

V. HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil analisa material

Material-material yang akan digunakan dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian sifat propertiesnya untuk mengetahui apakah material tersebut memenuhi persyaratan sebagai bahan susun beton. Pemeriksaan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta dan institusi di luar Universitas Muhammadiyah Surakarta sesuai syarat pemeriksaan yang bersesuaian.

4.1.1. Hasil analisa semen portland

Semen Portland yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen type PPC produksi PT Semen Gresik. Berbeda dengan semen portlan type I, semen PPC mengandung pozzolan

4.1.2. Hasil analisa *fly ash*

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis yaitu berasal dari PLTU yang dibeli di pasaran dan PLTU yang berasal dari Jepara. *Fly ash* yang dibeli di pasaran dibeli dari UD Seminar Mandiri Mojosoongo. Analisa kimia terhadap *fly ash* dilakukan di laboratorium Balai Konservasi Borobudur. Hasil analisa ditunjukkan dalam Tabel berikut ini:

Tabel V-1 Hasil analisa *fly ash*

Analisis kimia	Satuan	<i>Fly ash</i> Pasaran	<i>Fly ash</i> PLTU	Standar ASTM kelas C
Silika dioksida, SiO ₂	%	24,1100	32,5900	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ min. 50%
Aluminium oksida, Al ₂ O ₃	%	13,3993	12,6828	
Fery oksida, Fe ₂ O ₃	%	6,9445	6,4722	
TiO ₂	%	0,8420	0,8120	
Magnesium oksida, MgO	%	3,1117	4,6351	
Ca O	%	0,7182	0,8753	

Dari hasil analisa *fly ash* di atas diperoleh, *fly ash* yang berasal dari PLTU Jepara termasuk *fly ash* kelas C, karena jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ lebih dari 50%, namun kurang dari 70%. Hasil ini sesuai dengan tinjauan pustaka yang dilakukan dimana *fly ash* di Indonesia pada umumnya merupakan *fly ash* kelas C karena diproduksi dari sumber batu bara jenis lignite dan sub bituminous, dimana jenis *fly ash* ini akan menghasilkan abu terbang kelas C (Sule and Matasak, 2012, Suprpto, 2009).

Sedangkan *fly ash* yang dibeli dari pasaran tidak memenuhi syarat sebagai *fly ash* kelas C sehingga dikategorikan sebagai bahan pozzolan saja. Dengan demikian *fly ash* di pasaran tidak selalu memenuhi klasifikasi sebagai *fly ash* sesuai standard (ASTM C 618-03, 2003) dan perlu diperiksa kelayakannya apabila akan digunakan.

4.1.3. Hasil analisa agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari Gunung Merapi, selanjutnya dilakukan pengujian sifat-sifat fisik di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Teknik Sipil UMS. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kandungan zat organik, kandungan lumpur, berat jenis (*specific gravity*), dan gradasi agregat halus. Setelah dilakukan pengujian maka hasilnya pada tabel V.1. Hasil perhitungan dan data-data pengujian secara lengkap terdapat dalam lampiran.

Tabel V-2 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standart SNI	Keterangan
Kandungan Zat Organik	Larutan NaOH 3 % berwarna kuning muda	Jernih atau kuning muda	Memenuhi Syarat
Kandungan Lumpur	3.67 %	Maksimum 5 %	Memenuhi Syarat
Berat Jenuh Kering Permukaan (<i>Saturated Surface Dry</i>)	2.659	2.5-2.7	Memenuhi Syarat
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Spesific Gravity</i>)	2.714	-	Tidak tercantum dalam standart SNI
Berat Jenis Curah Kering	2.628	-	Tidak tercantum dalam standart SNI
Penyerapan air	1.215	Maksimum 5%	Memenuhi Syarat
Modulus Halus Butir	3.28	1.5 – 3.8	Memenuhi Syarat

Dari tabel diatas ternyata setelah didiamkan selama ± 24 jam campuran NaOH dan pasir didapat cairan berwarna kuning muda dan termasuk no 2. Batas standart warna (*Hellige Tester*) antara no 1 - 5. Jadi pasir yang digunakan untuk pembuatan campuran beton memenuhi syarat. Dalam pengujian kandungan lumpur pada pasir didapat 3.67 %, sedangkan batasnya maksimal 5%, sehingga pasir sudah bisa digunakan untuk bahan campuran beton. Dari hasil pemeriksaan berat jenis pasir diperoleh nilai penyerapan air

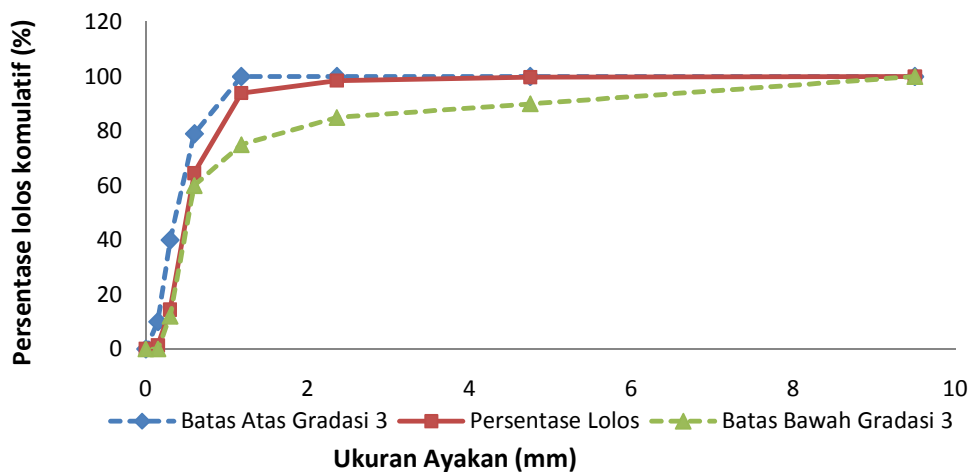
sebesar 1.21 %, dapat disimpulkan bahwa agregat halus tersebut sudah memenuhi persyaratan karena spesifik nilai penyerapan airnya kurang dari 5 %. Hasil percobaan diatas pasir mempunyai modulus halus butir antara 1.5 - 3.8 termasuk dalam pasir halus, sehingga pasir yang digunakan di atas termasuk pasir halus karena mempunyai modulus halus butir 3.282.

Untuk hasil pengujian agregat halus sesuai dengan persyaratan dari ASTM C33-97 dapat dilihat pada tabel V.2 berikut ini.

Tabel V-3 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

No	Ukuran ayakan	Berat ayakan	ayakan + pasir	Berat pasir	Koreksi	Berat Pasir Terkoreksi	Persentase Pasir Tertinggal	Persentase Kumulatif	
	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	Tertinggal (%)	Lolos (%)
1	9.5 (3/8)	386	390	4	0.005	4.005	0.134	0.134	100
2	4.75 (no.4)	441	448	7	0.009	7.009	0.234	0.367	99.766
3	2.36(no.8)	428	466	38	0.051	38.051	1.268	1.636	98.498
4	1.18(no.16)	421	557	136	0.182	136.182	4.539	6.175	93.959
5	0.6 (no.30)	407	1287	880	1.175	881.175	29.372	35.547	64.586
6	0.3 (no.50)	407	1907	1500	2.003	1502.003	50.067	85.614	14.519
7	0.15	297	690	393	0.525	393.525	13.117	98.732	1.402
8	Pan	388	426	38	0.051	38.051	1.268	100	0.134
					2996	3000	100	328.2	

Dari tabel gradasi agregat halus di atas dapat digambarkan grafik gradasi sebagai berikut :



Gambar V-1 Grafik hubungan antara ukuran ayakan dan presentase lolos kumulatif

Dari gambar IV.1 grafik hubungan antara ukuran ayakan dan presentase lolos kumulatif pada agregat halus masuk pada daerah gradasi 3. Sehingga agregat halus termasuk pasir halus. (Mulyono, 2004)



Gambar V-2 Ayakan dan pasir

4.1.4. Hasil analisa agregat kasar

Pengujian terhadap agregat kasar yang dipakai dalam suatu penelitian ini meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*) dan gradasi agregat kasar. Hasil pengujian ini terdapat dalam tabel V.3.

Tabel V-4 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standart SNI	Keterangan
Berat Jenuh Kering Permukaan (<i>Saturated Surface Dry</i>)	2.638	2.5 – 2.7	Memenuhi syarat
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	2.649	-	Tidak tercantum dalam standart SNI
Berat Jenis Curah Kering	2.63	-	Tidak tercantum dalam standart SNI
Penyerapan air	0.255 %	3 %	Memenuhi syarat
Modulus Halus Butir	7.05	5 - 8	Memenuhi syarat

(Sumber : hasil pengujian)

Dari tabel diatas pada pengujian berat jenuh kering permukaan (SSD) didapat 2.638 sedangkan pada umumnya berkisar antara 2.5-2.7 jadi pengujian berat jenuh permukaan memenuhi syarat. Modulus halus butir pada kerikil tersebut 6.21 sesuai dengan kisaran modulus halus butir pada umumnya untuk kerikil yaitu antara 5-8, sehingga kerikil tersebut dapat digunakan untuk campuran beton. Dari hasil percobaan diperoleh

penyerapan air untuk agregat kasar 0.2551 % maka agregat kasar layak digunakan sebagai campuran beton karena nilai penyerapan air maksimal 3 %.

Tabel V-5 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

No	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Ayakan (gr)	Berat Ayakan + Kerikil (gr)	Berat Kerikil (gr)	Koreksi	Berat Kerikil Terkoreksi (gr)	Persentase Kerikil Tertinggal (%)	Persentase Kumulatif (%)	
								Tertinggal	Lolos
1	38	640	640	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	19	540	540	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4	9.5	420	925	501	5.06	506.06	50.61	50.61	49.39
5	4.75	410	716	245	2.47	247.47	24.75	75.35	24.65
6	2.36	425	659	137	1.38	138.38	13.84	89.19	10.81
7	1.18	420	585	65	0.66	65.66	6.57	95.76	4.24
8	0.6	405	523	20	0.20	20.20	2.02	97.78	2.22
9	0.3	405	486	5	0.05	5.05	0.51	98.28	1.72
10	0.15	395	455	0	0.00	0.00	0.00	98.28	1.72
11	pan	265	286	17	0.17	17.17	1.72	100.00	0.00
Total				990		1000	100.00	705.25	

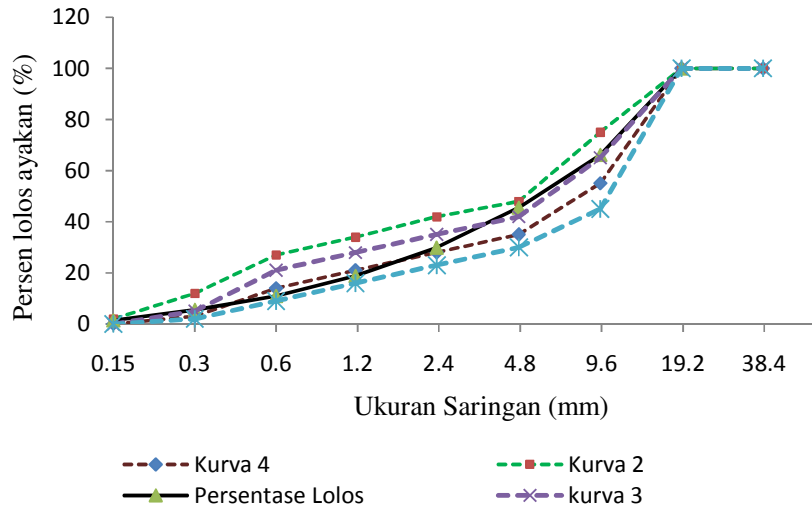
(Sumber : hasil pengujian)



Gambar V-3 Ayakan dan pasir

Dari tabel gradasi agregat kasar di atas dapat digambarkan grafik gradasi sebagai berikut

:



Gambar V-4 Grafik hubungan antara ukuran ayakan dan presentase lolos komulatif

Dari gambar grafik hubungan antara ukuran ayakan dan presentase lolos komulatif pada agregat kasar masuk pada batas gradasi agregat untuk besar butir maksimum 20 mm (Mulyono, 2004).

4.2. Hasil rancangan campuran beton

Rancangan campuran beton menggunakan metode DOE (*Departement of Environment*) yang kemudian dipakai di Indonesia dan dimuat dalam buku standar SK.SNI.T-15-1990-03 dengan judul “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal”.

Pada penelitian ini nilai faktor air semen (fas) sudah ditetapkan sebesar 0,55 dengan maksud agar diperoleh target kuat tekan rencana rata-rata beton pada umur beton 28 hari sebesar 30 MPa. Rangkaian perhitungan rancangan campuran beton secara rinci dicantumkan dalam lampiran penelitian ini. Selanjutnya hasil rancangan campuran beton akan digunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen sebesar 50% terhadap berat semen. Demikian juga pemakaian air kapur sebagai air campuran beton juga akan digunakan untuk meningkatkan reaktifitas *fly ash* di dalam beton. Hasil perhitungan rancangan campuran beton ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel V-6 Rancangan campuran beton

Kode	Jenis air	Semen (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Aggregat halus (kg/m ³)	Aggregat kasar (kg/m ³)
Beton Normal	Air keran	346.0	0	756.0	1,334.0
High volume fly ash	Air keran	173.0	173.0	756.0	1,334.0
High volume fly ash	Air kapur	173.0	173.0	756.0	1,334.0

4.3. Hasil pengujian sifat mekanik beton

Pengujian sifat mekanik beton dilakukan setelah beton dirawat di dalam bak air tawar sesuai umur rencana yang meliputi uji kuat tekan, uji uji kuat tarik.

4.3.1. Pengujian Kuat tekan beton

a. Hasil pengujian dan analisis kuat tekan beton normal

Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan ukuran sisi masing-masing 15 cm dapat dilihat pada tabel V.7 sebagai berikut :

Tabel V-7 Analisis Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal

Kode	Umur hari	Berat kg	P _{max} (kubus) KN	P _{max} (kubus) kg	A cm ²	f _c kg/cm ²	f _c MPa	Rata-Rata Kuat Tekan Beton MPa
K1-1	14	8.245	440	44000	225	195.556	19.556	19.556
K1-2		8.095	440	44000	225	195.556	19.556	
K1-3		7.930	450	45000	225	200.000	20.000	
K1-1	28	7.990	420	42000	225	186.667	18.667	20.044
K1-2		8.165	457	45700	225	203.111	20.311	
K1-3		8.055	476	47600	225	211.556	21.156	
K1-1	56	8.080	491	49100	225	218.222	21.822	23.807
K1-2		7.915	557	55700	225	247.556	24.756	
K1-3		8.100	559	55900	225	248.444	24.844	

(Sumber : hasil pengujian)

b. Hasil pengujian dan analisis kuat tekan beton yang dicampur dengan fly ash dari PLTU Jepara

Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan ukuran sisi masing-masing 15 cm dapat dilihat pada tabel V.8.

Tabel V-8 Analisis Perhitungan Kuat Tekan Beton yang Dicampur dengan Fly ash dari PLTU Jepara

Kode	Umur hari	Berat kg	P _{max} (kubus) KN	P _{max} (kubus) kg	A cm ²	f _c kg/cm ²	f _c MPa	Rata-Rata Kuat Tekan Beton MPa
------	-----------	----------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------	-----------------------------------	--------------------	--------------------------------

K2-1	14	7.975	293	29300	225	130.222	13.022	13.748
K2-2		8.085	314	31400	225	139.556	13.956	
K2-3		7.870	320	32000	225	142.222	14.222	
K2-1	28	8.230	294	29400	225	130.667	13.067	13.629
K2-2		8.310	314	31400	225	139.556	13.956	
K2-3		8.060	312	31200	225	138.667	13.867	
K2-1	56	8.110	402	40200	225	178.667	17.867	17.578
K2-2		8.050	389	38900	225	172.889	17.289	

(Sumber : hasil pengujian)

c. Hasil pengujian dan Analisis kuat tekan beton yang dicampur dengan fly ash yang berasal dari UD Sinar Mandiri Mojosoongo

Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan ukuran 15 cm dapat dilihat pada tabel V.9.

Tabel V-9 Analisis Perhitungan Kuat Tekan Beton yang Dicampur dengan Fly ash yang berasal dari UD Sinar Mandiri Mojosoongo

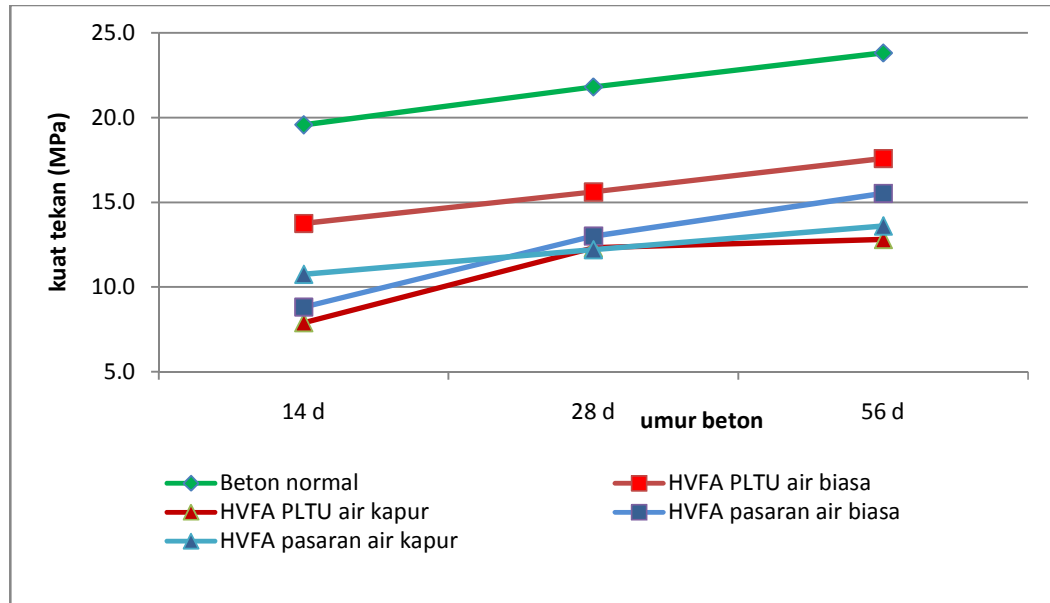
Kode	Umur hari	Berat kg	P_{max} (kubus) KN	P_{max} (kubus) kg	A cm^2	f'_c kg/cm^2	f'_c Mpa	Rata-Rata Kuat Tekan Beton MPa
K3-1	14	8.150	189	18900	225	84.000	8.400	8.815
K3-2		7.895	202	20200	225	89.778	8.978	
K3-3		7.995	204	20400	225	90.667	9.067	
K3-1	28	8.165	274	27400	225	121.78	12.178	13.007
K3-2		8.150	300	30000	225	133.333	13.333	
K3-3		8.130	304	30400	225	135.111	13.511	
K3-1	56	8.265	320	32000	225	142.222	14.222	15.526
K3-2		8.040	352	35200	225	156.444	15.644	
K3-3		8.075	376	37600	225	167.111	16.711	

(Sumber : hasil pengujian)



Gambar V-5 Pengujian kuat tekan beton

Berdasarkan rata-rata kuat tekan dan umur beton maka dapat digambarkan grafik sebagai berikut :



Gambar V-6 Grafik hubungan rata-rata kuat tekan beton dengan umur beton

Dari gambar grafik hubungan antara rata-rata kuat tekan beton dan umur beton, maka dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya umur beton maka kekuatan beton semakin bertambah (Kurniawandy, dkk. 2011). Tetapi pada penelitian ini beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* yang berasal dari PLTU Jepara kekuatan beton yang berumur 28 hari mengalami penurunan. Kemungkinan disebabkan terlalu kentalnya beton segar dan nilai *slump* yang rendah serta bisa mengakibatkan keropos pada benda uji sehingga mempengaruhi penurunan kekuatan beton. Jadi beton yang dicampur dengan *high volume fly ash*, kekuatan beton yang dihasilkan juga menurun.

Bila dibandingkan nilai kekuatan beton dengan beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* yang berasal dari PLTU jepara dan *fly ash* yang berasal dari UD Sinar Mandiri Mojoso nilai kekuatannya lebih tinggi *fly ash* dari PLTU jepara. Jadi *fly ash* dari PLTU lebih baik digunakan sebagai bahan dalam campuran beton.

Pada beton dengan pemakaian *fly ash* PLTU Jepara sebanyak 50 % kuat tekan pada umur 14 hari sampai umur beton 28 hari mengalami peningkatan dimana kuat tekan pada umur 14 hari sebesar 7,926 MPa, pada umur 28 hari sebesar 12,341 MPa dan pada umur 56 hari kuat tekan relatif sama yaitu sebesar 12,237 MPa. Pada beton dengan

pemakaian *fly ash* pasaran sebanyak 50 % kuat tekan pada umur 14 sampai umur beton 28 hari mengalami peningkatan dimana kuat tekan pada umur 14 hari sebesar 10,756 MPa, pada umur 28 hari sebesar 12,933 MPa dan pada umur 56 hari kuat tekan relatif sama yaitu 12,400 MPa.

Dari data hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai kuat tekan rata-rata untuk beton normal lebih besar dari pada beton yang menggunakan air kapur sebagai air campuran beton dengan pemakaian 50% *fly ash* dari PLTU Jepara dan juga *fly ash* yang didapat di pasaran. Rata-rata kuat tekan beton tertinggi pada beton normal dengan nilai kuat tekan tertinggi 24,815 MPa. Dengan pemakaian *fly ash* sebanyak 50% menunjukkan bahwa kuat tekan beton berada dibawah nilai kuat tekan beton normal. Hal ini sesuai dengan penelitian Andoyo (2006) dimana hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa kuat tekan mengalami kenaikan pada pemakaian *fly ash* sebesar 10%, 20%, 30% dan setelah itu mengalami penurunan kembali pada pemakaian *fly ash* sebesar 40%.

4.3.2. Pengujian Kuat tarik belah beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan dengan menggunakan benda uji yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan pada umur 56 hari. Hasilnya dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

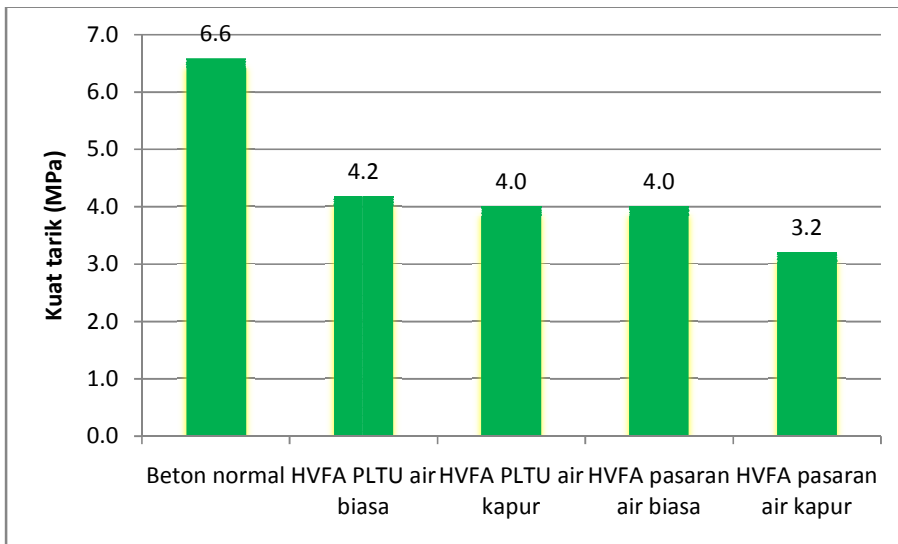
Tabel V-10 Analisis Perhitungan Kuat Tarik Belah Beton

Kode	Umur hari	Berat kg	P_{max} (silinder) KN	P_{max} (silinder) kg	f_{ct} kg/cm ²	f_{ct} MPa	Rata-Rata Kuat Tarik Belah MPa
K1-1	56	12.460	104	10400	46.222	4.622	5.926
K1-2		12.210	150	15000	66.667	6.667	
K1-3		12.185	146	14600	64.889	6.489	
K2-1	56	12.325	80	8000	35.556	3.556	3.822
K2-2		12.055	84	8400	37.333	3.733	
K2-3		12.460	94	9400	41.778	4.178	
K3-1	56	12.265	74	7400	32.889	3.289	3.467
K3-2		12.540	74	7400	32.889	3.289	
K3-3		12.665	86	8600	38.222	3.822	
					30.667	3.067	3.793
					40.000	4.000	
					43.111	4.311	
					32.000	3.200	

			38.222	3.822	4.593
			67.556	6.756	

(Sumber : hasil pengujian)

Berdasarkan benda uji dan rata-rata kuat tarik belah beton dari beton normal dan beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* maka di dapatkan gambar diagram rata-rata kuat tarik belah beton sebagai berikut:



Gambar V-7 Diagram hasil rata-rata kuat tarik belah beton

Dilihat dari gambar V.7 beton yang berumur 56 hari rata-rata kuat tarik belah beton normal dengan beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* dari PLTU Jepara kuat tarik belahnya hampir mendekati. Tetapi hasil kuat tarik belah beton normal nilainya lebih tinggi dari pada beton yang dicampur dengan *high volume fly ash*. Jadi beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* dapat mempengaruhi penurunan kuat tarik belah beton (Kurniawandy, dkk. 2011). Bila dibandingkan *fly ash* dari PLTU Jepara itu lebih baik dari pada *fly ash* yang berasal dari UD Sinar Mandiri Mojosongo.

Pada tabel dan grafik diatas dapat diketahui bahwa rata-rata kuat tarik belah terbesar adalah pada beton normal yaitu sebesar 6,548 MPa, untuk beton dengan penggunaan *fly ash* dari pasaran memiliki kuat tarik belah rata-rata sebesar 4,593 MPa dan rata-rata kuat tarik belah terkecil terjadi pada beton dengan penggunaan *fly ash* dari PLTU Jepara yaitu sebesar 3,793 MPa. Pada penelitian kuat tarik belah ini menunjukkan bahwa beton normal lebih baik dari pada beton dengan penggunaan *fly ash* sebanyak 50

% . Hal ini sesuai dengan penelitian dari Kurniawan,dkk (2011) dimana kuat tarik belah maksimum terjadi pada pemakaian *fly ash* 20%, pada pemakaian *fly ash* di atas 20% kuat tarik belah menjadi lebih kecil dari pada beton normal.

4.3.3. Pengujian Kuat lentur beton

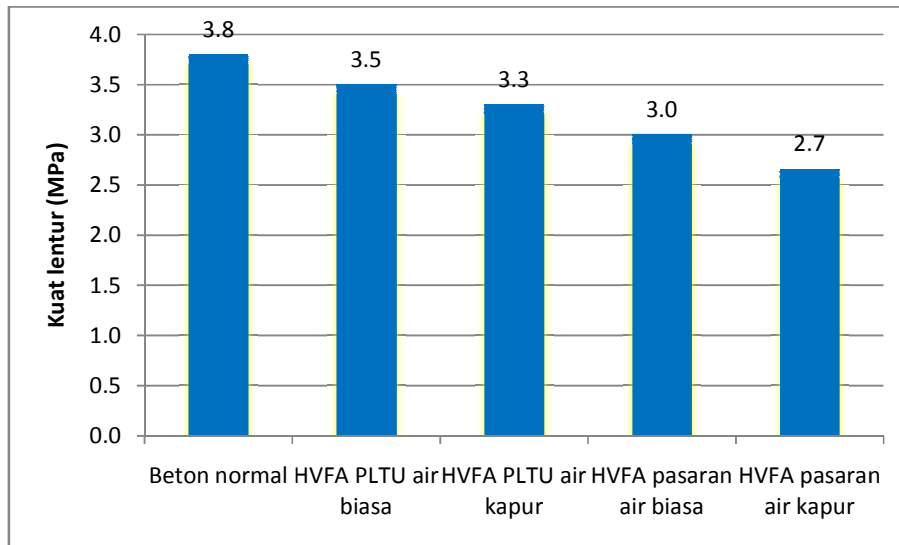
Hasil pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel V-11 Analisis Pengujian Kuat lentur Beton

Kode	Umur hari	P _{max} (balok) KN	P _{max} (balok) kg	f _{lt} kg/cm ²	f _{lt} MPa	Rata-Rata Kuat Lentur Beton MPa
K1-1	56	22.500	2250	30.938	3.094	3.713
K1-2		27.500	2750	37.813	3.781	
K1-3		31.000	3100	42.625	4.263	
K2-1	56	18.500	1850	25.438	2.544	2.567
K2-2		18.500	1850	25.438	2.544	
K2-3		19.000	1900	26.125	2.613	
K3-1	56	16.000	1600	22.000	2.200	2.315
K3-2		16.500	1650	22.688	2.269	
K3-3		18.000	1800	24.750	2.475	
K2'	56			21.083	2.108	2.628
				26.583	2.658	
				31.167	3.117	
K3'	56			25.667	2.567	2.933
				27.500	2.750	
				34.833	3.483	

(Sumber : hasil pengujian)

Berdasarkan rata-rata kuat lentur beton maka di dapatkan gambar sebagai berikut:



Gambar V-8 Grafik hasil rata-rata kuat lentur beton



Gambar V-9 Pengujian kuat lentur beton

Dari pengujian kuat lentur beton pada umur 56 hari dapat diketahui pola retak beton yang diakibatkan momen dan lendutan yang terjadi. Untuk mengetahui pengaruh beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* dan *fly ash* yang berasal dari berbagai tempat dapat dilihat pada gambar V.8.

Dari gambar V.8 terlihat bahwa beton normal hasil rata-rata kuat lentur beton lebih tinggi dari pada beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* (Dewangga,dkk.2013). *Fly ash* yang berasal dari UD Sinar Mandiri Mojosongo nilai kuat lentur beton hampir mendekati *fly ash* dari PLTU Jepara. Jika di dibandingkan dengan beton normal, *fly ash* yang berasal dari UD Sinar Mandiri Mojosongo nilai kuat lentur beton sepertiga dari beton normal.

Hasil pengujian balok beton pada umur 56 hari ini dapat dilihat pada grafik hubungan antara kuat lentur beton diketahui bahwa kuat lentur tertinggi yaitu pada beton normal yaitu sebesar 4,950 MPa. Pada beton dengan penggunaan *fly ash* sebanyak 50 %

dari PLTU Jepara dan menggunakan air kapur, nilai kuat lentur beton tersebut paling kecil yaitu 2,628 MPa sedangkan beton dengan *fly ash* pasaran memiliki kuat lentur lebih besar dari penggunaan *fly ash* PLTU yaitu sebesar 2,933 MPa. Pada penelitian kuat lentur ini menunjukkan bahwa beton normal lebih baik dari pada beton dengan penggunaan *fly ash* sebanyak 50 %.

4.4. Hasil pengujian durabilitas beton

Pengujian durabilitas beton dimaksudkan memeriksa sifat properties bahan berkaitan dengan ketahanan beton terhadap serangan lingkungan yang agresif. Pemeriksaan durabilitas beton meliputi uji berat volume beton, uji serapan air, uji perendaman pada larutan garam dan uji perendaman pada larutan sulfat.

4.4.1. Pengujian berat volume beton

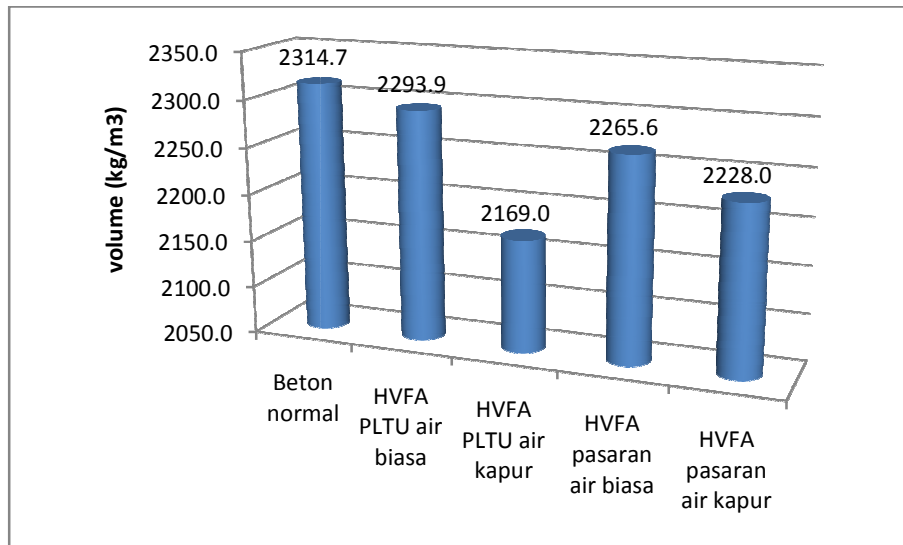
Hasil pengujian dan analisis berat isi beton dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel V-12 Analisis Berat Isi Beton

No	Sampel	Berat Cetakan kg	Berat Cetakan + Pasta kg	Berat Isi Beton (kg/m ³)	Rata-Rata Berat Isi Beton (kg/m ³)
1	K1-1	12.325	24.150	2231.658	2287.017
	K1-2	11.365	23.550	2299.599	
	K1-3	11.465	23.810	2329.795	
2	K2-1	12.325	24.480	2293.937	2320.359
	K2-2	11.465	23.780	2324.133	
	K2-3	11.365	23.780	2343.005	
3	K3-1	12.345	24.350	2265.629	2295.824
	K3-2	11.465	23.790	2265.629	
	K3-3	11.865	24.350	2356.216	
	F1-1	12.325	23.820	2.169	2.317
	F1-2	11.365	24.040	2.392	
	F1-3	11.465	24.120	2.388	
	F2-1	12.325	24.130	2.228	2.386
	F2-2	11.365	24.320	2.445	
	F2-3	11.465	24.640	2.486	

(Sumber : hasil pengujian)

Dari tabel V.12 dapat digambar diagram rata-rata berat isi beton sebagai berikut



Gambar V-10 Diagram hasil rata-rata berat isi beton

Dari gambar diatas didapat berat isi beton pada beton yang dicampur dengan *high volume fly ash*. Pada penelitian ini didapat berat isi beton yang tertinggi *fly ash* dari PLTU Jepara, sedangkan pada penelitian yang lain berat isi beton normal hasilnya lebih tinggi dari pada beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* (Suwarnita, 2011), (Sebayang, 2010), (Armeyn, 2014). Hal ini kemungkinan disebabkan kurangnya pemadatan pada saat pembuatan benda uji.

Dari hasil penelitian berat volume/isi beton relatif sama diantara ketiga variasi dimana berat volume/isi beton normal sebesar $2,287 \text{ kg/m}^3$, untuk beton dengan pemakaian *fly ash* dari PLTU Jepara berat volume/isi beton sebesar $2,317 \text{ kg/m}^3$, dan nilai berat volume/isi beton pada beton dengan pemakaian *fly ash* dari pasaran yaitu sebesar $2,386 \text{ kg/m}^3$.

4.4.2. Pengujian serapan air beton

Pengujian serapan air beton ini dilakukan dengan cara divakum. Hasil pengujiannya dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel V-13 Analisis Serapan Air Beton

Kode	W ₁ kg	W ₂ kg	Penyerapan air (%)	Rata-Rata Penyerapan air (%)
K1-1	1.085	1.185	9.217	9.448
K1-2	1.055	1.160	9.953	
K1-3	1.090	1.190	9.174	
K2-1	1.150	1.250	8.696	8.745
K2-2	1.010	1.105	9.406	

K2-3	1.045	1.130	8.134	
K3-1	1.060	1.150	8.491	8.786
K3-2	1.115	1.220	9.417	
K3-3	1.065	1.155	8.451	
	1160	1255	8.190	8.539
	1125	1225	8.889	
	1210	1295	7.025	7.410
	1070	1150	7.477	
	1100	1185	7.727	

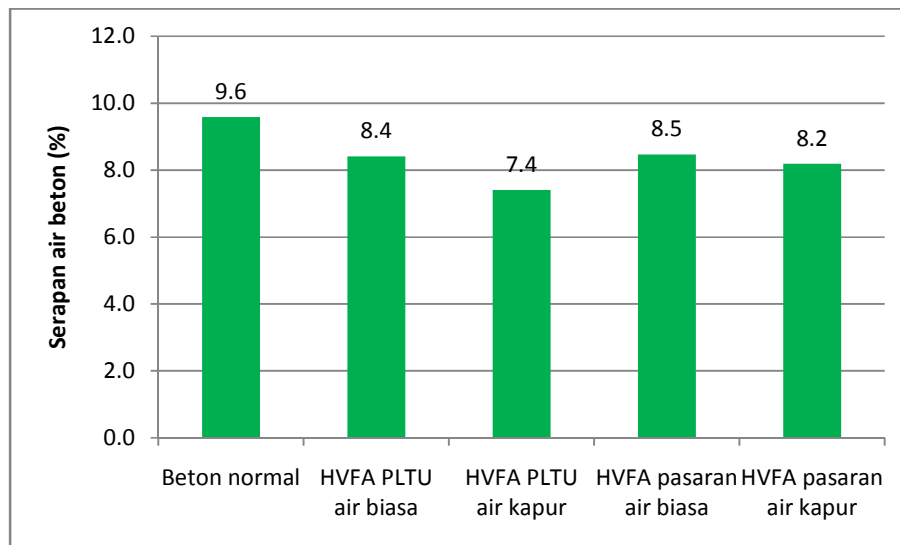
(Sumber : Dari hasil penelitian)

Keterangan :

W1 = Benda uji setelah dioven selama 24 jam

W2 = Benda uji setelah divakum dan direndam dengan air selama 18 jam

Dari tabel V.13 dapat dilihat gambar diagram rata-rata serapan air beton sebagai berikut:



Gambar V-11 Diagram hasil rata-rata serapan air beton

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa beton normal pada pengujian serapan air beton hasilnya lebih tinggi yaitu 9.448 %. Sedangkan beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* dari PLTU hasilnya 8.745%. Dan beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* yang berasal dari UD Sinar Mandiri Mojosongo hasilnya 8.786%. Maka beton normal lebih menyerap air dari pada beton yang dicampur dengan *high volume fly ash* (Andoyo, 2006).

Dari data pengujian di atas dapat diketahui bahwa pada beton normal tanpa penambahan *fly ash* memiliki persentase serapan air rata-rata sebesar 9,448 %. pada beton dengan penggunaan *fly ash* PLTU sebanyak 50 % dan menggunakan air kapur sebagai air

campuran beton memiliki persentase serapan air rata-rata sebesar 8,539 %. Untuk beton dengan penggunaan *fly ash* Pasaran sebanyak 50 % dan menggunakan air kapur sebagai air campuran beton memiliki persentase serapan air rata-rata sebesar 7,410 %. Dari ketiga variasi ini diketahui bahwa beton tanpa penggunaan *fly ash* memiliki penyerapan air paling besar yaitu 9,448 %.

Pada penelitian ini diketahui bahwa beton dengan penggunaan *fly ash* dari PLTU dan *fly ash* dari pasaran sebanyak 50 % dan menggunakan air kapur sebagai air campuran beton menyerap lebih sedikit air dari pada beton normal. Hal ini sesuai dengan penelitian Andoyo (2006) dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan *fly ash* maka penyerapan air semakin kecil.

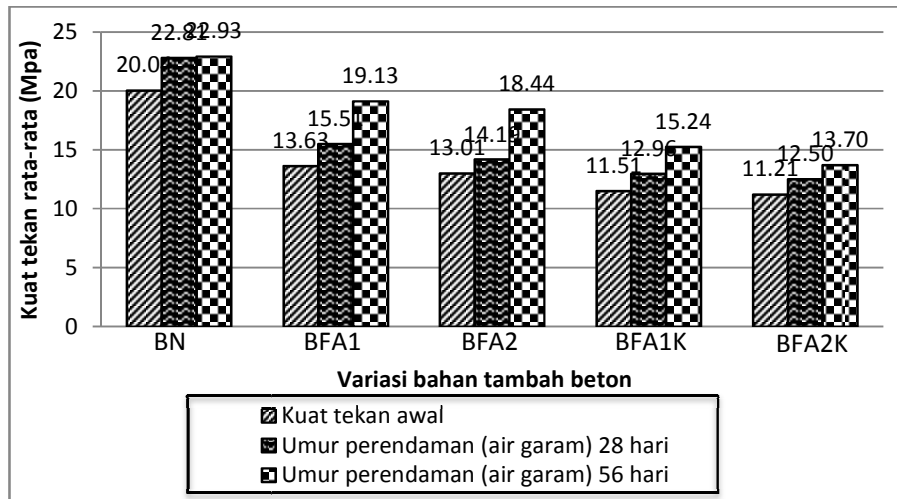
4.4.3. Pengujian perendaman beton dengan air garam

Pada penelitian ini perendaman beton pada larutan air garam menggunakan kadar garam 3% dan untuk pembuatan larutan telah diuraikan pada bab V.F. Hasil kuat tekan beton pada perendaman air garam secara lengkap dapat dilihat pada lampiran IV. dan table berikut ini.

Tabel V-14 Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton pada perendaman air garam.

Jenis Beton	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)		
	Awal	Air Garam	
		28 hari	56 hari
Beton Normal	20,04	22,81	22,93
Beton dengan bahan tambah <i>fly ash</i> PLTU	13,63	15,51	19,13
Beton dengan bahan tambah <i>fly ash</i> pasaran	13,01	14,19	18,44
Beton dengan bahan tambah <i>fly ash</i> PLTU + Air kapur	11,51	12,96	15,24
Beton dengan bahan tambah <i>fly ash</i> PLTU + Air kapur	11,21	12,50	13,70

(Sumber : Hasil penelitian)



Keterangan : BN = beton normal
 BFA1 = Beton dengan bahan tambah *fly ash* PLTU
 BFA2 = Beton dengan bahan tambah *fly ash* pasaran
 BFA1K = Beton dengan bahan tambah *fly ash* PLTU + air kapur
 BFA2K = Beton dengan bahan tambah *fly ash* pasaran + air kapur

Gambar V-12 Hubungan antara kuat tekan rata-rata dengan variasi bahan tambah *fly ash* pada perendaman air garam

Dari hasil pengujian kuat tekan beton pada perendaman air tawar dan air garam diatas menunjukkan bahwa penambahan *fly ash high volume* (50% *fly ash*) maupun penggunaan air kapur sebagai pengganti air campuran adukan beton memiliki kuat tekan yang lebih rendah daripada beton normal.

Dari gambar V.6 menunjukkan bahwa :

- 1) Perendaman beton dengan menggunakan air garam pada lama perendaman 28 hari dan 56 hari tidak berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Hal ini terlihat tidak terjadi kerusakan pada beton dan kuat tekan rata-rata yang terjadi relatif stabil sehingga tidak berpengaruh juga terhadap durabilitas beton. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ada kesesuaian hasil dengan penelitian Maryanto (2001) yang meneliti mengenai pengaruh variasi kadar garam dalam variasi umur perendaman terhadap kuat tekan beton.
- 2) Penggunaan air kapur sebagai air campuran beton memiliki kuat tekan rata-rata yang lebih rendah daripada penggunaan air tawar sebagai air campuran beton.

4.4.4. Pengujian perendaman beton dengan larutan asam sulfat

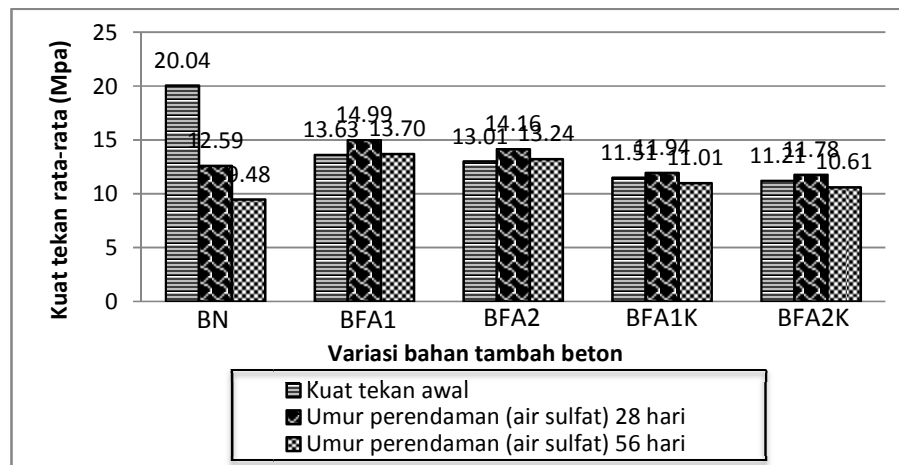
Pada penelitian ini perendaman beton pada larutan air sulfat menggunakan kadar sulfat 10% dan untuk pembuatan larutan telah diuraikan pada bab V.F. Hasil kuat tekan

beton pada perendaman air sulfat secara lengkap dapat dilihat pada lampiran IV. dan tabel berikut ini.

Gambar V-13 Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton pada perendaman air sulfat.

Jenis Beton	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)		
	Awal	Air Garam	
		28 hari	56 hari
Beton Normal	20,04	12,59	9,48
Beton dengan bahan tambah <i>fly ash</i> PLTU	13,63	14,99	13,70
Beton dengan bahan tambah <i>fly ash</i> pasaran	13,01	14,16	13,24
Beton dengan bahan tambah <i>fly ash</i> PLTU + Air kapur	11,51	11,94	11,01
Beton dengan bahan tambah <i>fly ash</i> PLTU + Air kapur	11,21	11,78	10,61

(Sumber : Hasil penelitian)



Keterangan : BN = beton normal
 BFA1 = Beton dengan bahan tambah *fly ash* PLTU
 BFA2 = Beton dengan bahan tambah *fly ash* pasaran
 BFA1K = Beton dengan bahan tambah *fly ash* PLTU + air kapur
 BFA2K = Beton dengan bahan tambah *fly ash* pasaran + air kapur

Gambar V-14 Hubungan antara kuat tekan rata-rata dengan variasi bahan tambah *fly ash* pada perendaman air sulfat dan air tawar

Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa :

- 1) Beton dengan bahan tambah *fly ash* yang direndam dalam larutan asam sulfat pada lama perendaman 28 hari tidak berpengaruh terhadap kuat tekan beton karena kuat tekan yang dihasilkan relatif tetap (stabil). Hal ini menunjukkan bahwa reaksi beton

terhadap asam sulfat masih lemah. Reaksi beton terhadap asam sulfat mulai terlihat pada lama perendaman 56 hari namun kuat tekan rata-rata yang terjadi masih relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi keseimbangan antara pengembangan kekuatan beton dengan pengurangan luasan pada zona yang rusak oleh serangan asam sulfat. Hasil ini ada kesesuaian dengan hasil penelitian Stefanus A Kristiawan, dkk (2013) tentang resistensi beton memadat mandiri yang mengandung *fly ash* tinggi terhadap serangan asam sulfat.

- 2) Penggunaan air kapur sebagai air campuran beton memiliki kuat tekan rata-rata yang lebih rendah daripada penggunaan air tawar sebagai air campuran beton. Pada penggunaan air tawar maupun air kapur memiliki kuat tekan rata-rata relatif stabil hingga lama perendaman 56 hari.
- 3) Pada beton normal reaksi beton sudah terlihat pada lama perendaman 28 hari karena nilai kuat tekan rata-rata lebih rendah daripada kuat tekan awal. Hal ini menunjukkan bahwa beton normal memiliki durabilitas yang lemah terhadap larutan asam sulfat dibandingkan beton dengan bahan tambah *fly ash*. Hal ini membuktikan bahwa reaksi asam sulfat dengan semen menyebabkan semen terlarut dan terkikis.