

Pengaruh Penggantian Semen Secara Parsial dengan Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis Beton Memadat Sendiri

I Nyoman Merdana^{1#}, Pathurrahan², Romi Ari Winandar³

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

³Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

Jl. Majapahit 62, Mataram 83125, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

#nmerdana@unram.ac.id

Abstrak

Beton memadat sendiri tersusun dari semen, pasir, kerikil dan air serta *superplasticizer* dengan komposisi tertentu untuk mendapatkan sifat mengalir, mampu melewati celah-celah tulangan tanpa mengalami segregasi. Untuk mempertahankan viskositasnya, beton memadat sendiri seringkali diberikan bahan tambah berupa Pozolan seperti abu sekam padi dan mengurangi jumlah semen untuk tujuan mengurangi panas hidrasi. Studi ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh penggantian semen secara parsial dengan abu sekam padi terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji berupa silinder beton 150 x 300 mm yang diuji tekan sesuai dengan ASTM C39. Adapun variabel dalam studi ini adalah persentase penggantian semen dengan abu sekam padi 5-20 % dari berat semen. Abu sekam padi yang digunakan juga telah diuji secara kimiawi dengan metode Instruksi Kerja Unimolekuler (IKM.E1) dengan bantuan alat X-Ray Fluorescence. Dari studi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kuat tekan dan modulus elastisitas optimum diberikan oleh beton memadat sendiri dengan penggantian 10% berat semen. Kekuatan tekan beton memadat sendiri meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton.

Kata kunci: beton memadat sendiri, abu sekam padi, kuat tekan beton, modulus elastisitas beton

Abstract

Self-compacting concrete is made of cement, sand, gravel and water as well as amount of superplasticizer to obtain flowing properties, passing ability through limited space without segregation. Pozzolan such as rice hush ash is often employed to maintain viscosity of self-compacting concrete and reducing cement content to gain lower hydration. In this study the effect of partial replacement of cement with rice husk ash on the compressive strength and modulus of elasticity of self-compacting concrete have been investigated. This research is performed using concrete cylinder of 150 x 300 mm which was tested with compression loading according to ASTM C39. The percentage of partial replacement of cement was served as variable varying 5-20 % by weight of cement. The rice husk ash used has also been chemically tested using the Unimolecular Work Instruction (IKM.E1) method with X-Ray Fluorescence apparatus. From this research it is evident that the replacement of 10% of cement content exhibit optimum compressive strength and Modulus of elasticity. The compressive strength of self-solidifying concrete increases with the age of concrete.

Keywords: self-compacting concrete, rice hush ash, compressive strength, modulus of elasticity

I. PENDAHULUAN

Beton secara umum tersusun dari semen, pasir, kerikil, air dengan atau tanpa tambahan bahan kimia. Beton merupakan bahan konstruksi yang paling populer digunakan dalam dunia konstruksi. Penggunaan beton yang demikian masif tentu tidak

terlepas dari sifat beton yang mudah dan murah untuk dibuat secara massal, relatif tahan cuaca, serta mudah dibentuk mengikuti kebutuhan arsitektural. Seiring dengan perkembangan teknologi bahan konstruksi maka banyak jenis beton telah hadir seperti beton ringan, beton massa, beton kinerja tinggi, beton serat, beton polimer, juga beton memadat sendiri (BMS)

Pada saat pengecoran beton selalu memerlukan pemadatan untuk memperoleh beton yang homogen dan padat yang mana pada akhirnya menghasilkan beton yang mempunyai kinerja yang tinggi. Dari pengamatan diberbagai lokasi proyek konstruksi, pekerjaan beton cor di tempat (*cast in place*) seringkali ditemukan pemadatan yang kurang optimal terutama pada bagian-bagian yang sempit yang tak terjangkau oleh vibrator. Bagian-bagian yang sangat sulit dicapai oleh alat pemadat tadi umumnya terdapat pada bagian begisting yang sempit dan pada jarak tulangan yang rapat. Pemadatan yang kurang sempurna tersebut menimbulkan mutu beton yang buruk. Untuk mengatasi kondisi pemadatan yang sulit tersebut dapat menggunakan beton memadat sendiri (BMS). Beton memadat sendiri merupakan beton dengan karakter yang unik yaitu mempunyai kemampuan untuk memadat sendiri dengan memanfaatkan berat-nya sendiri tanpa bantuan alat pemadat seperti vibrator. Beton memadat sendiri dibuat dengan komposisi yang sedemikian rupa agar beton itu dapat mengalir melalui celah-celah sempit diantara begisting dan/atau tulangan beton tanpa mengalami segregasi.

Penggunaan beton yang demikian luas ternyata juga menimbulkan sisi negatif yaitu produksi semen yang meningkat demikian pesat yang kemudian akhirnya menimbulkan emisi gas Karbondioksida. Menurut BBCNews Indonesia [1] produksi semen adalah penghasil emisi terbesar ketiga. Semen adalah sumber dari sekitar 8% emisi karbon dioksida (CO₂) dunia.

Menurut Environmentaldefence [2] sebanyak 0,54ton CO₂ dihasilkan per-ton produk semen yang berasal dari kalsinasi, pembakaran batu-bara, dari pembangkit listrik untuk keperluan operasional. Salah satu dari tiga strategi/skenario yang dapat digunakan dalam mengurangi emisi CO₂ yaitu dengan mengubah komposisi semen dengan menambah kadar aditif sehingga diperlukan energi yang lebih hemat dalam memproduksi semen. Adapun aditif yang dapat digunakan yaitu seperti pozzolan misalnya *fly ash* dan abu sekam padi (ASP).

Untuk tujuan mengurangi panas hidrasi pada saat pengecoran beton, yang mana dapat mengakibatkan retak-retak rambut pada permukaan beton salah satu hal yang dapat ditempuh yaitu dengan mengurangi jumlah semen. Penggantian sejumlah semen dapat dilakukan dengan menggunakan Pozzolan seperti ASP. Kajian tentang BMS terkait dengan pemanfaatan abu sekam padi masih terbatas dan disamping itu belum tersedianya standar SNI yang mengatur tentang beton memadat sendiri.

Menurut Zhang dkk [3], dari hasil review bahwa sifat fisik dan kimia RHA dan sifat campuran RHA-SCC seperti sifat segar SCC, sifat mekanik (kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, kekuatan lentur, dan modulus elastisitas), dan durabilitas yang mencakup penyerapan air dan sorptivitas, ketahanan asam, ketahanan penetrasi klorida, resistivitas listrik, dan reaksi alkali silika. Diamati bahwa workability SCC menurun seiring dengan peningkatan kadar ASP. Kadar ASP dalam kisaran sekitar 15-20% dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas SCC.

Menurut Bakri [4], ASP dapat dimanfaatkan sebagai pozzolan karena mengandung senyawa silika yang cukup tinggi mencapai lebih dari 72%. Penelitian tentang pemanfaatan ASP baik sebagai bahan tambah maupun sebagai pengganti sebagian semen telah dilakukan beberapa peneliti [5]-[8]. Menurut Putra [5], penggunaan ASP sebagai bahan tambah untuk beton yang terpapar air laut adalah memungkinkan untuk digunakan. Disimpulkan bahwa ASP dapat meningkatkan kuat tekan beton dan dapat dimanfaatkan untuk mengantisipasi kerusakan beton akibat Magnesium sulfat. Selanjutnya, kadar optimum dari ASP adalah sekitar 17,5% dari berat semen. Dalam studi tersebut ASP diperoleh dari lokasi pembakaran bata merah yang mana suhu pembakaran sekam padi tidak terkontrol.

Berdasarkan penelitian [6], dari pengamatan perkembangan kuat tekan beton normal menunjukkan bahwa ASP berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pengganti semen secara parsial karena mampu mempercepat perkembangan kuat tekan beton normal dan menghemat pemakaian semen. Untuk beton normal tanpa paparan magnesium sulfat, disimpulkan bahwa kuat tekan dan kuat lentur optimum beton normal masing masing diperoleh dengan kadar ASP 8% dan 2,5% dari berat semen [6]. Penelitian tersebut di atas tidak menyediakan informasi yang cukup terkait dengan suhu pembakaran sekam padi saat produksi ASP.

Berdasarkan data statistik tahun 2021 luas panen padi Provonsi NTB mencapai 276,21 ribu hektar atau mengalami peningkatan sebanyak 2,75 ribu hektar dibandingkan tahun 2020, dan produksi padi tahun 2021 yaitu sebesar 1419,56 ribu ton gabah kering giling (GKG). (BPS Prov. NTB, 2022) [9]. Tingginya produksi GKG tersebut dapat mengindikasikan produksi sekam padi yang melimpah sangat potensial dimanfaatkan sebagai Pozolan.

Untuk mendukung dan menggalakan wacana penggunaan Pozzolan maka studi ini ditujukan untuk mempelajari bagaimana pengaruh

penggantian semen secara parsial dengan ASP terhadap sifat mekanis BMS. Dengan melihat kondisi tadi diatas maka studi ini mengkaji tentang penggantian sebagian semen dengan ASP yang mana suhu pembakaran sekam padi terkontrol dengan suhu 700°C selama 4 jam.

II. METODE PENELITIAN

Studi ini dilakukan dalam empat tahap. Tahap pertama adalah bagian persiapan bahan dan peralatan. Pengadaan material mencakup pasir, kerikil *superplasticizer* serta abu sekam padi. Adapun *superplasticizer* yang digunakan dalam riset ini yaitu Sika ViscoCrete®-3115N dan abu sekam padi yang berasal dari Desa Suka Mulia Lombok Timur. Untuk sekam padi sebagai bahan pengganti semen dilakukan persiapan dengan dibakar menggunakan tungku pada suhu kisaran 700°C selama 4 jam.

Tahap kedua berupa pengujian bahan sebagai uji pendahuluan, pembuatan Mix design serta Trial test rancangan campuran dilaboratorium agar memenuhi persyaratan BMS sesuai rekomendasi EFNARC [11], [12]. Adapun pengujian yang dilakukan terhadap bahan penyusun beton yaitu

mencakup pengujian agregat dan kandungan kimiawi dari ASP.

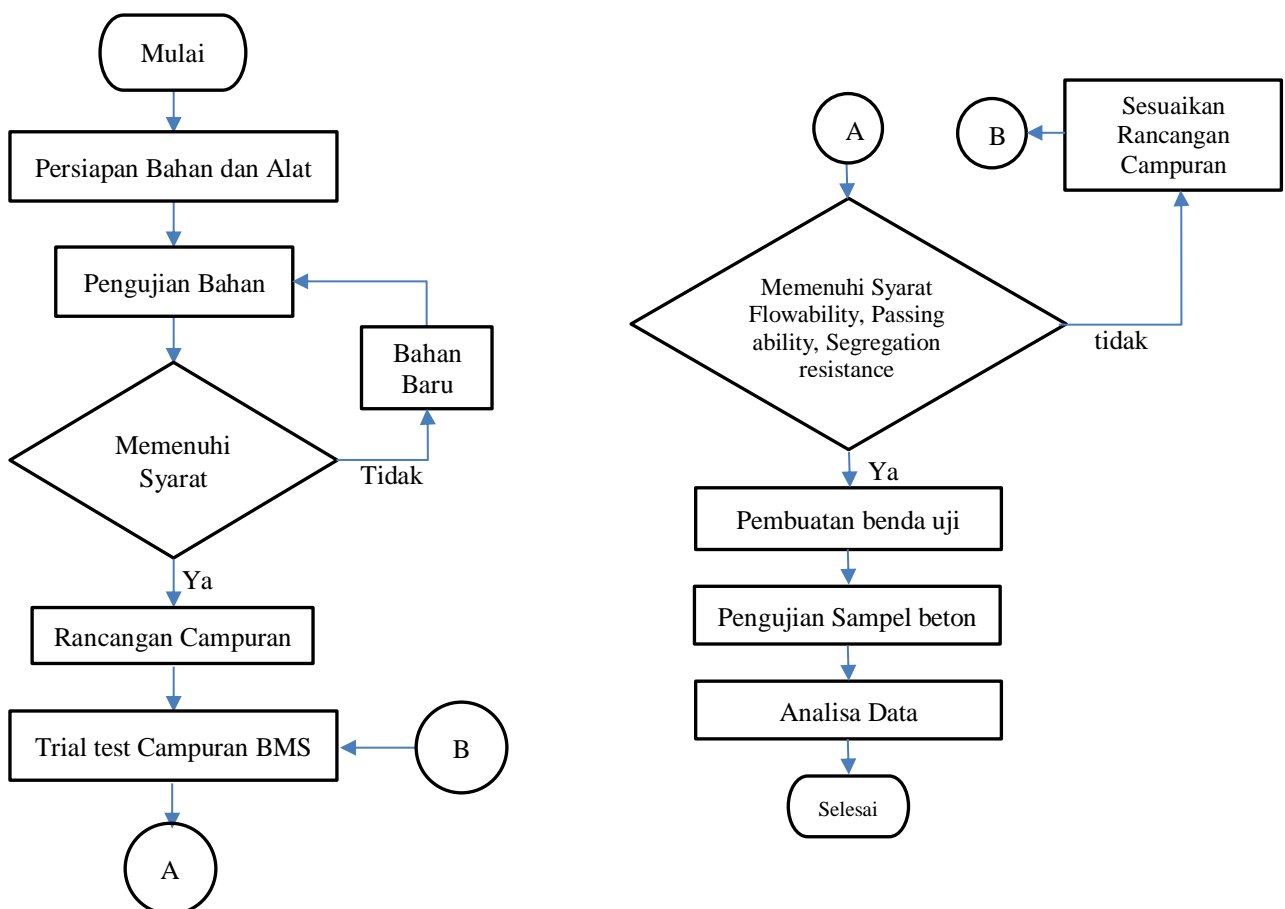
Tahap ketiga adalah kegiatan pembuatan benda uji beton, perawatan beton BMS. Benda uji dalam riset ini adalah berupa silinder beton BMS dengan ukuran 150mmx300mm yang dirawat dengan perendaman yang kemudian diuji setelah silinder berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

Tahap terakhir yaitu tahap ke empat berupa pengujian sampel beton dan analisis data. Pengujian sampel beton menggunakan alat uji tekan sesuai ASTM C-39 [13] dan ASTM C-469 [14]. Adapun bagan alir pelaksanaan kajian ini dapat dilihat secara garis besar pada Gambar 1.

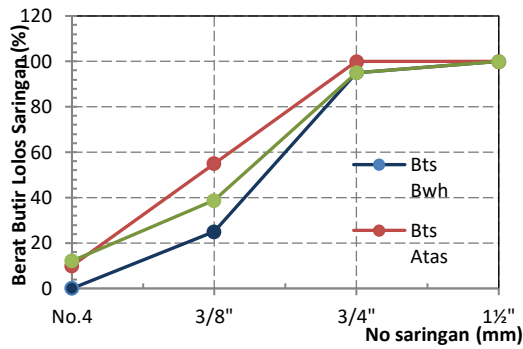
Dalam studi ini benda uji beton adalah berupa silinder berukuran 15 cm x 30 cm untuk pengujian sifat mekanis. Semua sampel beton dirawat dengan perendaman dan diuji setelah berumur 7, 14 dan 28 hari.

A. Uji Pendahuluan dan Rancangan Campuran

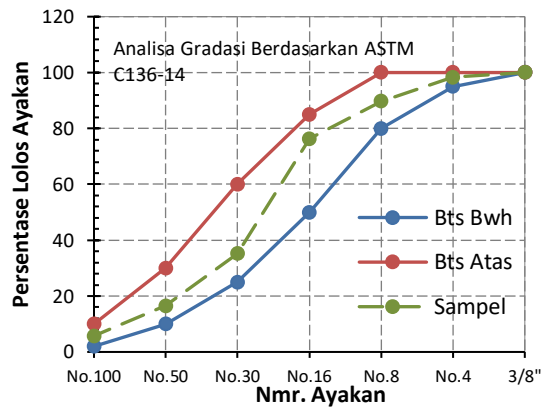
Untuk pembuatan beton BMS digunakan pasir sungai dan kerikil alam berdiameter nominal 20mm dengan semen PCC tipe I. Setelah melalui pengujian berat jenis SSD rata-rata untuk pasir dan kerikil masing masing adalah 2,623 dan 2,668.



Gambar 1. Bagan alir proses penelitian



Gambar 2. Grafik gradasi kerikil



Gambar 3. Grafik gradasi pasir

Hasil pemeriksaan berat satuan untuk pasir didapatkan berat satuan lepas rata-rata sebesar 1358 kg/m³. Sedangkan hasil pemeriksaan pada agregat kasar diperoleh berat satuan lepas rata-rata sebesar 1386 kg/m³. Hasil pemeriksaan ini menunjukkan bahwa kedua material ini termasuk jenis agregat normal yang memiliki berat satuan antara 1,2–1,6 gram/cm³. Hasil uji gradasi agregat kasar dan agregat halus mengikuti standar ASTM C136M-14 [10] dapat dilihat masing masing pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Kulit padi sebagai bahan pembuatan Abu sekam padi diambil dari Lombok Timur yang mana kemudian dibakar selama 4 jam dengan suhu kisaran 700°C. Selanjutnya untuk pengujian kandungan kimia dari abu sekam padi dilakukan dengan metode Instruksi Kerja Unimolekuler (IKM.E1) dengan dengan bantuan alat X-Ray Fluorescence yang mana hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Dengan memperhatikan kandungan senyawa dari ASP pada Tabel 1, abu sekam padi ini dapat digunakan sebagai bahan pozzolan karena mengandung SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ lebih dari 70 % sesuai dengan mutu pozzolan yang disyaratkan.

Tabel 1. Hasil pengujian kimiawi abu sekam padi

Senyawa	Conc. unit (%)
SiO ₂	95,5
K ₂ O	1,39
CaO	1,73
Fe ₂ O ₃	0,895
MnO	0,24
TiO ₂	0,03
Cr ₂ O ₃	0,018
CuO	0,03
BaO	0,02
ZnO	0,004
Eu ₂ O ₃	0,05
Re ₂ O ₇	0,06

Tabel 2. Desain benda uji

Kode sampel	ASP (%)	Umur (hari) dan Jumlah Benda uji		
		7	14	28
BMS-00	0	3	3	3
BMS-05	5	3	3	3
BMS-10	10	3	3	3
BMS-15	15	3	3	3
BMS-20	20	3	3	3

B. Pembuatan dan Pengujian Beton BMS

Pembuatan beton BMS sesuai standar [11], [12] dengan pengujian beton segar meliputi pengujian *slump flow*, *passing ability* dan *segregation-resistance*. Pengujian *slump flow*, *Passing ability* dan *segregation resistance* tersebut masing masing dilakukan dengan Kercut Abrams, L-Box Test dan ayakan 5 mm. Setelah melewati perawatan dengan perendaman silinder beton diuji beban tekan setelah berumur 28 hari. Pengujian beban tekan dan perpendekan beton diukur dengan Ektensometer.

Adapun kekuatan tekan beton yang digunakan dalam studi ini $f'_c = 30\text{MPa}$ yang diuji dengan silinder 150 x 300 mm dengan *mix design* sebagaimana tercantum pada Tabel 2 yang mana ASP sebagai variable bebas. Rancangan campuran pada Tabel 2 tersebut dibuat dengan semen PCC tipe I dengan kadar *superplasticizer* 1% dari berat semen, yang mana mengikuti tata cara perancangan campuran dari EFANRC [11], [12], sedangkan kebutuhan benda uji ditampilkan pada Tabel 3.

C. Analisa Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Setelah dicetak dengan silinder selanjutnya dirawat dengan perendaman dan kemudian diuji kuat tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas statis beton sesuai standar ASTM C39-05 dan ASTM C469-02 [13], [14]. Adapun rumus kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton dihitung dengan rumus (1) dan (2).

Tabel 3. Rancangan kebutuhan bahan penyusun BMS (per-m³ beton)

Kode benda uji	Semen PCC (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (litr)	SP (kg)	ASP (kg)
BMS-00	450	900	500	198	7,43	0,0
BMS-05	427,5	900	500	198	7,43	22,5
BMS-10	405	900	500	198	7,43	45
BMS-15	382,5	900	500	198	7,43	67,5
BMS-20	360	900	500	198	7,43	90

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

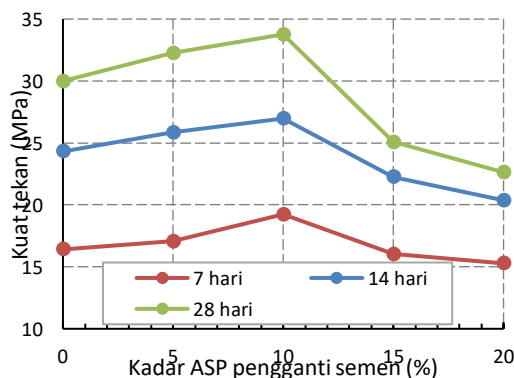
$$E_C = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (2)$$

dimana:

- f_c = kuat tekan beton (MPa)
- P = gaya tekan maksimum (N)
- A = luas penampang silinder beton (mm)
- E_C = modulus elastisitas beton (MPa)
- S₂ = tegangan beton pada kondisi 40% dari beban ultimit, (MPa)
- S₁ = tegangan beton pada kondisi yang bersesuaian dengan regangan ε₁= 0,0005; (MPa)
- ε₂ = regangan beton yang bersesuaian dengan S₂

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah beton dirawat maka dilakukan pengujian tekan dilengkapi dengan alat pengukur perpindahan berupa Extensometer. Sesaat sebelum benda uji silinder diuji tekan semua silinder ditimbang serta diberikan lapisan *Capping* dengan belerang untuk mendapatkan permukaan benda uji yang rata dan tegak lurus terhadap bidang pengujian. Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai ASTM C39 [13] dengan *loading rate* rata-rata 0,25MPa. Adapun hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.

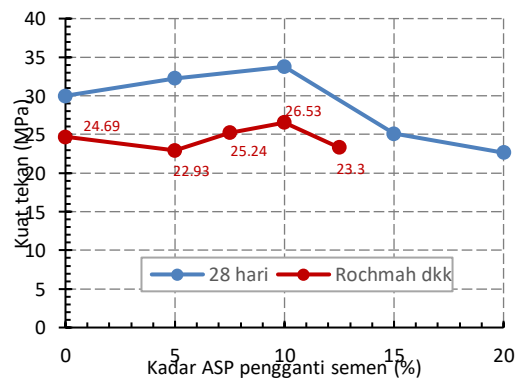


Gambar 4. Grafik hubungan kadar % ASP vs kuat tekan f'c

Dari pengujian tekan yang telah dilakukan dan merujuk Gambar 4 dapat diketahui bahwa kuat tekan BMS mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase penggantian semen dengan abu sekam padi. Nilai optimum penggantian semen dengan abu sekam padi diberikan oleh sampel BMS-10, yaitu penggantian dengan ASP 10% dari berat semen PC. Hal ini terjadi sebagai hasil reaksi pozolanik dari kandungan Silika dalam abu sekam padi yang bereaksi dengan kapur bebas hasil hidrasi dari semen yang kemudian membentuk Calcium Silikat Hidrat (C-S-H).

Demikian juga, secara konsisten kuat tekan beton BMS meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton yaitu 7, 14, dan 28 hari. Adapun grafik hubungan kadar persentase penggantian semen dan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil temuan ini juga konsisten dengan temuan dari [8], [15] bahwa kuat tekan optimum diberikan oleh BMS dengan kadar ASP 10%. Studi tersebut dilakukan dengan kadar *superplasticizer* konstan, yaitu dengan nilai 1,5% dari *Binder*. Sebagai bahan perbandingan dengan hasil studi lain [8], grafik hubungan jumlah Persentase ASP dan Kuat tekan beton BMS pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.

Dalam studi ini kadar ASP melebihi 10% dari massa semen tidak dapat meningkatkan baik kuat tekan maupun Modulus Elastisitas, hal ini diduga dengan meningkatnya jumlah ASP telah membuat

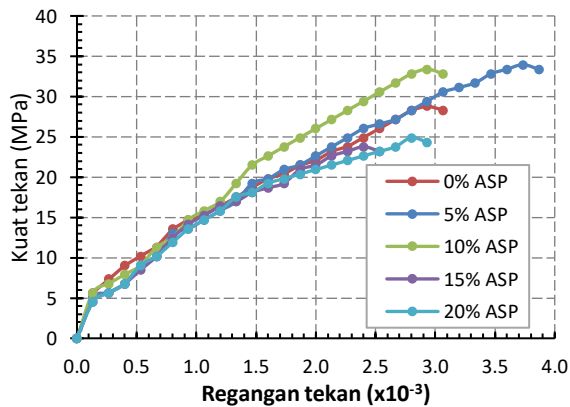


Gambar 5. Hubungan kadar % ASP dan kuat tekan umur 28 Hari

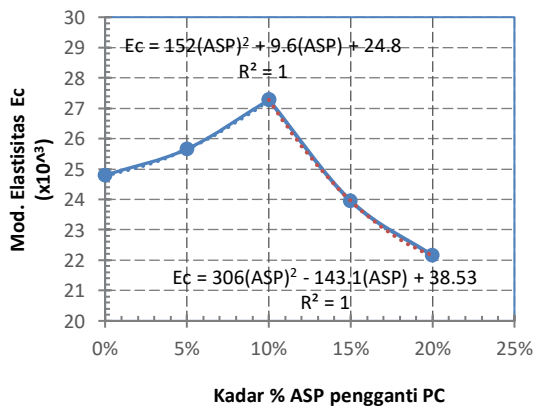
reaksi kimiawi menjadi lebih lambat. Diperkirakan untuk kadar ASP diatas 10% membutuhkan perawatan lebih dari 28 hari untuk mencapai reaksi kimia yang sempurna sebagaimana disebutkan diatas. Kondisi ini dapat menjadi peluang studi lebih lanjut tentang pemanfaatan ASP dengan umur beton lebih dari 28 hari, yaitu 60 dan 90 hari.

Pada pengujian sifat-sifat beton segar dari beton memadat sendiri untuk kadar penggantian semen dengan ASP lebih dari 10% memperlihatkan perubahan nilai *slump flow*. *Slump flow* mengalami penurunan dengan bertambahnya kandunga ASP. Hal ini diduga mengakibatkan penurunan kuat tekan karena kandungan ASP yang lebih banyak membutuhkan jumlah air yang lebih banyak.

Pada saat pengujian tekan nilai perpendekan silinder beton diukur dengan Extensometer untuk setiap peningkatan nilai beban tekan yang diberikan sehingga dapat dipergunakan untuk analisa modulus elastisitas. Adapun modulus elastisitas beton E_c dihitung dengan persamaan (2). Grafik hubungan tegangan-regangan beton berbagai persentase penggantian ASP dapat dilihat pada Gambar 6 dan grafik hubungan kadar abu sekam padi pengganti PC dan modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Hubungan tegangan regangan BMS dengan berbagai persentase ASP



Gambar 7. Grafik hubungan kadar ASP pengganti PC vs modulus E_c

Dari Gambar 6 nampak bahwa hubungan tegangan dan regangan beton pada bagian awal berperilaku linier yaitu pada daerah elastis dimana beton belum mengalami retak, yang mana pengaruh dari kadar ASP tidak memberikan dampak secara nyata. Secara umum dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa pasca retak modulus elastisitas E_c maksimum diberikan oleh sampel beton BMS 10 yaitu BMS dengan kadar ASP 10% dari berat semen. Secara umum perilaku hubungan tegangan-regangan beton memadat sendiri dengan penggantian semen parsial tidak berbeda nyata dengan beton normal, yaitu beton tanpa panggantian semen dengan ASP.

IV. KESIMPULAN

Dari studi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton memadat sendiri meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton. Nilai kuat tekan dan modulus elastisitas optimum dari beton memadat sendiri diperoleh dari penggantian semen dengan abu sekam padi sebanyak 10% dari berat semen. Selanjutnya, semakin banyak kadar abu sekam padi sebagai pengganti semen menimbulkan penurunan sifat *flowability* dari beton segar. Untuk tujuan penyempurnaan dari studi ini kiranya dapat disarankan untuk dilakukan riset lebih lanjut dengan umur beton melebihi 28 hari mengingat ditengarai Pozollan memberikan dampak positif yang maksimum bila beton melebihi umur 28 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan terimakasih banyak kepada Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram atas dukungan fasilitas peralatan dan tenaga teknisi sehingga studi ini dapat terselenggarakan dengan lancar. Terimakasih banyak pula kepada segenap tim Laboratorium Mineral dan Material Maju (Lab Sentral), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang atas bantuan peralatan X-Ray Fluorescence.

REFERENSI

- [1] BBC News Indonesia, "Perubahahn Iklim: Inilah penghasil emisi CO2 terbesar yang mungkin tidak anda sadari" <https://www.bbc.com/indonesia/majalah-46591036> (diakses tanggal 28-03-2023)
- [2] Environmentaldefence.ca, "Alternative Fuel Use in Cement Manufacturing" (*Workshop on Alternative Fuels in Cement Kilns*) available on-line

- <https://environmentaldefence.ca/wp-content/uploads/2016/01/White-Paper-on-Alternative-Fuels-in-Cement-rC.pdf>
- [3] P. Zhang, S. Wei, G. Cui, Y. Zhu, and J. Wang, "Properties of fresh and hardened self-compacting concrete incorporating rice husk ash: A review," *Reviews on Advanced Materials Science*, vol. 61, no. 1, pp. 563-575, 2022.
- [4] B. Bakri, "Komponen Kimia Dan Fisik Abu Sekam Padi Sebagai SCM Untuk Pembuatan Komposit Semen," *Perennial*, vol. 5, no. 1, pp. 9-14, 2009.
- [5] D. Putra, "Penambahan Abu Sekam Pada Beton Dalam Mengantisipasi Kerusakan Akibat Magnesium Sulfat Pada Air Laut". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Nov. 2012.
- [6] M. Solikin and S. Susilo, "Pengaruh Pemakaian Abu Sekam Padi Sebagai *Cementitious* Terhadap Perkembangan Kuat Tekan Beton", *The 3rd Universty Research Coloquium*, Fakultas Teknik Universitas Muhamadiyah Surakarta, 2016.
- [7] A. Tata, M. A. Sultan, and Sumartini, "Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Bahan Baku Beton Terhadap Sifat Mekanis Beton," *Jurnal Sipil Sains*, vol. 6, no. 11, 2016.
- [8] N. Rochmah, B. Sutriyono, M. Beatrix, and D. Pertiwi, "Pengaruh Abu Sekam Sebagai Substitusi Semen Pada Kuat Tekan Flowing Concrete," *Axial Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, vol. 10, no. 1, pp.19-24, 2022.
- [9] Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Barat, *Katalog Luas Panen dan Produksi padi di Nusa Tenggara Barat 2021*.
- [10] ASTM C136M-14, *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Agreggate*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States.
- [11] EFNARC, *Specification & Guidelines for Self-Compacting Concrete*, English Ed., Norfolk UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, 2002.
- [12] EFNARC, "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specifications, Production and Use", Norfolk UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, 2005.
- [13] ASTM C39/C39M-05, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States.
- [14] ASTM C469-02, *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States.
- [15] D. Arumningsih, K. J. Priyanto, and F. N. Hidayah, "Beton *Self Compacting Concrete* Ramah Lingkungan Yang Berkelanjutan Dengan Pemanfaatan Limbah Abu Marmer, Abu Sekam Padi Dan Abu Batu", *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 28, no. 1, pp. 36-44, Feb. 2023.

