

## MITIGASI REAKSI ALKALI SILIKA (ASR) DENGAN MENGGUNAKAN ABU TERBANG (FA), SILICA FUME (SF), DAN BUBUK PERLITE DIPERLUAS (BP)

### *MITIGATION OF SILICA ALKALI REACTION (ASR) USING FLY ASH (FA), SILICA FUME (SF), AND EXPANDED PERLITE POWDER (BP)*

Mohd Isneini<sup>1</sup>

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

Email: Mohd.Isneini@eng.unila.ac.id

Dikirim 15 Januari 2020, Direvisi 1 Maret 2020, Disetujui 20 Maret 2020

**Abstrak:** Pengurangan ASR oleh FA, SF, BP, dievaluasi menggunakan prisma beton dan mortar bar. Prisma beton dicor sesuai dengan Rilem AAR-3, sementara batangan mortar dibuat berdasarkan JIS A 1146. Kedua spesimen disimpan di ruang kontrol 40oC 100% R.H. Campuran beton dan mortar menggunakan agregat dalam proporsi pessimum. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efektivitas FA pada level 25%, SF10%, dan BP10% dapat mengurangi ekspansi. Distribusi ukuran pori beton dengan FA, SF, dan BP terlihat lebih baik dibandingkan beton control. Hasil UPV menggunakan FA25 dan SF10 cenderung lebih tinggi dibanding campuran lainnya.

**Kata kunci:** ASR, mineral, mitigasi, proporsi pessimum, tunggal

**Abstract:** Reduction of ASR by FA, SF, BP, evaluated using concrete prisms and mortar bars. Concrete prisms were casted in accordance with RILEM AAR-3, while mortar bars were made according to JIS A 1146. Both specimens were stored in the control room 40°C 100% R.H. Mixture of concrete and mortar using aggregate in pessimum proportions. The test results show that the effectiveness of FA at the level of 25%, SF10%, and BP10% can reduce expansion. Concrete pore size distribution with FA, SF, and BP looks better than control concrete. UPV results using FA25 and SF10 tend to be higher compared to other mixtures.

**Keywords:** ASR, mineral, mitigation, pessimum proportion, single

## PENDAHULUAN

Saat ini, masalah utama pada beton adalah kerusakan. Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap kerusakan beton adalah reaksi alkali silika (ASR). ASR terjadi antara alkali dalam semen dan silika dalam agregat. Untuk mengendalikan atau bahkan menghentikan ASR dalam beton, Beberapa alternatif telah diterapkan<sup>1,4)</sup>, seperti: semen menggunakan campuran mineral, mengatur agar kandungan alkali pada semen rendah, agregat yang digunakan dalam campuran merupakan agregat yang tidak berbahaya, melakukan control terhadap jumlah total alkali dalam beton, pengembangan metode baru yang terus dilakukan, dll. Bahan tambahan dalam semen (SCM) seperti abu terbang (FA), silica fume (SF), blast furnast slag (BFS), telah diterima secara umum dan banyak digunakan dalam beton pada saat ini,. Tidak hanya untuk memperbaiki sifat sifat

mekanik beton akan tetapi dipakai untuk mitigasi ASR<sup>1,4,6)</sup>.

FA digunakan sebagai SCM, yang merupakan produk sampingan dari pembakaran bubuk batu bara di pembangkit listrik, dan SF adalah produk samping yang digunakan sebagai pozzolan. SF diproduksi dari pengurangan kuarsa dengan kemurnian tinggi dengan batu bara dalam tungku busur listrik dalam pembuatan unsur silikon atau paduan yang mengandung silikon. SF juga disebut sebagai mikro silika terkondensasi. Yang terakhir adalah perlite. karena strukturnya yang seperti kaca dan kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tinggi, maka perlite juga merupakan pozzolan<sup>7)</sup>.

Studi ini menguji kemanjuran abu terbang (FA), silica fume (SF), bubuk perlite (BP) untuk mengurangi ASR ketika proporsi pessimum digunakan. Proporsi pessimum ditentukan (dalam perbandingan 30:70) antara agregat reaktif dan non-

reaktif. Studi ini juga bertujuan untuk menentukan level mineral yang dibutuhkan dalam mitigasi. Program eksperimental dilakukan dalam beberapa seri tes. Seri satu, beton dan mortar yang mengandung FA diuji untuk reaksi alkali-silika. Seri dua, beton dan mortar yang mengandung SF juga diuji untuk reaksi alkali-silika, dan yang terakhir, pemakaian BP dalam kemampuannya mengurangi laju ekspansi. Dalam penelitian ini, prisma beton dibuat menurut RILEM AAR-3, dan benda uji mortar dibuat berdasarkan JIS A 1146. Spesimen beton dirawat ruang dengan suhu di bawah 40°C, dan kelembaban (R.H.) 100%. Demikian pula, spesimen mortar juga diperlakukan pada ruang dengan suhu di bawah 40°C, dan R.H. 100%.

### PROPORSI BAHAN DAN CAMPURAN

Empat jenis pengikat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: semen atau Ordinary Portland Cement (OPC), FA, SF, dan BP. Komposisi kimia OPC, FA, SF dan BP diberikan pada Tabel 1. Dapat dilihat pada Tabel tersebut, bahwa tidak terdapat kandungan Na<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>O di SF. Konten Na<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>O di BP lebih tinggi dibandingkan dengan OPC. Bahan OPC, FA, dan SF masing-masing telah memenuhi persyaratan JIS R 5202, JIS A 6201, dan JIS A 6207. Ukuran partikel BP berkisar antara 0,3 cm hingga 0,6 cm. Partikel-partikel ini dihancurkan dengan mesin penggiling, dan kemudian diayak dengan saringan No.200

(0,075 mm). Sementara itu komposisi kimia dan sifat fisik material disajikan pada

Tabel 1 dan Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 1.** komposisi kimia OPC, FA, dan BP

Kandungan	OPC	FA	SF	BP
SiO <sub>2</sub> , %	20.89	54.96	95.5	65.85
SO <sub>3</sub> , %	2.02	0.49	0.18	-
MgO, %	0.92	1.30	0.56	0.14
Na <sub>2</sub> O, %	0.35	1.07	-	4.68
K <sub>2</sub> O, %	0.36	1.30	-	4.07
LoI	1.87	2.37	1.22	-

**Tabel 2.** Sifat fisik material

Material	Diskripsi
semen, OPC	Massa jenis = 3.16 g/cm <sup>3</sup> , Luas Permukaan Tertentu = 3330 cm <sup>2</sup> /g
FA (Type II)	Massa jenis = 2.26g/cm <sup>3</sup> , Luas Permukaan Tertentu = 3970 cm <sup>2</sup> /g
SF	Massa jenis = 2.35 g/cm <sup>3</sup> , Luas Permukaan Tertentu = 18 m <sup>2</sup> /g
BP	Lolos saringan No. 200 (0.075 mm), Massa jenis = 2.58 g/cm <sup>3</sup>
Agregate halus (batu kapur)	Massa jenis (SSD) = 2.70 g/cm <sup>3</sup> , Penyerapan air = 0.61%, Rc = 8 mmol/l, Sc = 1 mmol/l
Agregate kasar (batu kapur)	Massa jenis (SSD) = 2.70 g/cm <sup>3</sup> , Penyerapan air = 0.55%, Rc = 8 mmol/l, Sc = 1 mmol/l.
Agregate kasar (Andesite)	Massa jenis (SSD) = 2.60 g/cm <sup>3</sup> , Penyerapan air = 2.75%, Rc = 185 mmol/l, Sc = 620 mmol/l

**Tabel 3.** Proporsi campuran beton

Mix	w/b	s/a	kg/m <sup>3</sup>								g/m <sup>3</sup>		suhu, °C	Slum (mm)	Kandungan udara (%)
			air	OPC	FA	SF	BP	pasir	keriki	NaOH	AE+WR	AE			
1	50	45	160	320	-	-	-	843	992	5.347	1000	12.8	19	80	5.0
2	50	45	160	272	48	-	-	836	984	5.706	1000	9.6	23	150	4.0
3	50	45	160	240	80	-	-	831	978	5.946	1000	16.0	22	180	2.8
4	50	45	160	304	-	16	-	841	990	5.467	1000	12.8	22	70	3.8
5	50	45	160	288	-	32	-	838	987	5.587	1000	12.8	21	60	3.5
6	50	45	160	272	-	48	-	836	984	5.706	1760	22	30	30	5.0
7	50	45	160	288	-	-	32	838	987	5.587	1400	17.6	24	57	4.0
8	50	45	160	272	-	-	48	836	984	6.496	1400	17.6	25	65	2.9
9	50	45	160	256	-	-	64	833	981	6.878	1400	17.6	22	55	3.9

(WR + AE) = agen pereduksi air dan udara, AE = agen entraining udara

Proporsi campuran ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini. Dua jenis agregat digunakan dalam percobaan ini; satu diklasifikasikan sebagai alkali silika reaktif (andesit) dan lainnya diklasifikasikan sebagai non-reaktif (batu kapur). Makalah ini menyajikan studi eksperimental yang dilakukan pada beberapa campuran beton dan mortar. Mortar dibuat berdasarkan JIS A1146. Agregat kasar andesit dihancurkan menjadi agregat halus yang memenuhi persyaratan distribusi ukuran partikel dalam JIS A 1146. Kombinasi agregat disiapkan dalam mortar dan beton. Penelitian sebelumnya (Uchimura, 2009) menunjukkan ekspansi maksimum terjadi ketika agregat digunakan dalam rasio 30:70 antara agregat reaktif dan non-reaktif[10]. Rasio air terhadap semen adalah 0,50 dan konten alkali diatur sedemikian rupa sehingga  $Na_2O_{eq}$  1,2% berat semen dengan menambahkan larutan NaOH ke air pencampuran.

Campuran ini dirancang sesuai dengan Masyarakat Standar Insinyur Sipil Jepang JSCE[3]. Beberapa campuran beton dengan rasio pengikat air 0,5 disiapkan, dengan menggunakan air keran. Campuran 1 dibuat untuk kontrol; Campuran 2, dan 3 menggunakan FA pada level 15%, dan 25%. Campuran 4, 5, dan 6 dibuat dengan menggunakan SF pada level 5%, 10%, dan 15%; Campuran 7, 8, dan 9 menggunakan BP pada level 10%, 15%, dan 20%. Selanjutnya, hasil uji ekspansi dievaluasi untuk menyelidiki tingkat penggantian yang sesuai dan efektivitas masing-masing mineral dalam mengurangi ASR. Total alkali dalam beton, berturut-turut ditentukan sekitar  $6 \text{ kg/m}^3$ . Campuran 1 hingga Campur 6, total alkali adalah  $6 \text{ kg/m}^3$ . Kemudian Mix 7 hingga Mix 11 adalah:  $6,4 \text{ kg/m}^3$ ,  $6,6 \text{ kg/m}^3$ ,  $6,8 \text{ kg/m}^3$ ,  $6,1 \text{ kg/m}^3$ ,  $6,4 \text{ kg/m}^3$ .

## UJI EKSPANSI

### Uji mortar

Ukuran mortar adalah  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ . Sampel dibungkus dengan kertas basah dan ditempatkan secara vertikal dalam wadah

stainless, kemudian disimpan di ruang kontrol  $40^\circ\text{C}$  dan 100% R.H. Pengukuran dilakukan untuk mengamati perilaku ekspansi mortar, pada umur 1 hari, 2 minggu, 4 minggu, 8 minggu, 12, minggu dan 24 minggu.

### Uji beton

Ukuran spesimen adalah  $75 \times 75 \times 250 \text{ mm}$ . Spesimen prisma dibungkus dengan kertas basah dan lembaran plastik tipis. Kemudian, spesimen ditempatkan dalam wadah polietilen yang mengandung air di bagian bawah dan tinggi air disesuaikan ke tingkat yang konstan. Setelah menyelesaikan pengukuran, spesimen dikembalikan ke ruang kontrol. Kontrol kelembaban adalah masalah penting bagi prisma beton. Sepotong kertas basah (KimTex, ukuran:  $355 \text{ mm} \times 425 \text{ mm}$ ) digunakan untuk membungkus spesimen. Lalu, dibungkus lagi dengan lembaran plastik tipis. Selanjutnya, spesimen juga diposisikan secara vertikal dalam wadah polietilen dan disimpan ruang dalam  $40^\circ\text{C}$  dan 100% R.H. pada ruang terkontrol. Panjang beton diukur secara berkala untuk setiap dua minggu. Sebelum diukur, wadah dipindahkan ke ruang  $20^\circ\text{C}$  untuk mendinginkan spesimen selama 24 jam. Pengamatan untuk ekspansi beton dilakukan dalam 365 hari.

## UJI POROSITAS

Porositas adalah mengukur proporsi total volume beton yang ditempati oleh pori-pori. Pori-pori struktur bahan adalah kompleks. Jadi, beberapa asumsi dibuat seperti: pori-pori saling berhubungan dan ukuran distribusi tidak terpengaruh oleh hilangnya air pada saat pengeringan. Porositas atau volume pori total dapat diukur dengan intrusi merkuri. Pengukuran porositas atau volume total pori biasanya dinyatakan dalam persen.

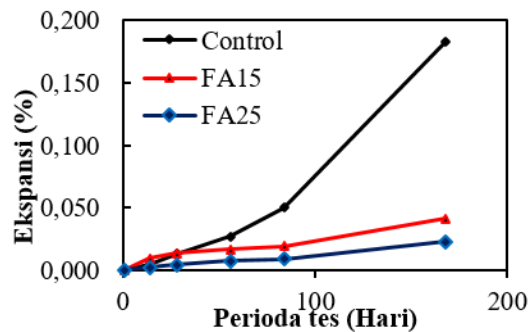
## UJI KECEPATAN PULSA ULTRASONIK (UPV)

Tes ini dimaksudkan untuk menilai kualitas beton menggunakan metode kecepatan pulsa ultrasonik. Prinsip dasar pengujian ini dengan mengukur waktu perjalanan ultrasonic pulsa melewati beton yang sedang diuji.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

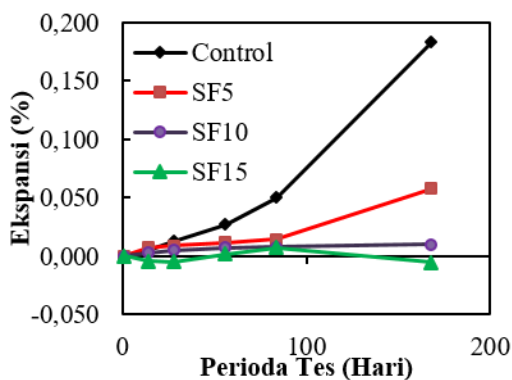
### Uji ekspansi

Grafik ekspansi mortar memakai FA ditunjukkan pada Gambar.1. Dalam kasus mortar tanpa campuran mineral, ekspansi besar dan cepat dari awal hingga akhir periode ini. Dapat diamati bahwa ada pengurangan ekspansi karena penggunaan FA.



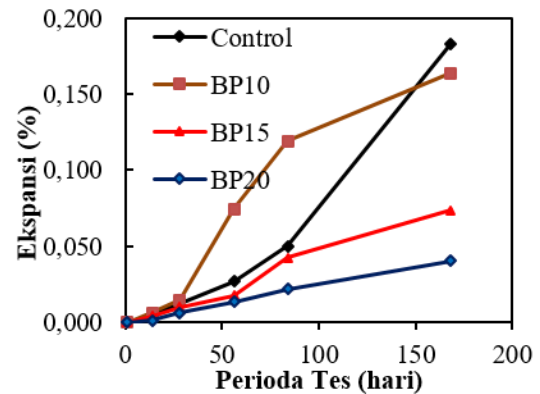
**Gambar 1.** Ekspansi mortar menggunakan FA

Tingkat ekspansi mortar dengan FA25% lebih rendah dibandingkan dengan ekspansi mortar dengan FA15%. Kemudian Gambar 2 menunjukkan perilaku mortar memakai SF.



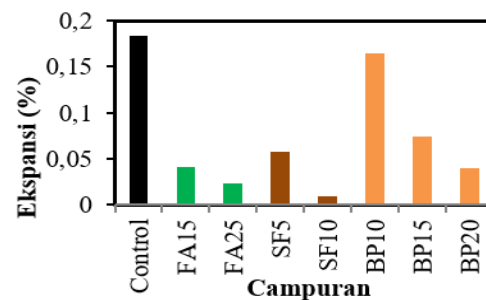
**Gambar. 2.** Ekspansi mortar menggunakan SF

Ekspansi mortar menggunakan SF menunjukkan pengurangan ekspansi dibandingkan dengan ekspansi mortar tanpa campuran mineral. Dalam kasus mortar tanpa SF, ekspansi meningkat perlahan hingga delapan minggu kemudian meningkat secara dramatis hingga akhir pengamatan. Grafik ekspansi mortar menggunakan BP ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



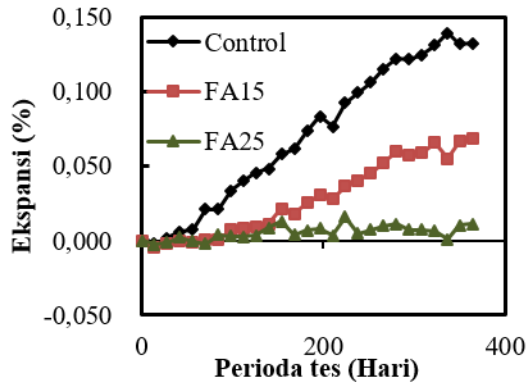
**Gambar 3.** Ekspansi mortar menggunakan BP

Dalam hal kontrol, ekspansi meningkat secara perlahan hingga delapan minggu, kemudian membesar hingga akhir pengamatan. BP10 meningkat luar biasa, tetapi menjadi lebih rendah dari kontrol pada akhirnya. BP15 meningkat secara bertahap tetapi menjadi lebih rendah dari BP10 pada akhirnya. Mortar yang mengandung 10%, 15%, dan 20% BP menunjukkan pengurangan ekspansi. Perbandingan pengurangan ekspansi menggunakan semua mineral yang dipakai dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4.** Ekspansi mortar menggunakan FA, SF, BP

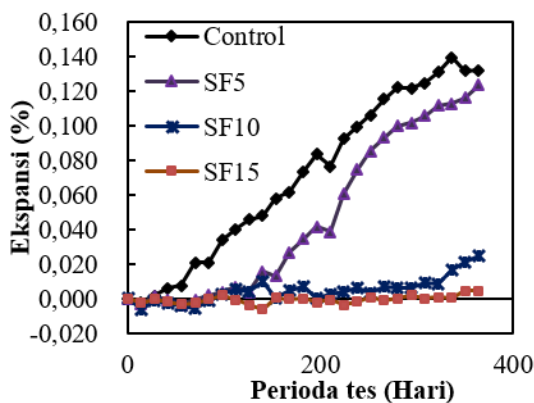
Kemudian, Gambar 5 menunjukkan perilaku ekspansi beton. Batu kapur digunakan sebagai agregat halus dan menggabungkan batu kapur dan andesit untuk agregat kasar.



**Gambar 5.** Ekspansi beton menggunakan FA

Dalam kasus beton tanpa campuran mineral, ekspansi besar dan cepat dari awal hingga akhir periode pengujian. Dapat diamati bahwa ada pengurangan ekspansi karena penggunaan FA. Garis ekspansi beton dengan FA25% lebih rendah dibandingkan dengan beton dengan FA15%.

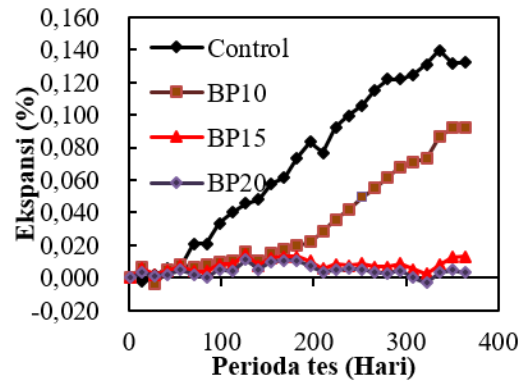
Ekspansi beton menggunakan silika ditunjukkan pada Gambar 6. Ekspansi beton menggunakan SF menunjukkan pengurangan ekspansi dibandingkan dengan kontrol.



**Gambar 6.** Ekspansi beton menggunakan SF

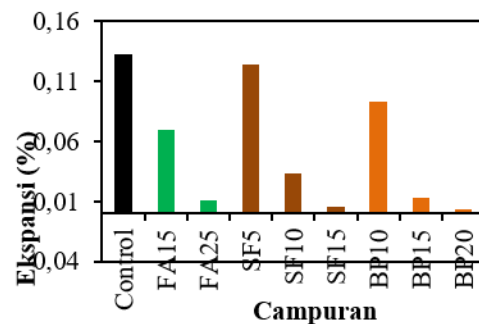
Tingkat ekspansi beton dengan level SF10% lebih rendah dari beton menggunakan SF pada level 5%,

campuran beton dengan level SF15% adalah yang terendah ekspansinya. Pengurangan ekspansi beton menggunakan SF pada level 10% dan SF15% di bawah 0,05% yang diklasifikasikan sebagai tidak reaktif. Selanjutnya, Gambar 7 menunjukkan perilaku ekspansi beton dengan memakai bubuk perlite. Dalam kasus beton kontrol, ekspansi besar dan cepat setelah 50 hari.



**Gambar 7.** Ekspansi beton menggunakan BP

Dapat diamati bahwa ada pengurangan ekspansi karena penggunaan BP. Namun, peningkatan level BP menurunkan ekspansi. Prisma beton yang mengandung 15% BP lebih rendah dari beton dengan BP pada level 10%. Beton yang mengandung 10%, 15%, dan 20% BP menunjukkan pengurangan ekspansi. Hasil uji prisma beton menggunakan 10% BP berada di bawah 0,05% yang diklasifikasikan sebagai non-reaktif. Perbandingan pengurangan ekspansi memakai semua mineral pada beton ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini.

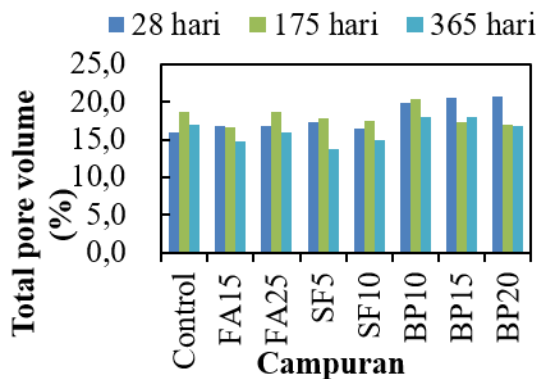


**Gambar 8.** Ekspansi beton menggunakan FA, SF, BP

Perbandingan antara SF dan BP pada level penggantian 10%, SF berkinerja lebih baik daripada BP. Pada tingkat yang sama, ekspansi SF15 adalah terkecil dari BP15%, dan FA15. Efektivitas SF 15% lebih baik dari BP 15%.

### Uji porositas

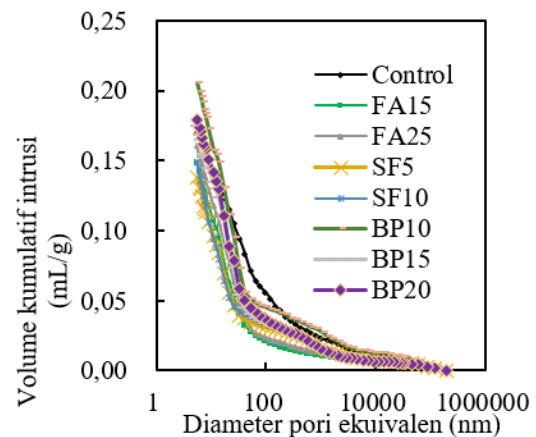
Hasil pengujian porositas yang dilakukan pada umur 28, 175 dan 365 hari ditunjukkan pada gambar berikut ini.



**Gambar 9.** Total pore volume beton menggunakan FA, SF, BP

Dalam kasus beton dengan tambahan alkali, terlihat tidak ada efek signifikan dari FA, dan SF dan BP terhadap porositas. Nilai porositas cenderung meningkat sampai umur 175 hari, namun menurun pada umur setahun pada campuran control. dan juga memperbesar pada FA25, BP10. Porositas beton dengan FA25, BP10, dan BP15 menunjukkan fluktuasi. Porositas beton dengan Perlite pada level 20% berkurang setelah 28 hari kemudian terlihat stabil. Hasil porositas berada pada kisaran 13,79% hingga 20,63%. Porositas beton dengan FA pada level 15% lebih rendah dari beton kontrol. Selanjutnya, tren porositas dengan SF pada level 5%, 10% juga lebih rendah dibandingkan dengan beton kontrol. Sebagian besar nilai porositas berkurang dengan waktu dari 28 hari menjadi 365 hari seperti: beton dengan FA pada level 15%, SF pada level 10%. Sementara itu, yang lain tidak menunjukkan stabil. Distribusi ukuran pori beton dengan FA, SF, dan BP menunjukkan urutan yang baik dibandingkan dengan

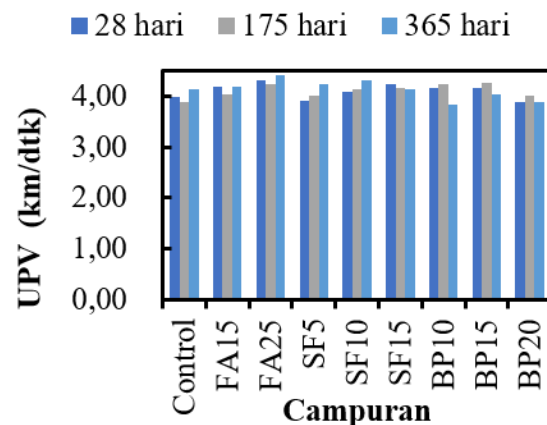
beton control, sebagaimana terlihat pada Gambar 10 berikut ini.



**Gambar 10.** Distribusi diameter pori ekuivalen menggunakan FA, SF, BP

### Uji kecepatan pulsa ultra sonik

Hasil uji UPV pada umur 28, 175 dan 365 hari ditunjukkan pada Gambar 11 berikut ini.



**Gambar 11.** Nilai UPV beton menggunakan FA, SF, BP

Nilainya berada di kisaran 3,90 s.d 4,42 km /s. Hasilnya menunjukkan bahwa kualitas betonnya bagus. Semua nilai lebih tinggi dari 3,7 km /s (IS: 13311-1-1992). Perbandingan hasil UPV antara beton menggunakan mineral lebih tinggi terhadap beton kontrol. Nilai upv beton dengan FA pada level 15%, FA pada level 25%, dan SF pada level 10% tinggi dibanding kontrol. Nilai UPV beton dengan SF pada level 5%, hampir sama dengan beton kontrol. Ada

fluktuasi di antara hasil-hasil UPV. Namun, itu tidak membuat perbedaan yang signifikan dalam hasil UPV untuk semua umur. Ada pengurangan hasil UPV dibandingkan dengan UPV beton dengan FA di level 15%, 25%, BP di level 10%, dan 15%. Nilai UPV beton dengan BP pada level 20% hampir sama dengan beton kontrol.

### EFEKTIFITAS MINERAL

Mekanisme ASR oleh bahan semen tambahan (SCM) terkait dengan faktor-faktor berikut<sup>1,2,5,8,11</sup>: pengurangan alkalinitas larutan pori, konsumsi kalsium hidroksida, permeabilitas rendah. Jumlah dan komposisi gel C-S-H dipengaruhi oleh jenis dan jumlah SCM. Penambahan SCM mengarah pada pembentukan gel C-S-H dengan rasio Ca / Si yang rendah, menghasilkan konsentrasi alkali yang lebih rendah dan ion hidroksida dalam larutan pori. Kalsium hidroksida dikonsumsi dalam reaksi SCM. Jumlah gel C- (A) -S-H meningkat dengan reaksi ini; menghasilkan permeabilitas rendah karena densifikasi pasta semen. Penggantian OPC oleh SCM mengurangi ion alkali dan hidroksida. Mekanisme ini dikaitkan dengan pengenceran semen, konsumsi portlandit dan penyerapan alkali oleh gel C-S-H dengan Ca/Si rendah.

Salah satu mekanisme pencampuran mineral, mis. abu terbang untuk menekan ekspansi dengan menurunkan konsentrasi alkali dan ion hidroksida dalam larutan pori. Ketika jumlah yang tepat dari campuran mineral ditambahkan, mengarah pada pembentukan gel C-S-H dengan rasio Ca/Si yang rendah. Akibatnya, konsentrasi alkali dan ion hidroksida menjadi rendah<sup>8,11</sup>. FA bergabung dengan alkali dari semen yang bereaksi dengan silika dari agregat, sehingga ekspansi dicegah. Total konten alkali dari semen campuran meningkat karena penggantian semen oleh FA. Namun, partikel FA tidak melepaskan alkali; alkali tampaknya disimpan dalam produk terhidrasi yang dihasilkan dari

reaksi pozzolan. Lebih lanjut, N Tenoutasse (1986) menyebutkan bahwa: FA memiliki kemampuan untuk menyerap alkali ketika bereaksi secara kimia dengan alkali hidroksida dalam pasta semen Portland, sehingga membuat alkali tidak tersedia untuk reaksi dengan silika dalam agregat tertentu.

### KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh dirangkum sebagai berikut:

(1) Efektivitas FA dengan level 25%, SF dengan level 10%, dan BP 10% dapat mengurangi ekspansi ketika agregat digunakan dalam proporsi pessimum.

(2) SF adalah mineral yang efektif dalam mengurangi ekspansi dibandingkan dengan FA, dan BP.

(3) Distribusi ukuran pori beton dengan FA, SF, dan BP terlihat lebih baik dibandingkan beton control.

(4) Hasil UPV menggunakan FA25 dan SF10 cenderung lebih tinggi dibanding campuran lainnya.

### DAFTAR PUSTAKA

E.G. Aydin and H. Yildirim (2012), "The effect of mineral admixtures and micronized calcite on alkali silica reaction expansions in the usage of aggregates from different origin", *International Journal of Physical Sciences*, Vol. (45), pp.5996-6011.

George J.Z.Xu., Daniel F. Watt., and Peter P. Hudec (1995): "Effectiveness of Mineral Admixtures in Reducing ASR-expansion, Cement and Concrete Research", Vol.25, pp.1225-1236.

Japan Society of Civil Engineers (2002): "Standard Specifications for Concrete Structures". Design, p.443.

L.J. Malvar, Lary R. Lenke, (2006): "Efficiency of Fly ash in

- Mitigating Alkali-Silica Reaction Based on Chemical Composition”, *ACI Materials Journal*, September-October, pp.319-326.
- M. H. Shehata, M.D.A. Thomas, R.F. Bleszynski (1999): “The effect of abu terbang composition on the chemistry of pore solution”, *Cem Concr Res* 29, pp.1915-1920.
- Rasheeduzzafar et al. (1991):”Effect of Micro silica and Blast Furnace Slag on Pore Solution Composition and Alkali-Silica Reaction”: *Cement and Concrete Composites*, Elsevier Science Publishers Ltd, England, pp. 219-225.
- T.K. Erdem, Ç. Meral, M. Tokyay, T.Y. Erdoğan, (2007): “Use of perlite as a pozzolanic addition in producing blended cements”. *Cement and Concrete Composites* 29, pp.13-21.
- T. Haruka and K.Yamada, (2012):“Critical characters of abu terbang suppressing ASR”, *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International conference on Alkali-aggregate Reaction*, CD-ROM, 030211-Kawa.
- Tenoutasse N., and Marion A.M. (1986): “Influence of Abu terbang in Alkali-Aggregate Reaction”, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, pp.44-48.
- Uchimura, A. , (2012): “The Expansion Behavior of Concrete and Mortar with Two Kinds of Alkali Silica Reactive Aggregate”, *Master Thesis*, Kyushu University.
- Y. Kawabata, K. Yamada, and H. Matsushita, (2012): “The effect of composition of cement hydrates with supplementary cementitious materials on ASR expansion”, *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Alkali-aggregate Reaction*, CD-ROM, 031711-Kawa.