena itu diupayakan mencari alternatif bahan yang bisa menggantikan fungsi semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen oleh bahan pozzolan alam terhadap sifat fisik pasta semen dan sifat mekaniknya. Analisis karakteristik semen yang menggunakan pozzolan alam di wilayah Mataram Nusa Tenggara Barat meliputi pengujian konsistensi normal, setting time, temperatur hidrasi dan uji kuat tekan. Proses pengujian dilakukan dengan beberapa variasi persentase yaitu 0%, 10%, 20% dan 30%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik penggantian semen oleh pozzolan alam dapat memperlama waktu pengerasan, menurunkan suhu hidrasi dan memerlukan volume air yang lebih besar untuk menjaga konsistensi normal. Adapun kekuatan pasta semen mencapai nilai optimum pada prosentase 10%, komposisi 20% masih memenuhi syarat SNI 03-6825-2002 yang pada akhirnya bisa menekan biaya konstruksi. Komposisi pozzolan 30% tidak direkomendasi untuk digunakan karena tidak memenuhi standar SNI.

Kata kunci : Pozzolan, Cementitious ratio, Sifat fisik, Kuat tekan.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material menuntut agar kita mendapatkan bahan bangunan yang kuat, awet dan ekonomis. Ketahanan terhadap lingkungan agresif menjadi hal penting untuk diperhatikan. Mortar mempunyai kelemahan terutama dari segi ketahanannya terhadap lingkungan agresif, disebabkan terbentuknya kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada proses hidrasi dimana kapur tersebut mempunyai sifat yang mudah larut dan bereaksi dengan lingkungan agresif karena sifatnya yang basa kuat, sehingga pada mortar mudah korosi jika diserang asam.

Bahan utama mortar adalah agregat halus, semen dan air. Dari segi ekonomis semen merupakan bagian yang termahal. Harga semen di negara-negara maju berkisar antara 1% s/d 2 % dari nilai bangunan, sedangkan di negara yang sedang berkembang seperti di Indonesia berkisar antara 10 % s/d 13 % dari nilai bangunan. Oleh karena itu pencarian material sebagai pengganti sebagian kebutuhan semen sudah cukup mendesak. Bahan bangunan yang berkualitas dengan harga yang relatif murah didapatkan dengan cara memanfaatkan bahan lokal, bahan limbah, bahan *renewable* disertai sifat fisik maupun sifat mekanik yang cukup kuat.

Pencampuran mortar dengan bahan pozzolan akan bisa mengurangi jumlah kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang terproduksi akibat proses hidrasi. Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silikat dan aluminat yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kalsium

hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa Kalsium Silikat Hidrat dan Kalsium Aluminat Hidrat yang bersifat hidraulis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah sehingga sangat berperan dalam pengerasan mortar.

Untuk mempertahankan viscositas dan mengurangi panas hidrasi seringkali mortar diberikan bahan substitusi semen berupa pozzolan. Abu sekam padi dan serbuk batu apung tersedia cukup melimpah di wilayah Nusa Tenggara Barat, sehingga kita gunakan sebagai bahan penelitian sebagai upaya untuk memperbaiki mutu bahan bangunan dan menekan harga agar ekonomis.

TINJAUAN PUSTAKA

Mortar merupakan campuran antara agregat halus dengan pasta semen, campuran tersebut apabila dituangkan ke dalam cetakan kemudian didiamkan akan mengalami proses hidrasi dan mengeras seperti batuan. Salah satu usaha untuk mendapatkan mortar yang padat adalah dengan mengisi pori-pori akibat adanya gelembung udara dan air pelincir yang menguap dengan bahan pengisi (*filler*) (Murdock dan Brooks, 1981). Mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), air suling dan semen portland dengan komposisi tertentu. Bahan pengikat antara semen dan air bereaksi secara kimia sehingga membuat suatu bahan yang padat dan tahan lama (SNI 03-6825-2002).

Menurut Zhang dan Malhotra, (1991) bahan pozzolan yaitu suatu bahan dengan kandungan silikat dan aluminat yang tinggi. Apabila bahan pozzolan tersebut dicampur dengan bahan kapur bebas dan air pada temperatur ruang, maka akan terjadi reaksi serta membentuk suatu ikatan (*cementing action*).

Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa kalsium silikat hidrat dan kalsium hidrat yang bersifat hidraulis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah (Subakti, 1994).

Menurut ASTM C 593-82 (dalam Aman Subakti, 1994) dilihat dari proses pembentukannya, bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: pozzolan buatan dan pozzolan alam. Pozzolan buatan berasal dari tungku maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif melalui proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice huck ash*) dan mikro silika (*silica fume*). Sedangkan pozzolan alam adalah bahan alam yang merupakan timbunan-timbunan atau bahan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif dan bila dicampur dengan kapur padam akan terjadi proses sedimentasi. Salah satu contoh pozzolan alam adalah batu apung.

Menurut ASTM C.618–85, pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silikat dan aluminat yang tidak mempunyai sifat perekat pada dirinya sendiri. Namun jika dihaluskan dengan kehalusan yang cukup memadai dengan adanya air senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kapur Ca(OH)_2 pada suhu normal akan menjadi material yang bersifat seperti semen yaitu sebagai perekat.

Menurut Bakri (2009), abu sekam padi (ASP) dapat dimanfaatkan sebagai pozzolan karena mengandung senyawa silika lebih dari 72%. Penggunaan ASP sebagai bahan tambah untuk beton yang terpapar air laut cukup menjanjikan hal ini disebabkan ASP dapat meningkatkan kuat tekan beton dan

dapat dimanfaatkan untuk mengantisipasi kerusakan beton akibat magnesium sulfat. Kadar optimum dari ASP adalah sekitar 17,5% dari berat semen, dimana pada penelitian tersebut ASP diperoleh dari lokasi pembakaran bata merah yang mana suhu pembakaran sekam padi tidak terkontrol.

Penelitian (Solikin dan Susilo 2016), dari pengamatan perkembangan kuat tekan beton normal menunjukkan bahwa ASP berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pengganti semen secara parsial karena mampu meningkatkan kuat tekan beton normal dan menghemat pemakaian semen. Untuk beton normal tanpa paparan magnesium sulfat, disimpulkan bahwa kuat tekan optimum beton normal diperoleh dengan kadar ASP 8% dari berat semen.

Penelitian Ngudiyono dan Sulistiyowati (2022) menggunakan limbah kayu sebagai bahan tambah beton normal, dengan variasi presentase 0-20 % dari berat semen. Hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas mencapai nilai optimum pada penambahan 5% limbah kayu. Seiring bertambahnya waktu kuat tekan dan modulus elastisitas terus meningkat dimana puncaknya saat umur 90 hari.

Penelitian tentang beton memadat sendiri (BMS) dengan variabel persentase penggantian semen dengan ABS 5-20 % dari berat semen dengan interval 5%, adapun variasi umur BMS adalah 7, 14 dan 28 hari. Nilai kuat tekan dan modulus elastisitas optimum dari BMS diperoleh dari penggantian semen dengan abu sekam padi sebanyak 10% dari berat semen. Kuat tekan BMS meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton (Merdana dkk 2023).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan secara eksperimental di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik, Universitas Mataram.

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah : (1)Semen portland tipe I merk Tiga roda (2) Abu sekam padi yang diambil dari pembakaran batu bata kemudian dihaluskan hingga lolos ayakan No. 200 (3) Batu apung diolah dengan cara digiling halus hingga lolos ayakan No. 200 (4) Air bersih yang diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik. Penentuan benda uji disesuaikan dengan jenis pengujian, jumlah dan variasi benda uji disajikan pada Tabel 1.

Untuk penentuan konsistensi normal dilakukan dengan membuat pasta atau campuran semen dengan air, sedangkan untuk pengujian setting time dilakukan dengan menggunakan alat vicat. Berikut prosedur masing-masing pengerjaan penelitian;

Pengujian Konsistensi Normal.

Menimbang semen sebanyak 650 g dan menakar air 156 ml. Memasukkan air ke dalam mangkok pengaduk yang siap dalam posisi mengaduk. Menambahkan semen ke dalam air dan dibiarkan 30 detik lalu dihentikan selama 15 detik. Mengumpulkan pasta yang menempel di dinding mangkok. Pengaduk dijalankan dengan kecepatan sedang selama 1 menit lalu dihentikan dan pasta diambil dengan tangan yang memakai sarung tangan karet. Membentuk pasta menjadi bola dengan kedua tangan dengan jarak ± 15 cm lalu ditekan ke dalam lubang yang besar dari cincin vicat. Cincin dengan lubang yang besar ini diletakkan pada plat kaca dan kelebihan pada lubang cincin yang kecil dipotong dengan sekali gerakan pisau aduk segitiga dan permukaan cincin dihaluskan dan dihindarkan penekanan pada pasta.

Menempatkan bagian tengah pasta pada cincin tadi di bawah batang peluncur lalu batang peluncur menembus sampai batas 10 ± 1 mm di bawah permukaan pasta.

Pengujian Waktu Pengikatan Dengan Alat Vicat

Menimbang semen sebanyak 650 g. Air dimasukkan ke dalam mangkok sesuai konsistensi normal. Menyiapkan pasta semen sesuai penyiapan pada penentuan konsistensi normal. Selesai mencetak, menempatkan benda uji dalam ruang lembab selama 30 menit dan dilakukan pengujian penetrasi dengan jarum vicat yang berdiameter 1 mm. Pengikatan awal ditandai bila jarum vicat menembus tidak lebih dari 25 mm. Pengikatan akhir ditandai bila jarum vicat tidak membekas pada permukaan benda uji.

Pengujian Perkembangan Temperatur Hidrasi

Campuran semen dan bahan pozzolan yang telah ditentukan dengan berat 300 gr dicampur dengan kebutuhan air pada konsistensi normal selama 3 menit. Pengamatan dilakukan dari awal sampai tercapai temperatur konstan kurang lebih 50 jam. Pada setiap 2 jam dilakukan pengamatan perkembangan temperatur hidrasi tersebut.

Tabel 1 Jumlah dan Variasi Benda Uji

Pozzolan terhadap CR (%)		C.R (%)	Semen (%)	Jumlah Benda Uji			
Abu Sekam Padi	Serbuk Batu Apung			Temperatur Hidrasi	Setting Time	Konsistensi Normal	Kuat Tekan
0	0	0	100	1	1	3	4
30	70			1	1	3	4
40	60			1	1	3	4
50	50	10	90	1	1	3	4
60	40			1	1	3	4
70	30			1	1	3	4
30	70			1	1	3	4
40	60			1	1	3	4
50	50	20	80	1	1	3	4
60	40			1	1	3	4
70	30			1	1	3	4
30	70			1	1	3	4
40	60			1	1	3	4
50	50	30	70	1	1	3	4
60	40			1	1	3	4
70	30			1	1	3	4

C.R. = Cementitious Ratio

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan memakai mesin uji tekan (*Compression Testing Machine*) dengan kapasitas maksimum 5000 kg. Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Prosedur pengujian sesuai dengan ASTM C 39 – 81 yaitu dengan kecepatan pembebanan 0,14 – 0,34 MPa/sec.

Dari hasil pengujian didapat nilai maksimum yang menyebabkan benda uji hancur (P_{maks}) kemudian dihitung kuat tekan mortar (fc') dengan menggunakan persamaan :

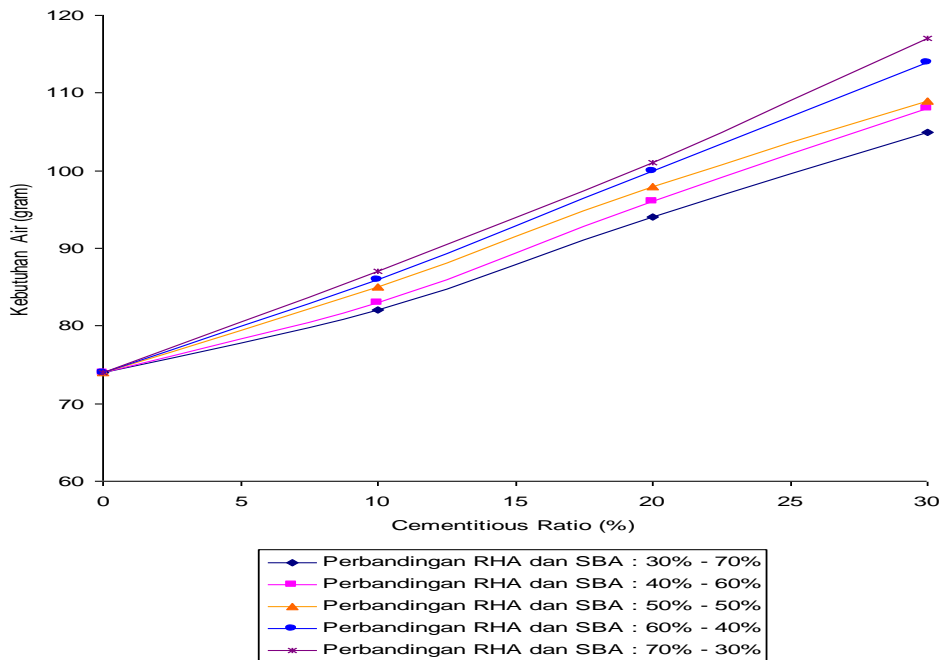
$$fc' = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dengan : fc' = kuat tekan (MPa), P_{maks} = beban maksimum (N), A = luas penampang benda uji (mm^2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsistensi Normal

Hasil penelitian ini merupakan indikasi banyaknya air yang dibutuhkan oleh setiap variasi penggantian sebagian semen oleh abu sekam padi dan serbuk batu apung yang menunjukkan kebasahan dari masing-masing variasi pasta tersebut. Konsistensi normal semen portland adalah suatu kondisi standar yang menunjukkan kebasahan pasta semen.



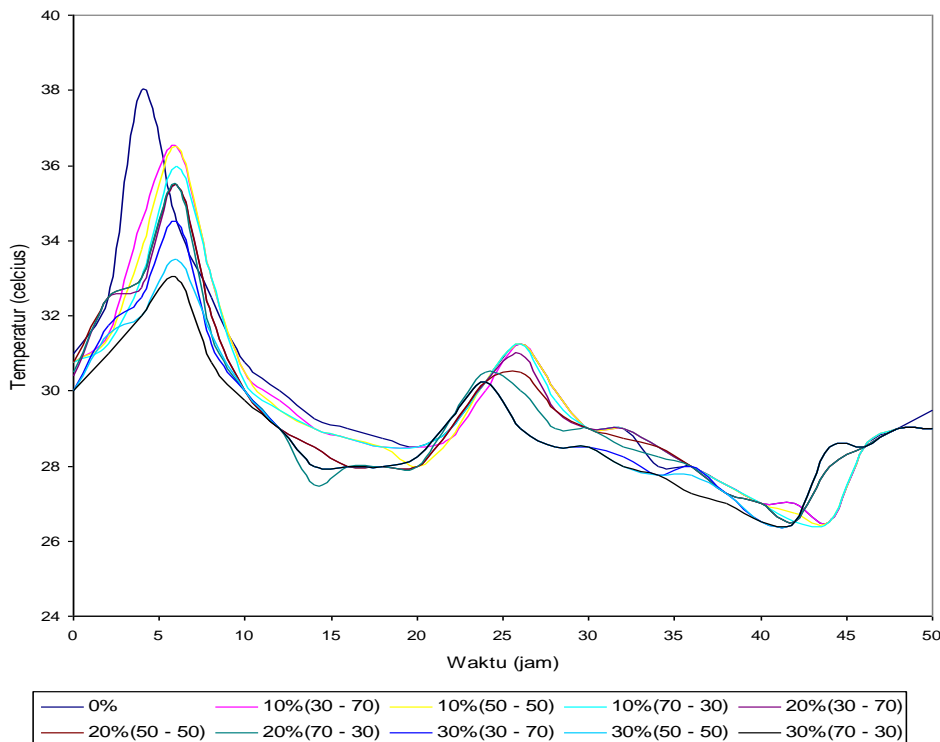
Gambar 1 Grafik Hubungan C R dan Berat Air

Berdasarkan Gambar1. terlihat bahwa dengan berbagai variasi komposisi serbuk batu apung dan abu sekam padi menunjukkan bahwa semakin besar nilai *Cementitious Ratio* maka kebutuhan air semakin banyak pula, hal ini disebabkan bahan pozzolan bersifat lebih menyerap air jika dibandingkan dengan semen Portland. Persentase antara abu sekam padi dan serbuk batu apung pada kelima variabel menunjukkan trend yang sama, semakin banyak abu sekam padi semakin banyak membutuhkan air. Hal ini selaras dengan hasil penelitian (Suparjo dkk 2014) nilai ketahanan aus agregat, kuat tekan agregat, dan kuat tekan silinder beton tertinggi terjadi dengan konsisten pada fas 0,70.

Dapat disimpulkan bahwa serbuk batu apung relatif sedikit kebutuhan airnya. Hal ini disebabkan oleh ukuran partikel abu sekam padi lebih kecil dibandingkan serbuk batu apung, sehingga total luas permukaan menjadi lebih besar sehingga membutuhkan air yang lebih banyak agar tercapai konsistensi normal.

Temperatur Hidrasi

Hasil pengujian temperatur menggambarkan perkembangan temperatur hidrasi pada campuran pasta semen selama 50 jam dan pada setiap 2 jam perkembangan temperatur hidrasi dari masing-masing benda uji dicatat. Hasil pengujian perkembangan temperatur hidrasi dapat dilihat Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Temperatur Hidrasi

Dari Gambar 2. terlihat bahwa dengan bertambahnya persentase pozzolan yang digunakan menyebabkan puncak dari temperatur hidrasi menurun. Semen murni yaitu tanpa adanya pozzolan terlihat bahwa temperatur hidrasi tertinggi mencapai 38°C, dan seiring dengan persentase pozzolan mulai dari 10%, 20% dan 30% maka didapatkan temperatur hidrasinya berturut-turut adalah 36,5°C, 35,5°C dan 33,5°C.

Dengan adanya tambahan bahan pozzolan (abu sekam padi dan serbuk batu apung) berarti volume semen Portland berkurang, sehingga senyawa-senyawa yang ada di dalam semen Portland seperti C3S, C3A, C4AF dan C2S juga berkurang volumenya. Diantara senyawa-senyawa tersebut ada yang sangat dominan dalam menghasilkan panas hidrasi seperti C3A dengan panas hidrasi 207 kal/gr, sedang untuk C3S adalah 120 kal/gr. Dengan bertambahnya volume bahan pozzolan, maka volume senyawa yang memberikan panas hidrasi akan berkurang.

Hal ini sangat menguntungkan pada pembuatan beton massa (*mass concrete*), misalnya dam, karena disamping menghemat biaya juga berfungsi untuk mengurangi panas hidrasi yang dapat mengakibatkan retakan yang serius pada beton massa tersebut. Juga akan memberikan dampak yang bagus jika mortar tersebut digunakan sebagai plesteran tembok, terutama jika pelaksanaan finishing konstruksi bangunan pada musim kemarau, retak halus yang terjadi pada tembok dapat diminimalisir. Retakan pada tembok maupun beton tidak boleh diabaikan, selain tampilan kurang indah karena tidak mulus, hal tersebut akan mudah terjadi kerusakan akibat korosi yang pada akhirnya mengurangi umur bangunan.

Waktu Pengikatan Awal dan Akhir

Hasil pengujian *setting time* terlihat bahwa semakin besar penambahan persentase *cementitious ratio* (CR), waktu yang dibutuhkan untuk mengadakan pengikatan awal dari mulai bercampurnya air

dengan bahan-bahan pasta szmpzipasta kehilangan sebagian sifat plastisnya (menjadi beku) menjadi lebih lama. Secara lengkap waktu ikat awal dan akhir disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Setting Time*

Pozzolan dari CR (%)		CR (%)	Berat Semen (gr)	Berat RHA (gr)	Berat SBA (gr)	Waktu Ikat Awal (menit)	Waktu Ikat Akhir (menit)
RHA	SBA						
0	0	0	300	0	0	86	120
30	70	10	270	9	21	103	135
40	60		270	12	18	106	135
50	50		270	15	15	107	150
60	40		270	18	12	108	150
70	30		270	21	9	111	150
30	70	20	240	18	42	118	150
40	60		240	24	36	119	150
50	50		240	30	30	120	150
60	40		240	36	24	121	165
70	30		240	42	18	123	165
30	70	30	210	27	63	137	165
40	60		210	36	54	138	165
50	50		210	45	45	140	165
60	40		210	54	36	141	180
70	30		210	63	27	142	180

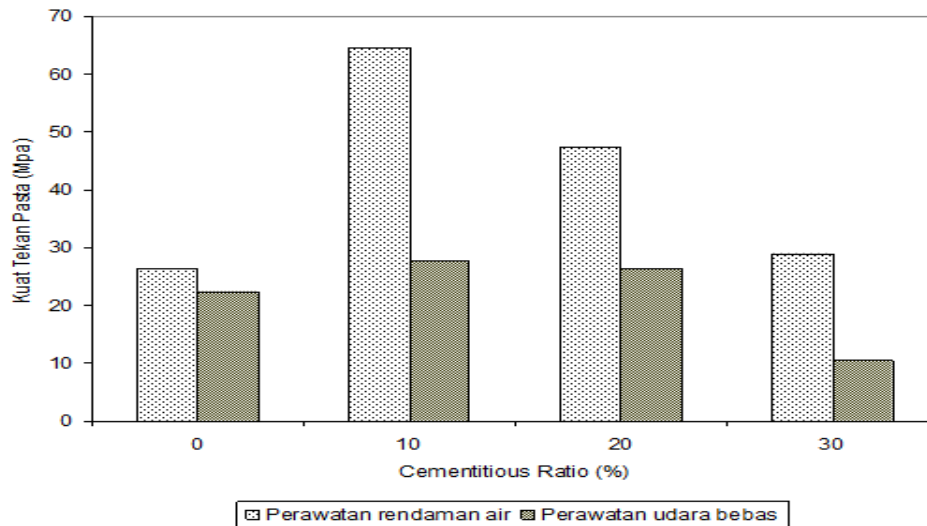
Pada penambahan sebesar 10% dengan berbagai variasi seperti tampak pada Tabel 2 di atas memiliki perbedaan waktu pengikatan awal antar variasi sebesar 3 menit, dibandingkan dengan tanpa menggunakan bahan tambah atau CR 0% (semen murni) perbedaan waktunya cukup lama yaitu sekitar 17 menit untuk variasi 30% RHA – 70% SBA dan 25 menit untuk variasi 70% RHA – 30% SBA. Sedangkan pada penambahan 20% dan 30% memiliki perbedaan waktu pengikatan awal yang bervariasi mulai dari 1 menit szmpzidengan 2 menit. Waktu pengikatan awal yang paling lama terjadi pada CR 30% dengan variasi 70% RHA – 30% SBA yaitu sebesar 142 menit dibandingkan dengan tanpa menggunakan bahan tambah atau CR 0%.

Dapat diringkas berdasarkan perbandingan *cementitious ratio* sebesar 0%, 10%, 20% dan 30% dari berat semen dengan berbagai variasi penambahan RHA dan SBA mulai dari (30% RHA - 70% SBA, 40% RHA - 60% SBA, 50% RHA - 50% SBA, 60% RHA - 40% SBA, 70% RHA - 30% SBA) menghasilkan waktu pengikatan awal paling lama terdapat pada kadar C.R 30% dengan variasi 70% RHA - 30% SBA yaitu 142 menit dibandingkan dengan 86 menit jika tanpa penambahan RHA dan SBA. Hal ini disebabkan karena beberapa hal, diantaranya adalah menurunnya temperatur hidrasi maka akan memperlama waktu pengikatan. Selain hal tersebut diatas, hal lain yang bisa memperlama *setting time* adalah menurunnya senyawa C3A. Karena C3A adalah merupakan senyawa yang bisa mempercepat proses pengikatan beton.

Berdasarkan standar ASTM C 191 – 79, waktu pengikatan awal paling cepat yang diperkenankan untuk semen tipe I adalah 45 menit dan paling lambat 10 jam setelah semen tercampur dengan air. Hasil pengujian semua benda uji memenuhi standar ASTM.

Kuat Tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan pasta yang dilakukan terdapat adanya perbedaan peningkatan kuat tekan pasta yang dihasilkan antara adanya perawatan dengan rendaman air dan perawatan udara bebas dengan masa perawatan 28 hari. Adapun kenaikan kuat tekan pasta tersebut dapat dilihat pada diagram batang yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik hubungan kuat tekan pasta dengan metode perawatan

Dari **Gambar 3**, nampak bahwa pemakaian bahan pozzolan ke dalam campuran pasta akan menaikkan kuat tekan. Hal ini terjadi karena dengan adanya bahan pozzolan tersebut maka dihasilkan persenyawaan baru sehingga reaksi yang terjadi dalam pasta akan lebih sempurna. Reaksi baru yang terjadi yaitu silika SiO_2 yang terkandung dalam bahan pozzolan akan bereaksi dengan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sisa hidrasi semen menjadi apa yang disebut kalsium silikat hidrat ($\text{C} - \text{S} - \text{H}$) yang berbentuk gel. Pozzolan yang tidak terikat dalam pembentukan gel baru ($\text{C} - \text{S} - \text{H}$) dimungkinkan sebagai bahan pengisi (filler) sehingga pori-pori pasta akan tertutup sehingga kekuatan pasta akan meningkat.

Dengan sistem perawatan direndam dan dibiarkan pada udara bebas kekuatan pasta mencapai nilai optimum pada prosentase 10% pozzolan. Hal ini menunjukkan bahwa semen bisa dihemat pemakaiannya dengan cara digantikan dengan bahan pozzolan. Sejalan dengan hasil penelitian (Merdana dkk 2023) bahwa kuat tekan dan modulus elastisitas optimum diberikan oleh beton memadat sendiri dengan penggantian 10% berat semen. Sedangkan hasil penelitian (Ngudiyono dan Sulistiyowati, 2022) menunjukkan bahwa penambahan bahan limbah abu kayu nilai optimal didapatkan pada persentase 5%.

Daya rekat sangat ditentukan oleh komposisi mineral semen, dalam penelitian ini semen yang dipakai merupakan campuran dari semen Portland dan pozzolan sehingga reaktifitas dari kedua bahan tersebut ikut berperan. Reaktifitas abu sekam padi tergantung kandungan silika yang mana tergantung dari lama dan temperatur pembakaran, suhu 750°C dan lama pembakaran 4 jam menghasilkan kadar silika tertinggi 96,36% (Padang A.. dkk 2023).

Dari sistem perawatan terlihat bahwa curing yang memakai rendaman air menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi, sedang perawatan yang ada di udara bebas menghasilkan kuat tekan yang rendah, hal ini menunjukkan betapa pentingnya sistem curing jika ingin menghendaki mutu pasta yang tinggi. Nilai penurunan kuat tekan untuk curing di udara bebas berkisar 15% untuk pasta yang tanpa bahan pozzolan (abu sekam padi dan serbuk batu apung), sedang yang memakai bahan pozzolan bisa mencapai 57,1%. Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian bahan pozzolan tersebut menyebabkan pasta mempunyai sifat lebih sensitif.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Pemakaian pozzolan sebagai pengganti sebagian semen dapat meningkatkan kinerja pasta yaitu kuat tekan meningkat dibandingkan dengan pasta kontrol, secara umum dapat disimpulkan bahwa penggantian semen oleh bahan pozzolan berdampak pada peningkatan kebutuhan air untuk mencapai konsistensi normal, memperpanjang waktu pengikatan awal dan menurunkan temperatur hidrasi. Kuat tekan mencapai nilai optimum pada prosentase *cementitious ratio* 10% baik pada perawatan perendaman maupun pembiaran di udara bebas. Adapun penggunaan proporsi 30% harus dilakukan perawatan khusus yaitu dijaga kelembaban airnya agar masih bisa memenuhi syarat kekuatan pasta semen.

Saran

Penelitian diharapkan bisa dilanjutkan untuk berbagai macam perilaku sambungan karena tidak selamanya penambahan jumlah baut meningkatkan kekuatan dari sambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing Materials (ASTM). (1995). *Standards in Building Codes* (32 nd Edition ed., Vol. 1). Amerika.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland dengan Alat Vicat untuk Pekerjaan Sipil (SNI 03-6826-2002)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil (SNI 03-6825-2002)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Metode Pengujian Semen Portland (SNI 15-2049-2004)*. Jakarta.
- Bakri. (2009). Komponen Kimia Dan Fisik Abu Sekam Padi Sebagai SCM Untuk Pembuatan Komposit Semen. *Perennial*, 5(1), 9-14. doi:<https://journal.unhas.ac.id/index.php/perennial/article/view/184/pdf>
- Lutfi, M. (2000). *Lutfi, M., 2000, Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Mortar Pada Perendaman Air Laut*. Universitas Mataram, Teknik Sipil . Mataram: Universitas Mataram.
- Merdana, I., Pathurrahman, & Winandar, R. A. (2023). Pengaruh Penggantian Semen Secara Parsial dengan Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis Beton Memadat Sendiri. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 8(1), 147-154. doi:DOI: 10.31544/jtera.v8.i1.2023
- Muna H, M. K. (2003). *Uji Ketahanan Beton dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi pada Kondisi Lingkungan Agresif (Asam Sulfat)*. Universitas Mataram, Teknik Sipil . Mataram: Universitas Mataram.
- Murdock, L. J., Brook, K. M., & Hindarko, S. (1991). *Bahan dan praktek beton : Concrete materials and practice*. Jakarta: Erlangga.
- Ngudiyono, & Sulistyowati, T. (2022). Pemanfaatan Abu Limbah Kayu sebagai Bahan Tambah pada Campuran Beton Normal. *Spektrum Sipil*, 9(2), 123-132.
- Padang, A., Nurlaila, R., & Meriatna. (2023). Analisa Suhu dan Waktu Pembakaran Abu Sekam Padi terhadap Hasil Silika dari Proses Ekstraksi Menggunakan Pelarut NaOH. *Chemical Engineering Journal Storage*, 3(2), 216-225. doi:<https://ojs.unimal.ac.id/cejs/article/view/9768/pdf>
- Putra, D. (2006). Penambahan Abu Sekam Pada Beton Dalam Mengantisipasi Kerusakan Akibat Magnesium Sulfat Pada Air Laut. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 10(2), 195-203. Retrieved from <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/view/3439/2473>
- Solikin, M., & Susilo. (2016). Pengaruh Pemakaian Abu Sekam Padi Sebagai Cementitious Terhadap Perkembangan Kuat Tekan Beton. *The 3rd University Research Colloquium (URECOL)* (pp. 35-40). Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Subakti, A. (1994). *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

Suparjo, Akmaluddin, Gazalba, Z., & Handayani, T. (2014). Pengembangan Metode Peningkatan Kualitas Limbah Agregat Batu Apung sebagai Material Beton Struktural. *Spektrum Sipil*, 1(2), 169-178. Retrieved from <https://spektrum.unram.ac.id/index.php/Spektrum/article/view/71>

Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri.

Zhang, M.-H., & Malhotra, V. (1996). High Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash as a Supplementary Cementing Material. *ACI Material Journal*, 93(6), 629-636. Retrieved from <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&ID=9870>