

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Ada beberapa penelitian terdahulu terkait dengan bahan tambah bestmittel, abu terbang (*fly ash*), dan perendaman (*curing*) air laut yaitu diantaranya sebagai berikut ini.

- a. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Zat Adiktif (Betmittel) (Erviyanto dkk., 2016).
- b. Kajian Antara Kuat Tekan Beton Tambahan *Super Multidex 568* dengan Bestmittel (Chayati dkk., 2012).
- c. *Influence of Biofuel Combustion Fly Ash on the Properties of Concrete* (Nagroekiene dkk., 2015).
- d. Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton (Umboh dkk., 2014).
- e. Kuat Tarik Belah Beton *Geopolymer* Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*) (Putra dkk., 2014).
- f. *Wear Resistance of High-Volume Fly Ash Concrete* (Siddique, 2010).
- g. Kapasitas Retakan GFRP-S Pada Balok Beton Akibat Perendaman Air Laut (Djamaluddin dkk., 2016).
- h. Kuat Tekan Beton *Geopolymer* Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly Ash*) (Manuahe dkk., 2014).
- i. Pengaruh Abu Terbang dan *Superplasticizer* Terhadap Kuat Tekan Beton (Tilik, 2011).
- j. Pengaruh Campuran Kadar *Bottom Ash* dan Lama Perendaman Air Laut Terhadap Kuat Tekan, Lendutan, Kapasitas Lentur, Kuat Geser dan Pola Retak Balok (Syamsuddin dkk., 2015).

2.1.1. Penelitian Terdahulu Terkait Agregat Halus

Koraia dkk. (2013) melakukan penelitian yang berjudul pengaruh penambahan *fly ash* dalam campuran beton sebagai substitusi semen ditinjau dari umur dan kuat tekan dan telah memeriksa gradasi butiran dengan hasil yaitu berada pada daerah 2 dengan modulus kehalusan 4,503 kadar air 3,311% dan kadar lumpur 5,440% dimana kadar lumpur yang diperoleh lebih besar dari syarat yaitu maksimal 5% maka untuk penggunaan dalam pencampuran beton agregat ini harus terlebih dahulu dicuci. Berat isi gembur didapat 1,447 gram/cm³ dan berat isi padat diperoleh 1,567 gram/cm³, untuk berat jenis kering diperoleh sebesar 2,086 dan berat jenis SSD yaitu sebesar 2,194 serta penyerapan air sebesar 5,159%.

Nugraha dkk. (2017) melakukan penelitian yang berjudul pengaruh variasi bahan tambah abu sekam padi dan zat adiktif bestmittel 0,5% terhadap kuat tekan beton mutu tinggi dengan memeriksa agregat halus yang berupa pasir Progo asal dari Sungai Progo, Kab Kulon Progo, D.I. Yogyakarta dan diperoleh gradasi butiran Daerah No.2, kadar air agregat 4,575%, gradasi agregat 2,648, berat jenis 2,59, penyerapan air 0,26%, berat satuan 1,31 gram/cm³, kadar lumpur 4,532%.

Ervianto dkk. (2016) melakukan penelitian yang berjudul kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan bahan tambah abu terbang (*fly ash*) dan zat adiktif (bestmittel) dengan melaksanakan pemeriksaan agregat halus yang berasal dari sungai Progo dan didapatkan gradasi butiran daerah 2, berat jenis 2,59, penyerapan air 0,26%, berat volume 1,310 gram/cm³, kadar air 4,575%, kadar lumpur 4,532%. Perbandingan hasil dari ketiga penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil perbedaan pemeriksaan agregat halus (pasir)

No	Pemeriksaan	Penguji			Satuan
		Koraia dkk. (2013)	Nugraha dkk. (2017)	Ervianto dkk. (2016)	
1	Gradasi butiran	2	2	2	-
2	Berat jenis	2,194	2,59	2,590	-
3	Penyerapan air	5,159	0,26	0,260	%
4	Kadar air	3,311	4,575	4,575	%
5	Kadar lumpur	5,440	4,532	4,532	%
6	Berat satuan	1,567	1,310	1,310	gram/cm ³
7	Modulu halus butir	4,503	2,648	-	%

2.1.2. Penelitian Terdahulu Terkait Agregat Kasar

Koraia dkk. (2013) melakukan penelitian yang berjudul pengaruh penambahan *fly ash* dalam campuran beton sebagai substitusi semen ditinjau dari umur dan kuat tekan dan memeriksa agregat kasar yang meliputi modulus kehalusan, kadar air, kadar lumpur, berat isi gembur, berat isi padat, berat jenis kering, berat jenis jenuh kering muka, penyerapan air. Dimana diperoleh modulus kehalusan agregat 8,511 kadar air 1,32% kadar lumpur 0,333%, dari pemeriksaan kadar lumpur yang terdapat pada agregat kasar ini lebih kecil yang diisyaratkan sehingga agregat ini tidak perlu dicuci terlebih dahulu jika akan digunakan. berat isi gembur 1,54 gram/cm³, berat isi padat 1,695 gram/cm³, berat jenis kering 2,500 dan berat jenis jenuh kering muka (SSD) 2,575 serta penyerapan air sebesar 3,00%.

Ervianto dkk. (2016) melakukan penelitian yang berjudul kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan bahan tambah abu terbang (*fly ash*) dan zat adiktif (*bestmittel*) dan memeriksa agregat kasar (*split*) Clereng, Kulon Progo maka didapatkan berat jenis 2,63, keausan agregat 21,36%, berat satuan 1,55 gram/cm³, penyerapan air 1,438%, kadar air agregat 0,549%, kadar lumpur 1,750%.

Nugraha dkk. (2017) melakukan penelitian yang berjudul pengaruh Variasi Bahan Tambah Abu Sekam Padi dan Zat Adiktif *Bestmittel* 0,5% Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dan memeriksa agregat kasar/batu pecah yang terdiri dari berat satuan 1,55 gram/cm³, berat jenis SSD 2,63, penyerapan air 1,438%, kadar lumpur 1,750%, kadar air 0,549%, keausan agregat 21,36%.

Tabel 2.2 Hasil perbedaan pemeriksaan agregat kasar (*split*)

No	Pemeriksaan	Penguji			Satuan
		Koraia dkk. (2013)	Ervianto dkk. (2016)	Nugraha dkk. (2017)	
1	Berat jenis	2,575	2,63	2,63	-
2	Penyerapan air	3,000	1,438	1,438	%
3	Kadar air	1,320	0,549	0,549	%
4	Kadar lumpur	0,333	1,750	1,750	%
5	Berat satuan	1,695	1,55	1,55	gram/cm ³
6	Keausan agregat	18,51	21,36	21,36	%

2.1.3. Penelitian Terdahulu Terkait Zat Adiktif *Bestmittel*

Chayati dkk. (2012) melakukan penelitian yang berjudul kajian antara kuat tekan beton tambahan *super multidex 568* dengan *bestmittel*. *Bestmittel* juga

sering digunakan pada pekerjaan beton *pre-cast* maupun *site-mix*. Cara penggunaan bestmittel yaitu dengan menuangkannya ke dalam air yang dipakai untuk campuran beton. 1 liter bestmittel dapat digunakan untuk 200 – 400 kg dari berat semen (4 – 9 zak), atau 1 m³ cor dengan bestmittel 1 liter. Bestmittel juga merupakan bahan tambah yang termasuk kedalam *type C : Accelerating admixture* yang diproduksi oleh PT. Multi Erguna Usaha.

Keistimewaan penggunaan bestmittel dalam campuran beton (PT. Multi Erguna Usaha) adalah diantaranya sebagai berikut :

- a. mempercepat waktu pengerasan beton, kekuatan beton umur 21 hari dapat tercapai dalam 7 hari,
- b. mempercepat waktu pembongkaran bekisting,
- c. membuat beton lebih padat, dan
- d. mengurangi keropos dan retak pada beton.

Ervianto dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul kuat tekan mutu tinggi menggunakan bahan tambah abu terbang (*fly ash*) dan zat adiktif (bestmittel) menerangkan bahwa bahan tambahan mineral (*Additive*) ialah bahan tambahan yang kegunaannya untuk perbaikan kinerja beton, dan lebih banyak dipakai untuk memperbaiki kerja beton hingga bahan ini lebih bersifat mengikat. Adapun beberapa bahan tambah yang termasuk dalam bahan tambahan mineral ini diantaranya adalah *pozzolan*, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume* (Mulyono, 2004), beberapa kegunaan penggunaan bahan tambahan mineral ini diantaranya sebagai berikut :

- a. memperbaiki kinerja *workability*,
- b. memperkecil penyusutan, mengangkat umur beton,
- c. mengangkat kekuatan dan daya tahan beton pada serangan sulfat,
- d. mengecilkan porositas dan daya serap air dalam beton, dan
- e. mengurangi pembiayaan pekerjaan beton.

Tabel 2.3 Komposisi variasi beton mutu tinggi (Ervianto dkk., 2016)

Campuran (%)	<i>Fly ash</i> (kg)	Zat <i>additive</i> (kg)	Air (l)	Semen (kg)	Agregat halus (kg)	Agregat kasar (kg)
5	0,19	0,019	1,2	3,61	2,43	4,95
7,5	0,285	0,019	1,2	3,51	2,43	4,95
10	0,38	0,019	1,2	3,41	2,43	4,95

Penelitian ini memakai campuran bestmittel 0,5% dan 3 variasi *fly ash* ialah 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Dilakukan uji kuat tekan pada beton mutu tinggi dengan umur 28 hari dan hasil dapat dilihat Tabel 2.4, 2.5, dan 2.6.

Tabel 2.4 Hasil kuat tekan beton variasi ASP 5% (Ervianto dkk., 2016)

Kode	Luas permukaan (cm ²)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
V1	181,46	19,96	
V2	179,08	35,95	
V3	183,85	33,35	31,29
V4	179,08	30,56	
V5	176,71	32,48	
V6	179,08	35,46	

Berdasarkan Tabel 2.4 menunjukkan kuat tekan beton pada umur 28 hari didapatkan kekuatan tekan terkecil sebesar 19,96 MPa pada kekuatan tekan terbesar ialah 35,95 MPa, dan kekuatan tekan rata-ratanya 31,29 MPa.

Tabel 2.5 Hasil kuat tekan beton variasi ASP 7,5% (Ervianto dkk., 2016)

Kode	Luas permukaan (cm ²)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
V1	181,46	24,63	
V2	176,71	41,49	
V3	179,08	29,36	31,19
V4	179,08	20,87	
V5	174,37	33,10	
V6	176,71	37,72	

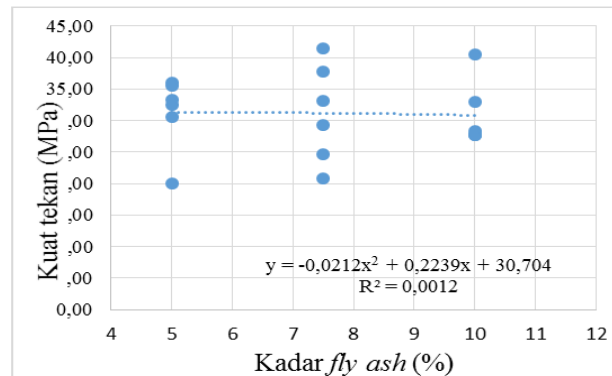
Berdasarkan Tabel 2.5 melihat kekuatan tekan beton bestmittel 0,5% dan *fly ash* 7,5% pada umur 28 hari didapatkan kuat tekan terkecil sebesar 20,87 MPa untuk kuat tekan terbesar ialah 31,19 MPa, dan kekuatan tekan rata-ratanya 31,19 MPa.

Tabel 2.6 Hasil kuat tekan beton variasi ASP 10% (Ervianto dkk., 2016)

Kode	Luas permukaan (cm ²)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
V1	176,08	27,66	
V2	176,71	28,34	
V3	179,71	27,69	31,19
V4	176,71	40,45	
V5	179,08	32,96	
V6	176,71	37,72	

Berdasarkan Tabel 2.6 melihat kekuatan tekan beton bestmittel 0,5% dan *fly ash* 10% pada umur 28 hari didapatkan kekuatan tekan terkecil sebesar

27,66 MPa untuk kekuatan tekan tertinggi ialah 40,45 MPa, dan kuat tekan rata-rata 30,83 MPa. Maka dari Tabel 2.4, 2.5, dan 2.6 dapat diketahui pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kuat tekan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik hubungan penambahan *fly ash* dengan kuat tekan beton

(Ervianto dkk., 2016)

Berdasarkan Gambar 2.1 melihtakan bahwa tambahan bahan campuran zat *additive* (bestmittel) dalam beton dengan bahan tambah dasar *fly ash* akan mempengaruhi kekuatan tekan beton tersebut, jika semakin banyak penggunaan *fly ash* maka akan turun nilai kekuatan tekan betonnya.

Nugraha dkk. (2017) melakukan penelitian yang berjudul pengaruh variasi bahan tambah abu sekam padi dan zat adiktif bestmittel terhadap kuat tekan beton mutu tinggi, bahwa zat *additive* (bestmittel) merupakan bahan tambah dengan formula khusus yang sangat ekonomis dalam proses pengecoran sehingga menjadikan beton lebih cepat keras dalam usia muda serta mengurangi pemakaian air pada saat pengecoran sehingga meningkatkan mutu beton. Bestmittel juga sangat membantu untuk pengecoran dengan jadwal ketat karena beton cepat mengeras pada usia awal (7 – 10) hari. Adapun hasil perbandingan kuat tekan beton penambahan bestmittel dan variasi ASP 5%, 10%, 15% terdapat pada Tabel 2.7, 2.8, dan 2.9 umur 28 hari.

Tabel 2.7 Hasil kuat tekan beton ASP 5% (Nugraha dkk., 2017)

No	Sampel	Luas (cm ²)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	Y1	179,08	28,32	32,23
2	Y2	179,08	25,97	
3	Y3	179,08	37,44	
4	Y4	179,08	30,78	
5	Y5	174,37	39,94	
6	Y6	179,08	30,94	

Berdasarkan Tabel 2.7 memperlihatkan kekuatan tekan beton pada usia 28 hari didapatkan kekuatan tekan terkecil ialah 25,97 MPa pada kekuatan tekan tertinggi yaitu 37,44 MPa, dan kekuatan tekan rata-ratanya 32,23 MPa.

Tabel 2.8 Hasil kuat tekan beton ASP 10% (Nugraha dkk., 2017)

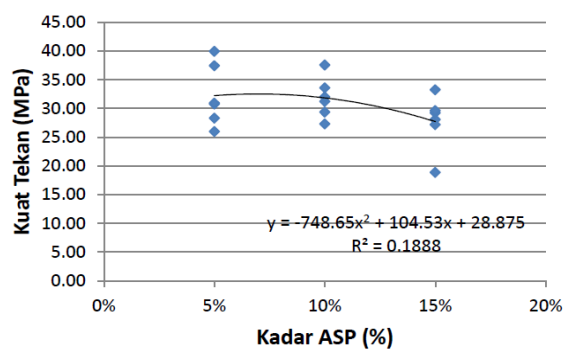
No	Sampel	Luas (cm ²)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	Y1	179,08	31,32	31,84
2	Y2	174,37	37,36	
3	Y3	181,46	32,00	
4	Y4	176,71	29,17	
5	Y5	176,71	33,59	
6	Y6	181,46	27,32	

Berdasarkan Tabel 2.8 menunjukkan nilai kuat tekan beton pada usia 28 hari diperoleh kuat tekan terendah ialah 29,17 MPa untuk kekuatan tekan beton tertinggi sebesar 37,36 MPa, serta kekuatan tekan rata-ratanya beton yaitu 31,84 MPa.

Tabel 2.9 Hasil kuat tekan beton ASP 15% (Nugraha dkk., 2017)

No	Sampel	Luas (cm ²)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	Y1	174,37	33,27	27,71
2	Y2	181,46	28,08	
3	Y3	179,08	29,22	
4	Y4	176,71	29,65	
5	Y5	174,37	27,20	
6	Y6	176,71	18,84	

Berdasarkan pada Tabel 2.9 menunjukkan bahwa kuat tekan beton pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan terkecil sebesar 18,84 MPa untuk kuat tekan terbesar yaitu 33,27 MPa, dan kuat tekan rata-rata beton yaitu 27,71 MPa. Maka dari Tabel 2.7, 2.8, dan 2.9 dapat aplikasikan ke dalam grafik seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik penambahan ASP dengan kuat tekan beton (Nugraha dkk., 2017)

Berdasarkan Gambar 2.2 menggambarkan kuat tekan telah menurun dengan penambahan kadar ASP. Kuat tekan paling tinggi yaitu pada bestmittel dan ASP 5% dengan 32,23 MPa. Ini menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi berpengaruh pada nilai kuat tekan beton yang semakin menurun apabila bertambahnya proporsi ASP. Menurut persamaan $y = -748,65x^2 + 104,53x + 28,875$ maka dapat diperoleh masing-masing 5%, 10%, 15% sebesar 39,94 MPa, 37,56 MPa, dan 33,27 MPa.

2.1.4. Penelitian Terdahulu Terkait Bahan Tambah *Fly Ash*

Putra dkk. (2014) melakukan penelitian yang berjudul kuat tarik belah beton *geopolymer* berbasis abu terbang (*fly ash*) dan melakukan pemeriksaan material abu terbang (*fly ash*) dengan metode analisis gravimetric, S.S.A, dan spektrofotometer untuk mengetahui presentase komposisi unsur-unsur yang ada dalam *fly ash* itu sendiri. Hasil pemeriksaan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Hasil pemeriksaan komposisi *fly ash* (Putra dkk., 2014)

No	Parameter	% Analisis	Metode Analisis
1	SiO ₂	36,23	Gravimetrik
2	Al ₂ O ₃	6,25	S.S.A
3	Fe ₂ O ₃	4,34	S.S.A
4	CaO	2,85	S.S.A
5	Na ₂ O	0,93	S.S.A
6	K ₂ O	0,14	S.S.A
7	MgO	0,49	S.S.A
8	P ₂ O ₅	0,06	Spektrofotometer
9	Air	0,52	Oven

Berdasarkan pada hasil pemeriksaan *fly ash* yang dari PLTU Amurang, maka kandungan didominasi pada unsur silica-besi dan alumina dengan kadar CaO sebesar 2,85% < 5% sesuai dengan *ACI Manual of Concrete Practice 1993 part 1 226.3R-3*. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa *fly ash* termasuk kelas F.

Material penelitian yang dipakai salah satunya yaitu abu terbang (*fly ash*) dari PLTU Amurang. Benda uji yang digunakan yaitu silinder dengan ukuran 100x200 mm dan metode perawatan (*curing*) 4, 8, 12, 24 jam dengan 6 sampel masing-masingnya. Diperoleh kuat tarik belah *geopolymer* bercampur *fly ash* maksimal dalam pengujian ini adalah 1,685 MPa Diperoleh *curing* 24 jam oven pada usia waktu tes 7 hari. Adapun hasilnya terdapat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Hasil kuat tarik belah rata-rata umur 7 hari (Putra dkk., 2014)

Waktu oven (jam)	Kuat tarik belah rata-rata (MPa)	Rata-rata (MPa)	Kenaikan kuat tarik dari sebelumnya (%)
4	1,343		-
8	1,446	1,504	7,71
12	1,542		6,61
24	1,685		9,29

Umboh dkk. (2014) melakukan penelitian yang berjudul pengaruh pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton dan menjelaskan abu terbang (*fly ash*) ialah sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dijalankan dari ruang pembakaran melewati ketel yang berupa semburan asap yang membentuk partikel-partikel halus dan juga bahan anorganik yang terbentuk dari berubahnya bahan mineral. Pada penelitian ini menggunakan kadar *fly ash* sebesar 0%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dari semen. Menggunakan silinder ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm dan berumur 7, 14, 21, dan 28 hari. dikarenakan jumlah kadar yang digunakan banyak maka termasuk *High Volume Fly Ash (HVFA) concrete* yaitu dimana kandungan setidaknya 50% dari jumlah semen adalah *fly ash* baik dari tipe F maupun tipe C. istilah *high volume fly ash concrete* sendiri pertama dikenalkan pada peneliti di pusat penelitian CANMENT Canada saat tahun 1980 tahunan. Meskipun penggunaan *HVFA concrete* sesuai dengan kampanye *green concrete*, namun teknologi ini masih belum dapat diterima secara luas karena adanya hambatan diantaranya sebagai berikut :

- a. hambatan peraturan,
- b. perkembangan kekuatan tekan lambat, dan
- c. waktu *curing* lama.

Adapun bangunan yang dibangun dengan *High Volume Fly Ash (HVFA) concrete* dapat dilihat Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Bangunan yang dibangun memakai HVFA (Umboh dkk., 2014)

No	Nama bangunan	Kelas <i>fly ash</i>	Jumlah <i>fly ash</i> (kg/cm ³)	Jumlah semen (kg/cm ³)	Kuat tekan (MPa)
1	Concrete blok pada satelit komunikasi di Ottawa, Kanada	F	193	151	46 (91 hari)
2	Landasan parker dikomplek hotel dan perkantoran, Haliar Kanada (1988)	F	220	180	50 (120hari)
3	Tempat kerja pekerja seni, Vancouver Canada (2001)	F	195	195	41 (28 hari)
4	peninggian struktur tahan gempa barker hall University of California Berkeley USA (2001)	F	297	160	38 (28 hari)
5	Perkerasan jalan beton, Punjab India (2002)	F	225	225	41 (28 hari)

Telah dilakukan pemeriksaan kadar kimia dalam abu terbang (*fly ash*) dengan hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Data hasil pengujian abu terbang (*fly ash*) (Umboh dkk., 2014)

No	Parameter	Hasil Analisis	Satuan	Metode Analisis
1	Air	0,65	%	Oven
2	SiO ₂	48,06	%	Gravimetrik
3	Al ₂ O ₃	34,76	%	S.S.A
4	Fe ₂ O ₃	3,91	%	S.S.A
5	CaO	25,06	%	S.S.A
6	Mgo	14,53	%	S.S.A
7	K ₂ O	28,56	%	S.S.A
8	Na ₂ O	0,75	%	S.S.A

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2.13 menurut standard ASTM untuk *fly ash* dengan SiO₂ sekitar 30-50%, Al₂O₃ antara 17-20%, maka pengujian tersebut termasuk dalam kategori klarifikasi *fly ash* kelas C berdasarkan *ACI Manual of Concrete Practice 1993 part 1 226.3R-3* yaitu mengandung CaO yang dibuatkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara muda lebih dari 10%, senyawa lain yang terdapat didalamnya yaitu diantaranya SiO₂ (30-50%), Al₂O₃ (17-20%), Fe₂O₃, MgO, Na₂O, dan sedikit K₂O. Mempunyai *specific gravity* 2,31-2,86, sifat *pozzolan*, tapi juga langsung bereaksi terhadap air untuk

membuat CSH ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{HO}$). Kandungan kalsium hidroksida dan ettringite yang mengeras bagaikan semen.

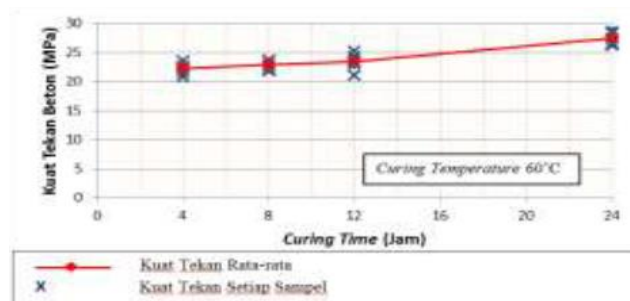
Manuahe dkk. (2014) melakukan penelitian yang berjudul kuat tekan beton *geopolymer* berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) dan memeriksa *fly ash* yang berasal dari PLTU Amurang, dan didapatkan unsur silica-besi dan alumina. Dengan kandungan CaO sebesar $2,85\% < 5\%$ dan sesuai dengan *ACI Manual Of Concrete Praticce 1993 part 1 226 3R-3*, maka hasil pengujian *fly ash* masuk dalam kelas F.

Berdasarkan pada penelitian kuat tekan yang telah dilakukan, terlihat perubahan peningkatan kekuatan pada masing-masing waktu lama *curing* untuk membandingkan serta mengetahui bagaimana pengaruh lama *curing* terhadap meningkatnya kekuatan beton, hasil kuat rata-rata beton berdasarkan lama *curing* dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Hasil kuat tekan rata-rata (Manuahe dkk., 2014)

Lama <i>curing</i>	Kuat tekan rata-rata (MPa)
4	22,174
8	22,834
12	23,408
24	27,462

Berdasarkan hasil kuat tekan pada Tabel 2.14 maka dapat dihasilkan garafik seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan *curing* terhadap kuat tekan beton (Manuahe dkk., 2014)

Berdasarkan seperti Gambar 2.3 bahwa beton *geopolymer* saat usia 7 hari dengan temperatur 60°C dan waktu *curing* 4, 8, 12, dan 24 jam dapat

tersimpulkan semakin lama waktu *curing* maka akan semakin besar juga kuat tekan yang dihasilkan.

Tilik (2011) melakukan penelitian yang berjudul pengaruh abu terbang dan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton menjelaskan bahan tambah *admixture* tujuannya yaitu untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar maupun setelah mengeras. Bahan tambah semestinya hanya berguna jika sudah ada evaluasi yang telah diteliti terkait pengaruhnya pada beton, khususnya dalam kondisi dimana beton dapat diharapkan akan digunakan. Abu terbang sebenarnya mempunyai berbagai kegunaan antara lain penyusun beton untuk jalan dan jembatan, penimbun lahan bekas pertambangan, sebagai substitusi semen, dan bahan baku semen. Adapun persyaratan abu terbang kelas F untuk bahan tambah dalam campuran beton yaitu dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Persyaratan kimia abu terbang kelas F (Tilik, 2011)

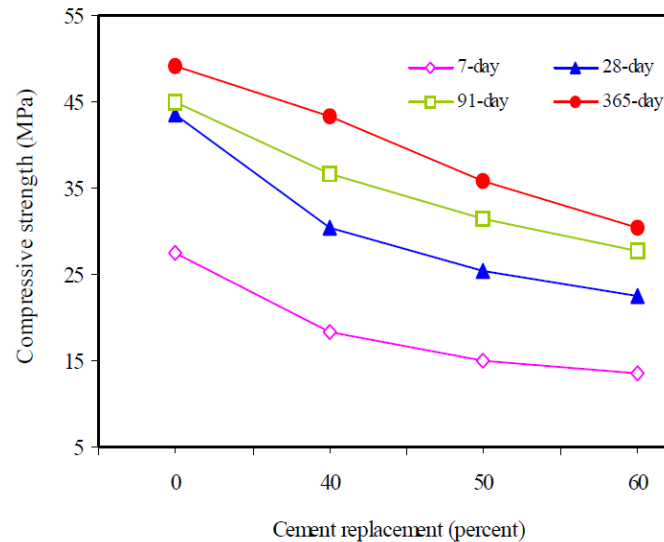
No	Senyawa	Kadar (%)
1	Jumlah oksidasi $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (min)	70
2	SO_3 (maks)	5
3	Hilang pijar (maks)	6
4	Kadar air (maks)	3
5	Total alkali sebagai Na_2O (maks)	1,5

Siddique (2010) melakukan penelitian yang berjudul *wear resistance of high volume fly ash concrete* dengan menggunakan *fly ash* kelas F volume tinggi pada beton dengan kadar 40%, 50%, dan 60% dari semen *portland* menggunakan cetakan kubus 65x65x60 mm dan *curing* selama 7 hari, 28 hari, 91 hari, dan 365 hari. setiap benda uji ditimbang menggunakan timbangan digital agar lebih akurat. Adapun proporsi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 *Mix design* beton (Siddique, 2010)

Bahan	Kode Beton				Satuan
	M1	M2	M3	M4	
semen	440	264	220	176	Kg/m ³
Kadar <i>fly ash</i>	0	40	50	60	%
<i>Fly Ash</i>	0	176	220	264	Kg/m ³
Air	160	160	160	160	Kg/m ³
FAS	0,36	0,36	0,36	0,36	-
Pasir SSD	540	540	540	540	Kg/m ³
Agregat Kasar	1230	1230	1230	1230	Kg/m ³
Superplasticier	3,7	4,2	4,3	4,5	l/m ³
<i>Slump</i>	70	80	85	80	mm

Kuat tekan beton yang dibuat dengan dan tanpa *fly ash* pada usia 7, 28, 91, dan 365 hari, dan hasil dapat dilihat pada Gambar 2.4. Juga menunjukkan variasi kuat tekan dengan penggantian semen pada berbagai usia.

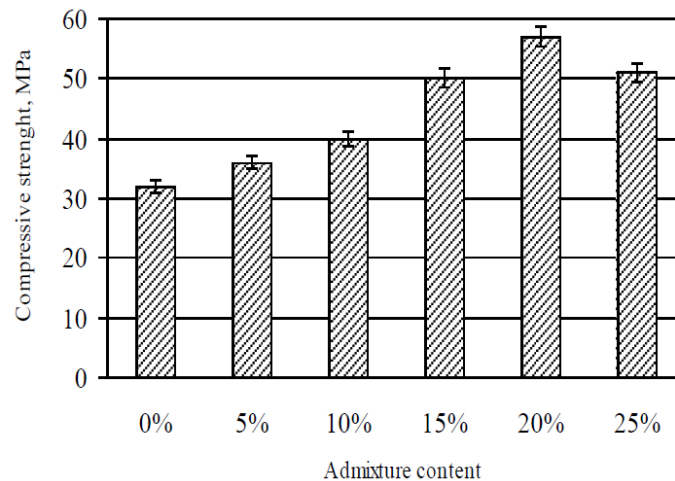


Gambar 2.4 Hubungan kadar *fly ash* dan kuat tekan beton (Siddique, 2010)

Hasil pengujian didapat bahwa kuat tekan HVFAC dengan kadar 40%, 50%, dan 60% sebagai pengganti semen lebih rendah dari campuran beton tanpa *fly ash* di semua umur. Pada umur 7 hari, kuat tekan berturut-turut beton M1, M2, M3, dan M4 sebesar 27 Mpa, 18,2 MPa, 15 MPa, 13,3 MPa. untuk umur 28 hari, kuat tekan berturut-turut beton M1, M2, M3, dan M4 yaitu 41,5 MPa, 30,2 MPa, 24,8 MPa, 22,2 MPa. Pada usia 91 hari, kuat tekan beton M1, M2, M3, dan M4 secara berturut-turut sebesar 44,9 MPa, 36,0 MPa, 31,2 MPa, 27,2 MPa. untuk usia 365 hari, kuat tekan beton M1, M2, M3, dan M4 secara berturut-turut adalah 48,6 MPa, 43,0 MPa, 35,2 MPa, 29,6 MPa.

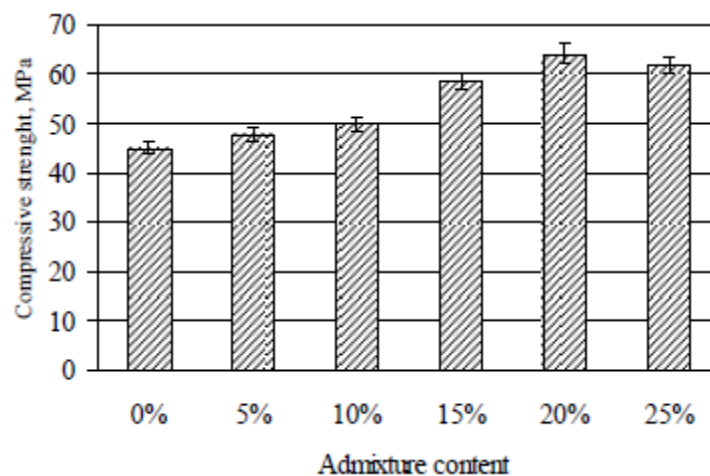
Nagrockiene dkk. (2015) melakukan penelitian yang berjudul *influence of biofuel combustion fly ash on the properties of concrete* menjelaskan Semen sebagai bahan pengikat dalam beton dapat diganti dengan pencampuran mineral aktif. *Fly ash* adalah salah satu bahan yang dapat menggantikan sebagian semen. Bahan yang dipakai dalam campuran beton ini yaitu semen *portland*, pasir, kerikil, *fly ash*, superplasticizer, dan air. Terdapat enam komposisi beton dengan mengganti 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% berat semen dengan *fly ash*. Penelitian ini memperlihatkan bahwa peningkatan abu terbang hingga 20%

meningkatkan kuat tekan setelah pada 7 hari dan 28 hari. selain itu juga menunjukkan bahwa dimana pada 20% *fly ash* memiliki kuat tekan paling tinggi. Hubungan kuat tekan dengan kadar *fly ash* pada umur 7 hari terdapat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hubungan kadar *fly ash* dengan kuat tekan beton umur 7 hari
(Nagrokiene dkk., 2015)

Berdasarkan Gambar 2.5 menunjukkan bahwa *fly ash* mempengaruhi sifat kekuatan beton. Kadar 20% menunjukkan kekuatan tertinggi yaitu 57 MPa, yang paling rendah kuat tekannya adalah 32 MPa pada 0% *fly ash*, pada 25% *fly ash* mengalami penurunan kuat tekan menjadi 51 MPa. Hasil kuat tekan pada usia 28 hari terdapat pada Gambar 2.6.



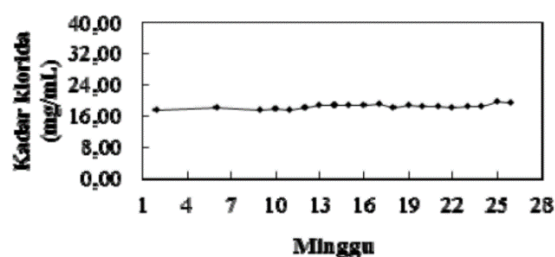
Gambar 2.6 Hubungan kadar *fly ash* dengan kuat tekan beton pada umur 28 hari
(Nagrokiene dkk., 2015)

Berdasarkan Gambar 2.6 memperlihatkan dimana kekuatan tekan paling tinggi terdapat pada kadar *fly ash* 20% dengan kuat tekan 64 MPa, nilai kuat tekan terendah sebesar 45 MPa pada 0% *fly ash*, serta mengalami penurunan kuat tekan pada 25% yaitu 62 MPa.

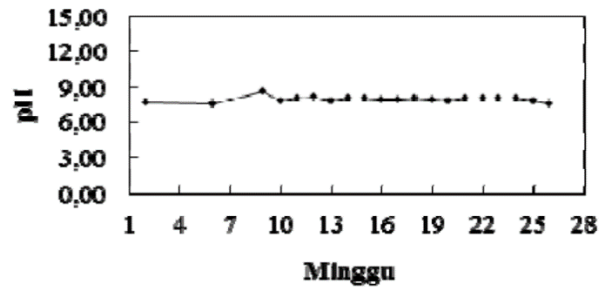
2.1.5. Penelitian Terdahulu Mengenai Perawatan (*curing*) Beton Dengan Air Laut

Syamsuddin dkk. (2015) melakukan penelitian yang berjudul pengaruh campuran kadar *bottom ash* dan lama perendaman air laut terhadap kuat tekan, lendutan, kapasitas lentur, kuat geser dan pola retak balok menjelaskan tentang kekuatan dan keawetan beton pada pencampuran air laut tidak terlalu berpengaruh karena pada air laut kandungan larutan garam 3,5% tetapi menyebabkan timbulnya noda-noda pada beton, dan berkurangnya kedap air. Garam air sendiri mengandung 78% sodium klorida (NaCl), 15% klorida (CL), dan magnesium sulfat (MgSO₄), untuk kandungan karbonat cukup rendah sekitar 75 ppm dan jika pada beton bertulang, maka air laut dapat menyebabkan proses korosi pada tulangnya. Air laut mempunyai kandungan garam yang tinggi yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Hal ini dikarenakan klorida (CL) yang ada pada air laut dimana garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain.

Djamaluddin dkk. (2016) melakukan penelitian yang berjudul kapasitas retakan GFRP-S pada balok beton akibat perendaman air laut dan pengujian kadar klorida dilaksanakan untuk menunjukan nilai kadar klorida air laut yang terdapat pada lokasi unutup perendaman. Hal ini penting karena kadar klorida tidak selalu sama pada lokasi yang berbeda. Selain kadar klorida, juga dilakukan pemeriksaan pH air laut untuk informasi pendukung. Perubahan kadar klorida dan pH pada air laut dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Hubungan waktu dan kadar klorida air laut (Djamaluddin dkk., 2016)



Gambar 2.8 Hubungan waktu dan kadar pH air laut (Djamaluddin dkk., 2016)

Berdasarkan pada Gambar 2.7 dan 2.8 secara berurutan menunjukkan hasil pengujian kadar klorida dan pH pada air laut dengan nilai rata-rata kadar klorida air laut sebesar 18,47 mg/ml, untuk nilai pH sebesar 8,00. Perubahan kadar klorida air laut relative stabil tanpa adanya fluktuatif yang signifikan. Penelitian yang dilakukan sehubungan dengan perendaman air laut yang masih sangat kurang dijumpai, mengingat bagaimana pentingnya masalah konstruksi yang berada di lingkungan atau sekitar laut. Benda uji terdiri dari 12 balok beton dengan ukuran 10x12x60 cm. Adapun karakteristik material yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Karakteristik material bahan (Djamaluddin dkk., 2016)

keterangan	Nilai
Kuat tekan (MPa)	24,71
Modulus elastisitas (GPa)	23,83
Modulus <i>rupture</i> (MPa)	3,34

Berdasarkan Tabel 2.17 diketahui bahwa nilai kuat tekan dari beton yaitu sebesar 24,71 MPa. Lokasi perendaman balok yaitu berada di laut POP-SA, Makasar, Sulawesi Selatan.

2.1.6. Perbedaan Penelitian Terdahulu Dan Sekarang

Tabel 2.18 Perbedaan penelitian yang terdahulu dengan sekarang

No	Peneliti	Substansi Penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
1	Ervianto (2016)	Pengujian terhadap kuat tekan beton mutu menggunakan bahan tambah variasi abu terbang (<i>fly ash</i>) 5%, 7,5%, 10% dan bestmittel	Meneliti terkait kuat tekan beton normal dengan bahan tambah variasi abu terbang (<i>fly ash</i>) 5%, 10%, dan 15% dan bestmittel 0,6% dengan perendaman air laut

Tabel 2.19 Perbedaan penelitian yang terdahulu dengan sekarang (lanjutan)

No	Peneliti	Substansi Penelitian	
		Terdahulu.	Sekarang
2	Chayati dkk. (2012)	Kajian antara kuat tekan beton tambahan <i>multidex 568</i> dan <i>bestmittel</i>	Kajian antara kuat tekan beton dengan tambahan <i>fly ash</i> 5%, 10%, dan 15% dan <i>bestmittel</i> 0,6% <i>curing</i> air laut
3	Putra dkk. (2014)	Kuat tarik belah beton dengan abu terbang (<i>fly ash</i>)	Kuat tekan beton berbasis abu terbang dan <i>bestmittel</i> serta perendaman air laut
4	Nagrockie ne dkk. (2015)	Kuat tekan beton dengan kadar <i>fla ash</i> 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% menggantikan semen	Kuat tekan beton dengan beton kadar <i>fly ash</i> 5%, 10%, dan 15% menggantikan semen
5	Manuahe dkk. (2014)	Kuat tekan beton menggunakan <i>geopolymer</i> dan <i>fly ash</i> kubus 15x15x15 cm	Kuat tekan beton dengan <i>fly ash</i> dan <i>bestmittel</i> menggunakan silinder 15x30 cm
6	Umboh dkk. (2014)	Pengaruh pemanfaatan <i>fly ash</i> dari PLTU II Sulawesi Utara parsial semen terhadap kuat tekan beton	Pengaruh <i>fly ash</i> dari CV Lestari Yogyakarta dan <i>bestmittel</i> terhadap kekuatan tekan beton
7	Tilik (2011)	Pengaruh abu terbang dan <i>superplasticizer</i> terhadap kuat tekan	Pengaruh abu terbang dan <i>bestmittel</i> terhadap kuat tekan beton
8	Siddique (2010)	Beton HVFA dengan menggunakan cetakan kubus 65x65x60 mm	Beton dengan campuran <i>fly ash</i> menggunakan silinder 15x30 cm
9	Syamsudd in dkk. (2015)	Pengaruh campuran <i>bottom ash</i> dan perendaman air laut terhadap kuat tekan lendutan, dll	Pengaruh campuran <i>fly ash</i> dan <i>bestmittel</i> serta perendaman air laut terhadap kuat tekan beton
10	Djamalud din dkk. (2016)	Kapasitas rekatan GFRP-S pada balok beton akibat perendaman air laut	Pengaruh kuat tekan beton terhadap perendaman air laut

2.1.7. Keaslian Penelitian

Penelitian dengan judul pengaruh kuat tekan beton terhadap penambahan *bestmittel* dan variasi *fly ash* dengan perendaman air laut ini adalah asli dan dengan sepengetahuan peneliti bahwa penelitian ini belum pernah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui

perbandingan kuat tekan variasi *fly ash* 5%, 10%, 15% dan penambahan *bestmittel* dengan perendaman air laut.

2.2. Landasan Teori

Beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) (BSN, 2013). Beton akan semakin mengeras seiring dengan bertambahnya umur beton dan akan mencapai kekuatan yang direncanakan ($f'c$) setelah usia 28 hari.

2.2.1 Komposisi Beton

Bahan penyusun beton diantaranya terdiri dari semen, agregat halus/pasir, agregat kasar/kerikil, dan air, serta dapat ditambah dengan bahan campuran lainnya.

a. Semen *portland*

Semen *portland* merupakan bahan yang dapat merekatkan atau mengikat bahan-bahan yang padat menjadi suatu kesatuan yang kuat. Dengan reaksi panas dan waktu, reaksi kimia akibat pencampuran air dan semen dapat menghasilkan sifat perkerasan pasta semen. Penemu semen *portland* yaitu seorang tukang kayu dan batu berkebangsaan Inggris Joseph aspdin ditahun 1824. Dinamakan semen *portland* dikarenakan pada awalnya semen ini dihasilkan memiliki warna yang serupa dengan tanah liat di pulau bernama Portland (Tjokrodimuljo, 2010).

Menurut BSN (2004), semen *portland* merupakan semen hidrolis yang didapat dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama terdiri dari kalsium silikat yang bersufat hidrolis setelah itu digiling dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat serta boleh juga ditambah bahan campuran lain. Semen *portland* juga dibedakan menurut jenis penggunaannya ada 5 diantaranya yaitu sebagai berikut.

- 1) Jenis I yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang telah diisyaratkan pada semen *portland* jenis lainnya,
- 2) Jenis II yaitu semen *portland* yang penggunaannya diperlukan kekuatan tahan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang,

- 3) Jenis III yaitu semen *portland* untuk penggunaan dengan kekuatan tinggi pada usia muda setelah pengikatan terjadi,
- 4) Jenis IV yaitu semen *portland* untuk penggunaan yang memerlukan kalor hidrasi yang rendah, dan
- 5) Jenis V yaitu semen *portland* untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Berdasarkan BSN (2004), beberapa syarat kimia maupun fisika pada semen *portland*. syarat mutu kimia semen *portland* yaitu bisa dilihat pada tabel 2.20 sebagai berikut.

Tabel 2.20 Syarat utama kimia semen *portland* (BSN, 2004)

No	Uraian	Jenis semen (%)				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ (min)	-	20,0 _{2,3})	-	-	-
2	Al ₂ (max)	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ (max)	-	6,0 _{2,3})	-	6,5	-
4	MgO (max)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	SO ₃ (max)					
5	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C ₃ A > 8,0	3,5	⁴⁾	4,5	⁴⁾	⁴⁾
6	Hilang pijar (max)	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut (max)	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C ₃ S (max)	-	-	-	35 ₂)	-
9	C ₂ S (min)	-	-	-	40 ₂)	-
10	C ₃ A (max)	-	8,0	15	7 ₂)	5 ₂)
11	C ₄ AF+2C ₃ A atau C ₄ AF+C ₂ F (max)	-	-	-	-	25 ₃)

Catatan :

- 2) jika yang diisyaratkan yaitu kalor hidrasi seperti yang tercantum ditabel syarat fisika tambahan, maka syarat kimia ini tidak berlaku,
- 3) jika yang diisyaratkan yaitu pemuain karena sulfat yang tercantum ditabel syarat fisika tambahan, maka syarat ini pun tidak berlaku, dan
- 4) tidak berlaku atau tidak dapat dipergunakan.

Tabel 2.21 Syarat kimia tambahan 1) (BSN, 2004)

No	Uraian	Jenis Semen (%)				
		I	II	III	IV	V
1	C ₃ A (max)	-	-	8	-	-
2	C ₃ A (min)	-	-	5	-	-
3	(C ₃ S+2C ₃ A)(max)	-	58 ₂)	-	-	-

Tabel 2.22 Syarat kimia tambahan 1) (lanjutan) (BSN, 2004)

No	Uraian	Jenis Semen (%)				
		I	II	III	IV	V
4	Alkali sebagai ($\text{Na}_2\text{O}+0,658\text{K}_2\text{O}$) (max)	0,60 ₃)	0,60 ₃)	0,60 ₃)	0,60 ₃)	0,60 ₃)

Catatan :

- 1) syarat ini berlaku hanya secara khusus diisyaratkan,
- 2) jika yang diisyaratkan yaitu kalor hidrasi seperti yang tercantum ditabel syarat fisika tambahan, maka syarat kimia ini tidak berlaku, dan
- 3) hanya berlaku apabila semen digunakan dalam beton yang agregatnya reaktif terhadap alkali.

Tabel 2.23 Syarat utama fisika (BSN, 2004)

No	Uraian	Jenis semen				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan: Uji permeabilitas udara, (m^2/kg) dengan alat: Turbidmeter (min) Blaine (min)	160 280	160 280	160 280	160 280	160 280
2	Kekekalan : Pemuaian autocalave (max)(%)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Kuat tekan (kg/cm^2) :					
	Umur 1 hari (min)	-	-	120	-	-
	Umur 3 hari (min)	125	100	240	-	80
	Umur 7 hari (min)	200	175	-	70	150
	Umur 28 hari (min)	280	120 ₁)	-	170	210
4	Waktu pengikatan dengan alat: Gillmore					
	-Awal, menit (min)	60	60	60	60	60
	-akhir, menit (max)	600	600	600	600	600
	Vicat					
	-awal, menit (min)	45	45	45	45	45
	-akhir, menit (max)	375	375	375	375	375

Catatan :

- 1) syarat kuat tekan ini berlaku apabila syarat kalor hidrasi seperti yang tercantum ditabel syarat fisika tambahan atau apabila syarat $\text{C}_3\text{S}+\text{C}_3\text{A}$ seperti yang tercantum Tabel 2.24.

Tabel 2.24 Syarat fisika tambahan 1) (BSN, 2004)

No	Uraian	Jenis Semen				
		I	II	III	IV	V
1	Pengikatan semu penetrasi akhir(%) (min)	50	50	50	50	50
2	Kalor hidrasi :					
	Umur 7 hari(kal/gr) (max)	-	70 ₂₎	-	60	-
	Umur 28 hari(kal/gr) (max)	-	-	-	70	-
3	Kuat tekan :					
	Umur 28 hari(kg/cm ²) (min)	-	280	-	-	-
4	Pemuaian karena sulfat 14 hari(%) (max)	-	220 ₂₎	-	-	0,040
5	Kandungan udara mortar(%) volume (max)	12	12	12	12	12

Catatan :

- 1) syarat ini berlaku apabila secara khusus diminta, dan
- 2) apabila syarat kalor hidrasi ini diisyaratkan, maka syarat C_3S+C_3A seperti yang tercantum ditabel kima tambahan tidak diperlukan. Namun syarat kuat tekan ini berlaku apabila syarat kalor hidrasi seperti tercantum ditabel syarat kimia tambahan diisyaratkan.

Semen *portland* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah semen berjenis *Portland Pozzolan Cement* (PPC) yaitu semen gresik. *Portland Pozzolan Cement* (PPC) sendiri merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama dengan terak, gypsum, dan satunya atau lebih bahan *anorganic*, kegunaan semen ini sesuai untuk konstruksi beton umum, pasangan batu bata, plesteran bangunan khusus seperti beton pra cetak, beton pra tekan, dan *paving block*. Semen gresik itu sendiri merupakan perusahaan BUMN pembuat semen yang sudah ada sejak tahun 1957 dirikan oleh presiden Soekarno di Gresik, namun pada januari 2013 PT Semen Gresik (Persero) Tbk berubah menjadi PT Semen Indonesia. Harga dipasaran daerah sekitar Yogyakarta semen Gresik dengan kemasan seberat 40kg dijual dengan rentan harga antara Rp 38.000,00 sampai dengan Rp 40.000,00. Adapun untuk gambar semen Gresik sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Semen Gresik

b. Agregat

Agregat pada beton merupakan butiran alami yang berfungsi agar bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sekitar 70% dari volume beton atau mortar. Pemilihan agregat adalah bagian yang paling penting karena karakteristik agregat sangat mempengaruhi sifat-sifat beton atau mortar (Tjokrodinuljo, 2010).

Berdasarkan BSN (1992), telah mengelompokkan ukuran-ukuran butiran agregat halus menjadi empat zona atau daerah diantaranya: zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus), zona IV (halus). Adapun batas gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.25.

Tabel 2.25 Batas gradasi agregat halus (BSN, 1992)

Ukuran saringan	Presentase berat lolos saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
9,60 mm	100	100	100	100
4,80 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60 mm	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15 mm	0-10	0-10	1-10	0-15

Menurut Tjokrodinuljo (2010) dijelaskan bahwa agregat halus yang digunakan untuk bahan bangunan ada baiknya dipilih berdasarkan persyaratan sebagai berikut ini.

- 1) Butir-butirannya keras dan tajam dengan indeks ketajaman/kekerasan $\leq 2,2$.
- 2) Tidak mengandung lumpur atau butiran halus yang lolos saringan 0,06 mm > 15%.
- 3) Kekal, artinya tidak hancur atau pecah oleh pengaruh cuaca saat terik matahari dan hujan. Apabila diperiksa dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian

yang hancur maksimal 12%, dan apabila garam Magnesium Sulfat maksimal 18%.

- 4) Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat harus tidak bersifat reaktif terhadap alkali.
- 5) Modulus halus butir antara 1,50 - 3,80 dengan berbagai variasi butir sesuai dengan standar gradasi.
- 6) Tidak mempunyai kandungan zat organis yang terlalu banyak, yang didapatkan dengan pemeriksaan warna larutan 3% NaOH, adalah warna cairan diatas endapan agregat halus tidak boleh melebihi gelap dari warna standar atau pembandingnya.
- 7) Agregat halus dari daerah laut atau pantai, boleh dipakai dengan petunjuk dari lembaga pemeriksa bahan-bahan yang telah diakui.

Ada berbagai persyaratan dalam pemeriksaan agregat halus atau pasir. Maka dapat dilihat pada Tabel 2.26.

Tabel 2.26 Persyaratan pemeriksaan agregat halus

No	Pengujian	Mengacu pada	nilai
1.	Gradasi butiran (%)	BSN, 1989	1,50-3,80
2.	Berat jenis dan penyerapan air	Tjokrodikuljo, 2010	2,5
3.	Berat satuan (gr/cm ³)	Tjokrodikuljo, 2010	1,50-1,80
4.	Kadar air (%)	Mulyono, 2004	1-2
5.	Kadar lumpur (%)	BSN, 1989	≤ 5

Ukuran agregat pada umumnya dibedakan ke dalam 3 golongan diantaranya sebagai berikut ini.

- a) Batu, apabila ukuran butiran > 40 mm.
- b) Kerikil, apabila butiran berukuran antara 5 – 40 mm.
- c) Pasir, apabila butiran berukuran 015 – 5 mm.

Ukuran batas-batas agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.27.

Tabel 2. 27 Batas-batas gradasi agregat kasar (BSN, 1992)

Ukuran Saringan	Prentase berat yang lolos ayakan	
	5 – 38 mm	5 – 18 mm
38,0 mm	90-100	100
19,0 mm	35-70	90-100
9,6 mm	10-40	50-85
4,8 mm	0-5	1-10

Ada berbagai persyaratan yang sebaiknya dipakai dalam pengujian/pemeriksaan agregat kasar ini. Persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.28.

Tabel 2.28 Data persyaratan agregat kasar (BSN, 1992)

Kekuatan beton	Max bagian hancur dengan los angeles, lewat saringan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10-20 MPa)	40
Kelas III (> 20 MPa)	27

c. Air

Air adalah salah satu bahan yang terpenting dalam proses pencampuran beton, karena air dapat menentukan mutu beton. Tujuan dari penggunaan air adalah agar terjadi proses hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dengan air yang menyebabkan campuran menjadi satu atau keras (Tjokrodinuljo, 2010). Biasanya kebutuhan air untuk pencampuran beton yaitu antara 25-35% dari berat semen yang digunakan. Namun saat proses hidrasi beton membutuhkan sekitar 25% air, akan tetapi dalam kenyataannya apabila nilai FAS kurang dari 35%, maka beton segar akan menjadi tidak mudah untuk dikerjakan dengan sempurna sehingga saat beton telah mengeras maka beton yang dihasilkan mempunyai kekuatan yang rendah dan terdapat keropos. Maka dari itu kelebihan air ini diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan agar beton dapat mencapai *workability* dengan baik.

Adapun syarat air yang baik dalam pencampuran beton untuk bangunan diantaranya sebagai berikut (BSN, 1989). Diantaranya sebagai berikut :

- 1) air harus bersih,
- 2) tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO_3) melebihi 1 gram/liter,
- 3) tidak mengandung garam yang dapat larut dan juga merusak beton (zat organik, asam, dsb) melebihi 15 gram/liter,
- 4) tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda ini tersuspensi tidak boleh melebihi 0,05 gram/liter, dan
- 5) tidak mengandung klorida (CL) melebihi 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang, kandungan klorida tidak boleh melebihi 0,05 gram/liter.

d. Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan suatu bahan campuran berupa cairan atau bubuk, yang ditambahkan kedalam campuran adukan beton segar selama proses pengadukan dengan tujuan agar mengubah sifat betonnya (BSN, 1990a).

Penambahan bahan campuran pada suatu beton harus memperhatikan syarat atau standar yang berlaku seperti SNI (Standar Nasional Indonesia), ACI (*American Concrete Institute*), maupun ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Hal yang terpenting yaitu memperhatikan petunjuk sesuai dalam prodak dagang.

Berdasarkan ACI (*American Concrete Institute*), bahan tambah yaitu material selain air, agregat, dan semen hidrolik yang dicampur dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama proses pengadukan.

Bahan tambah beton dapat berupa bahan tambah yang sifatnya kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang sifatnya mineral (*additive*).

Salah satu bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*) adalah bestmittel. Bestmittel merupakan formula khusus yang sangat ekonomis dalam proses pekerjaan pengecoran sehingga menjadikan beton akan lebih cepat keras dalam usia relative muda serta dapat mengurangi pemakaian air pada saat pengecoran sehingga akan meningkatkan mutu/kekuatan beton yang diproduksi oleh PT Mergusa Chemie. Kegunaan bestmittel itu sendiri sangat membantu untuk pengecoran dengan jadwal waktu yang sangat ketat karena beton cepat mengeras pada usia awal (7-10 hari) serta meningkatkan mutu/kekuatan beton 5% - 10%. Keunggulan lainnya yaitu mempersingkat proses pembetonan sehingga cetakan beton atau bekistingpun dapat dilepas lebih cepat dan mengurangi pemakaian air sekitar 5% - 20% sehingga menjadikan beton lebih solid dan lebih plastis. Dosis kebutuhan yang disarankan bestmittel itu sendiri antara sebesar 0,2% - 0,6% dari berat semen total.

Pada penelitian ini digunakan salah satu bahan tambah (*additive*) yang cukup populer saat ini yaitu *fly ash* dengan kadar sebanyak 5%; 10%; 15% sehingga dapat dilihat perbandingan beton dengan variasi *fly ash* tersebut. *Fly ash* ialah residu halus yang diakibatkan dari sisa pembakaran atau pembubukan

batubara dan ditransportasikan atau dialirkan oleh aliran udara panas (BSN, 2014).

Menurut BSN (2014), *fly ash* diklarifikasikan menjadi beberapa kelas diantaranya sebagai berikut ini.

- 1) Kelas N yaitu pozolan alam mentah atau telah diklarifikasikan memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya tanah *diatomae* (hasil pelapukan); batu rijang opalan dan serpihan; *tufa* dan abu vulkanik atau batu apung, dikalsinasi atau tidak, dan berbagai bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diperlukan, misalnya lempung dan serpih.
- 2) Kelas F yaitu abu terbang dari batubara yang memiliki sifat pozolanik, biasanya dihasilkan dari pembakaran antrasit atau batubara *bituminous*, namun dapat juga dihasilkan dari batubara *subbituminous* dan *lignite*.
- 3) Kelas C yaitu abu terbang dari batubara yang mempunyai sifat pozolanik dan sementusius, biasanya dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau batubara *subbituminous*, dan dapat juga dihasilkan dari *antrasit* atau batubara *bituminous*. *Fly ash* ini juga mengandung kadar kalsium total yang dinyatakan sebagai kalsium oksida (CaO) lebih dari 10%.

Pemakaian *fly ash* dilakukan dengan cara mengganti semen yang telah diperhitungkan sesuai kebutuhan *mix design* lalu dicampurkan sebelum pengadukan atau saat sedang proses pengadukan. *Fly ash* disini juga dicampur lagi dengan bahan tambah yang lain agar mendapatkan kekuatan beton yang lebih kuat.

2.2.2. Perawatan Beton (*curing*) Air Laut

Perawatan beton (*curing*) merupakan tahap akhir dari proses pembuatan beton dimana beton dijaga agar permukaan pada beton segar selalu dalam keadaan lembab atau basah, sejak setelah dipadatkan sampai dengan proses hidrasi sempurna sekitar umur 28 hari. Perawatan beton dapat menggunakan air bersih namun untuk bangunan yang terdapat pada daerah sekitar pantai atau laut maka dapat dilakukan *curing* dengan air laut. Bangunan air sendiri merupakan bangunan yang berfungsi untuk memanfaatkan atau mengendalikan air pada danau maupun sungai. Namun bangunan air terutama pada air laut mempunyai dampak besar bagi ekosistem laut maupun struyktur itu sendiri. Pada penelitian ini akan

digunakan air laut, air laut sendiri yang normal mengandung garam-garaman $\pm 3,5\%$, bahan organik dan zat-zat tak larut lainnya. Zat garam yang ada dalam air laut yaitu klorida sebanyak 55%, sulfat 8%, magnesium 4%, natirum 31%, potassium 1%, kalium 1%, dan sisanya terdiri atas bromide, asam borak, bikarbonat, dan florida kurang dari 1%.

2.2.3. *Mix Design* Beton Normal

Proses perencanaan *mix design* beton mengacu pada Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (BSN, 2000). Perencanaan *mix design* ini dilakukan agar mengetahui proporsi bahan untuk kebutuhan campuran beton.

2.2.4. Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera sesaat setelah cetakan benda uji *slump* diangkat. Nilai *slump* yang dihasilkan dari pengujian ini juga dapat menentukan seberapa besar *workability*-nya, semakin besar nilai *slump* maka semakin besar pula tingkat *workability*-nya.

2.2.5. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton ialah besarnya beban per satuan luas, dimana beton diberi beban gaya tekanan tertentu sehingga mengakibatkan beton benda uji sampai hancur. Beton akan dianggap kuat dapat dilihat dari nilai kuat tekannya. Jika semakin tinggi nilai kuat tekan yang dihasilkan, maka mutu beton tersebut juga akan semakin baik. Faktor yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton diantaranya jenis agregat, proporsi bahan campuran, pengadukan beton segar, pemadatan beton segar, serta perawatan beton (*curing*). Kuat tekan ($f'c$) beton dapat diketahui dari rumus berikut ini.

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : $f'c$ = kuat tekan beton (MPa),

P = beban tekan maksimum (N), dan

A = luas permukaan tekan (mm²)