

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk membantu penelitian ini, dibutuhkan teori-teori yang ada dan beberapa penelitian-penelitian terdahulu untuk memudahkan peneliti melakukan penelitian selanjutnya. Berikut adalah 10 contoh jurnal yang dapat dijadikan sebagai landasan-landasan melakukan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Pengaruh Abu Terbang dan *Superplasticizer* terhadap Kuat Tekan Beton. (Tilik, 2011).
2. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambahan Abu Terbang (*Fly ash*) dan Zat Adiktif (*Bestmittel*) (Ervianto dkk., 2016).
3. Prediksi Kuat Tekan Beton Berbahan Campuran *Fly ash* dengan Perawatan Uap Menggunakan Metode Kematangan (Irawan dkk., 2012).
4. Pengaruh Pembakaran sampai dengan Temperatur 400°C terhadap Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah *Fly ash* dan serbuk Batu Gamping (Narwastu, 2017).
5. Pengaruh Jenis Semen dan Jenis Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton (Salain, 2009).
6. Perbedaan Umur Pencapaian Kuat Tekan Beton dari Perekat Semen OPC, PPC, dan PPC (Intara, 2014).
7. Pengaruh Tambahan *Plasticizer* terhadap *Slump* dan Kuat Tekan Beton (Sylviana, 2015).
8. Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton Menggunakan *Hammer Test* dan *Compression Testing Machine* terhadap Beton Paska Bakar (Dharmawan dkk., 2016).
9. Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah antara Beton Normal dan Beton *Integral Waterproofing* (Jaya dkk., 2017).
10. Pengaruh Gradasi Terhadap Porositas dan Kuat Tekan Beton Berpori (Pratomo dkk., 2016).

2.1.1 Penelitian Terdahulu Tentang Penggunaan *Fly Ash*

Tilik (2011) melakukan kajian yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kuat tekan yang diterima oleh beton yang diberi tambahan (*filler*) dengan menggunakan abu terbang dan *superplasticizer*. Abu terbang yang digunakan adalah abu terbang kelas F yang berasal dari P.T. Bukit asal Tanjung Enim. Kadar abu terbang adalah 25%, 20%, 15%, 10%, dan 5%. Untuk ukuran abu terbang dan *superplasticizer* 0,6% yang diambil dari berat semen dan berat air. Alat cetak benda uji menggunakan silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dengan jumlah 120 benda uji yang memiliki varian umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Perbedaan dari penelitian ini terletak pada jenis beton yang dibuat, varian abu terbang, zat adiktif yang digunakan, cetakan benda uji, varian umur yang berbeda dan jumlah benda uji yang dibuat. Dari Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa semakin lama umur beton maka semakin besar kuat tekannya.

Tabel 2.1. Hasil rata-rata kuat tekan (Tilik, 2011)

Kuat Tekan Rata-rata (MPa)			
3 hari	7 hari	14 hari	28 hari
18,04	22,83	31,68	33,66
14,50	22,97	31,36	35,08
17,00	22,93	31,43	35,84
14,04	24,38	30,67	35,75
14,06	22,70	37,28	40,08
27,35	36,99	34,26	36,00

Ervianto dkk. (2016) melakukan penelitian yang bertujuan mengetahui berapa banyak jumlah zat adiktif yang dibutuhkan dan pengaruh penambahan *fly ash* pada kuat tekan beton mutu tinggi. Sebanyak 40 benda uji dengan cetakan yang digunakan adalah silinder yang memiliki diameter 15 cm, dengan silinder yang memiliki tinggi yaitu 30 cm. agregat yang digunakan didapat dari Clereng, Kulon Progo. Varian *fly ash* yang digunakan adalah 5%, 7,5%, dan 10% diukur dari berat semen yang digunakan dengan umur beton 28 hari. Tabel 2.2 merupakan data rata-rata kuat tekan beton.

Tabel 2.2. Hasil uji kuat tekan beton berumur 28 hari (Ervianto dkk., 2016)

No	Varian <i>Fly ash</i> (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	5	31,29
2	7,5	31,19
3	10	30,83

Irawan dkk. (2012) melakukan kajian yang bertujuan untuk mengetahui prediksi kuat tekan beton dengan *steam curing* atau peningkatkan temperatur. Untuk dapat memprediksi kuat tekannya dengan cara mengetahui rekaman suhunya. Dengan suhu *steam curing* 70°C dihasilkan kuat tekan untuk umur 91 hari. Pengujian ini dilakukan saat beton berusia 1 sampai 7 hari. Dengan ini pengujian tidak membutuhkan waktu *curing* selama 28 hari. Cetakan yang digunakan adalah silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Tabel 2.3 adalah data kuat tekan beton.

Tabel 2.3. Nilai kuat tekan prediksi (Irawan dkk., 2012)

Umur Target (hari)	Rata-rata Kuat Tekan Prediksi (MPa)
7	29,21
14	32,89
21	39,52

Narwastu dkk. (2017) melakukan penelitian berjudul Pengaruh Pembakaran sampai dengan Temperatur 400°C terhadap Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah *fly ash* dan serbuk batu gamping ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *fly ash* dan serbuk batu gamping terhadap perubahan suhu pembakaran. Penggunaan *fly ash* sebesar 25% dan 15% serbuk batu gamping pada 20 benda uji, sedangkan 20 benda uji sisanya tanpa *fly ash* dan batu gamping yang diambil dari jumlah berat total semen. Pembakaran benda uji dilakukan selama ± 60 menit. Beton yang sudah dibakar dengan ataupun tanpa material tambah *fly ash* dan serbuk batu gamping mengalami penurunan pada nilai kuat tekan. Pada Tabel 2.4 adalah data kuat tekan dan selisih penurunan kuat tekan tersebut.

Tabel 2.4. Data hasil pengujian (Narwastu dkk., 2017)

No	<i>Fly ash</i> (%)	Serbuk Batu Gamping (%)	Kuat Tekan Rerata (kg/cm ²)	Dibakar / Tidak Dibakar	Penurunan Kuat Tekan (%)
1	0	0	256,65	Tidak Dibakar	5,1737
2	0	0	243,37	Dibakar	
3	25	15	325,85	Tidak Dibakar	5,1672
4	25	15	309,01	Dibakar	

2.1.2 Penelitian Terdahulu Tentang Bahan dan Alat Yang Digunakan

Salain (2009) melakukan kajian yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh semen dan agregat kasar pada kuat tekan beton. Jenis semen yang digunakan adalah semen portland tipe I (PCI), semen portland komposit (PCC), dan semen portland pozzolan (PPC). Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil dan batu pecah berdiameter maksimal 20mm. Cetakan yang digunakan adalah kubus berukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm. Pengujian uji tekan pada umur 3 hari, 7 hari, 28 hari, dan 90 hari. Tabel 2.5 menunjukkan perbedaan kuat tekan jenis agregat dan jenis-jenis semen. Dilihat dari Tabel 2.5 kuat tekan terbesar adalah menggunakan semen jenis PPC dengan umur beton adalah 90 hari.

Tabel 2.5. Kuat tekan dengan semen dan agregat kasar yang berbeda (Salain, 2009)

Jenis Agregat Kasar	Umur (hari)	Kuat Tekan Beton (MPa)		
		PCI	PCC	PPC
Kerikil	3	29,96	31,54	26,32
	7	35,96	39,42	33,11
	28	45,83	49,00	45,02
	90	49,78	54,67	52,50
Batu Pecah	3	32,67	37,78	32,00
	7	44,44	49,61	42,28
	28	54,22	57,02	52,53
	90	54,36	57,47	56,67

Intara (2014) melakukan kajian yang bertujuan untuk mengetahui kandungan semen PPC dan PCC, selain itu untuk mengetahui kuat tekan beton dengan semen

PPC dan PCC. Selain itu dalam penelitian ini menggunakan *fly ash* yang memiliki harga lebih murah dibandingkan dengan semen. Pengujian ini dilakukan pada beton umur 3, 7, 28, dan 90 hari. Dilihat dari data yang didapat, kuat tekan beton dengan semen PPC lebih rendah dari kuat tekan beton yang menggunakan PCI yaitu 41 MPa dan 46 MPa.

Sylviana (2015) yang melakukan melakukan kajian yang bertujuan untuk mengetahui *slump* dan kuat tekan beton dengan dengan porsi agregat yang berbeda-beda dan tambahan zat adiktif. Dengan cetakan beton menggunakan silinder dan kubus, kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Kuat tekan benda uji silinder dan kubus (Sylviana, 2015)

Bahan Campur	Kuat Tekan (kg/cm ²)							
	Umur Benda Uji Silinder (Hari)				Umur Benda Uji Kubus (Hari)			
	3	7	21	28	3	7	21	28
Beton normal	229,40	247,38	341,76	355,24	248,08	277,64	397,38	428,71
Beton dengan bahan tambahan 0,1% (Bahan campuran II)	246,16	255,76	345,07	362,97	289,40	305,00	481,59	484,09
Beton dengan bahan tambahan 0,1% (Bahan campuran III)	240,50	254,65	343,42	368,00	257,57	306,78	418,82	489,83
Beton dengan bahan tambahan 0,2% (Bahan campuran IV)	241,34	285,77	351,36	362,29	260,95	271,08	399,94	422,97
Beton dengan bahan tambahan 0,4% (Bahan campuran V)	240,12	274,45	350,48	387,63	258,87	324,53	421,91	434,28
Kuat tekan rencana	160,00	260,00	380,00	400,00	192,77	313,25	457,83	481,93

Dharmawan dkk. (2016) melakukan kajian yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai kuat tekan beton dengan dua alat yang berbeda yaitu dengan *Hammer Test* dan *Compression Testing Machine*. Dilihat Tabel 2.7 adalah perbedaan kuat tekan kedua alat tersebut. Untuk kuat tekan menggunakan *Compression Testing Machine* memiliki nilai yang jauh lebih tinggi. Untuk kuat tekan lebih disarankan menggunakan *Compression Testing Machine*.

Tabel 2.7. Perbandingan dua alat kuat tekan (Dharmawan dkk., 2016)

Suhu(°C)	Kuat Tekan		Selisih Kuat Tekan (kg/cm ²)
	(kg/cm ²)		
	Hammer	CTM	
Normal	163,162	324,038	161
300	174,067	272,94	99
600	160,601	253,112	93

Jaya dkk. (2017) melakukan kajian yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan dan memperbaiki sifat beton. Beton integral waterproofing adalah beton yang memiliki bahan tambahan agar beton tersebut kedap air. Dilihat dari Tabel 2.8 perbandingan kuat tekan beton, untuk beton normal memiliki angka yang lebih besar dibandingkan dengan beton integral. Hal ini dikarenakan dari kadar air beton integral lebih tinggi dari beton normal. Sedangkan untuk kuat tarik belah, dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik pada beton integral lebih besar dibandingkan beton normal.

Tabel 2.8. Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton (Jaya dkk., 2017)

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)
Beton Normal	29,77	10,22
Beton Integral Waterproofing	27,50	10,58

2.1.3 Penelitian Terdahulu Tentang Porositas Beton

Pratomo dkk. (2016) melakukan penelitian yang menggunakan metode eksperimen ini bertujuan mencari tahu besarnya workabilitas, permeabilitas, kuat tekan, dan porositas beton yang berpori dan seberapa besar pengaruh gradasi terhadap workabilitas, permeabilitas, kuat tekan dan juga porositas beton berpori. Zat adiktif yang digunakan dalam penelitian adalah LEMKRA TG-300 yang tidak lain berfungsi menambah kekuatan pada beton yang diteliti yaitu beton berpori. Pengujian kuat tekan, permeabilitas, porositas beton dilakukan ketika beton memiliki umur 28 hari. Pengujian porositas pada penelitian ini menggunakan

metode *void in mix* dan memiliki nilai yang berkategori baik karena katagori baik adalah diantara 15%-20%. Sedangkan untuk pengujian permeabilitas adalah melalui dua acara yaitu dengan cara permeabilitas horizontal dan dengan cara permeabilitas vertikal.

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui apakah air mengalir dengan baik atau tidak. Pada penelitian ini gradasi agregat sangat berpengaruh ketika melakukan kuat tekan beton karena perbedaan yang sangat terlihat yaitu semakin kecil gradasi maka semakin besar kuat tekan yang dimiliki oleh beton tersebut, begitu juga sebaliknya. Tetapi lain hal terjadi pada pengujian permeabilitas dan porositas. Pengujian permeabilitas dan porositas tidak dipengaruhi oleh gradasi agregat karena setelah dilakukan pengujian nilai yang didapat dari gradasi yang berbeda adalah hampir sama atau mendekati. Perbedaan penelitian ini adalah terletak pada adanya pengujian permeabilitas dan penggunaan agregat halus (pasir). Setelah dilakukan penelitian didapat hasil yang terdapat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Hasil pengujian, porositas, dan permeabilitas (Pratomo dkk., 2016)

Benda Uji	Campuran	Kuat Tekan (MPa)	Porositas (%)	Permeabilitas	
				Horizontal (cm/dt)	Vertikal (cm/dt)
1	-	7,42	19,76	1,40	0,39
1	zat adiktif	10,58	19,01	1,16	0,28
2	-	7,94	18,52	1,37	0,37
2	zat adiktif	8,94	19,77	1,35	0,40

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Beton

Campuran dari material-material yaitu agregat kasar, agregat halus, dan dicampur dalam suatu pasta (campuran air dan semen) dan dapat disebut dengan beton (Cormac, 2004). Beton memiliki masa jenis sebesar 2200 kg/m³. Beton memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal konstruksi. Berikut adalah kelebihan dari beton yaitu:

1. Beton dapat menahan beban yang berat. Hal ini bisa dibuktikan setelah dilakukan uji kuat tekan beton.
2. Beton memiliki ketahanan terhadap temperatur yang cukup tinggi.
3. Biaya pemeliharaan beton yang relatif kecil sehingga banyak konstruksi-konstruksi bangunan menggunakan beton.
4. Pembentukan / untuk mencetak beton dapat dilakukan dengan mudah sesuai dengan yang dibutuhkan.

Sedangkan kekurangan beton adalah:

1. Karena dapat menahan beban berat, beton sendiri memiliki beban yang berat.
2. Ketika beton dibuat, dibutuhkan ketelitian yang tinggi.
3. Akan menjadi kesulitan apabila beton yang telah dicetak, untuk diubah bentuknya.
4. Kebalikan dari kuat tekan, beton memiliki kuat tarik yang rendah karena sifat getas, tetapi hal itu bisa disiasati dengan cara memberi tulangan pada beton tersebut.

2.2.2 Beton Porous

Beton non pasir (*no fines concrete*) atau beton porous adalah kombinasi dari semen, air, dan agregat kasar yang berukuran sama dan menghasilkan bahan struktural berpori. Beton non pasir (*no fines concrete*) adalah beton ringan dimana beton tersebut tidak menggunakan agregat halus sebagai campurannya, sehingga memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan beton normal (Tjokromulyo, 2009). Beton ini adalah jenis beton ringan yang memiliki rongga atau pori dan tidak memiliki salah satu material di dalamnya yaitu agregat halus (pasir) dan mengakibatkan rongga yang harusnya terisi oleh agregat halus tergantikan dengan udara. Penggunaan beton non pasir digunakan pertama kali di Inggris pada tahun 1852 untuk pembangunan rumah tinggal dan krib laut. Penggunaan tersebut semakin meluas setelah terjadinya Perang Dunia II selama kekurangan bahan untuk pembuatan dinding dan lain-lain.

Beton porous memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan tersebut sebagai berikut ini, yaitu:

- a. Efisiensi biaya yang digunakan lebih sedikit karena mengurangi salah satu material

- b. Daya tembus air yang baik sehingga air dipermukaan mengalami pengurangan karena adanya rongga-rongga yang ada. Hal ini dapat dimanfaatkan agar tanaman sekitarnya mendapatkan air yang cukup dan tidak mati.
- c. Meningkatkan penyerapan air tanah karena air yang ada pada permukaan yang menggunakan beton porous akan menyerap ke bawah dan mengurangi resiko banjir apabila beton tersebut digunakan untuk permukaan jalan.

Selain memiliki kelebihan, beton porous memiliki kekurangan sebagai berikut ini, yaitu:

- a. Tidak banyaknya acuan dan perencanaan desain yang menggunakan beton porous di Indonesia.
- b. Karena termasuk jenis beton ringan, maka beton tersebut memiliki berat yang ringan dan kuat tekan yang kecil.
- c. Karena memiliki rongga-rongga beton porous dapat dengan mudah mengalami korosi dan tidak disarankan menggunakan baja tulangan.
- d. Sifatnya yang getas dan mudah hancur sehingga harus dicampurkan dengan bahan ataupun zat adiktif.

2.2.3 Bahan Penyusun Beton

Beton memiliki bahan-bahan penyusun yang terdiri dari material yang termasuk mudah didapatkan. Material-material tersebut adalah:

1. Agregat

Agregat terbagi menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar yang memiliki butiran besar dan agregat halus yang memiliki butir kecil. Batu pecah/ split kerikil adalah bagian dari agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton. Ukuran agregat kasar adalah antara 5 mm - 40 mm tergantung kebutuhan penggunaan. Untuk agregat halus atau bisa menggunakan pasir memiliki ukuran sebesar 0,15 mm – 5 mm. agregat halus dalam beton berfungsi sebagai pengisi agar beton lebih padat dan tidak memiliki rongga. Agregat yang memiliki ukuran yang sama (seragam) akan lebih banyak memiliki rongga karena tidak terisinya rongga tersebut dengan agregat yang ukurannya lebih kecil, namun akan lebih baik apabila agregat yang digunakan adalah agregat yang memiliki gradasi (menerus) yang akan memiliki rongga lebih

sedikit atau tidak memiliki rongga sedikitpun (padat). Ukuran agregat yang digunakan untuk beton non pasir adalah diantara 9,5 mm – 19 mm. Agar mendapatkan agregat yang baik, maka perlu dilakukan pemilihan agregat dan melakukan pengujian sesuai dengan acuan yang dipakai. Menurut BSN (2002), syarat-syarat agregat kasar yang digunakan untuk bahan bangunan adalah:

- 1) Agregat yang berbentuk panjang dan pipih bias digunakan dalam jumlah kurang dari 20% dari jumlah total agregat.
- 2) Agregat berbentuk butir keras dan tidak memiliki pori. Keausan dan kekerasan agregat dapat diketahui dari pengujian menggunakan uji keausan *Los Angeles*. Syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam pengujian keausan terdapat pada Tabel 2.10

Tabel 2.10 Syarat keausan agregat kasar untuk beton (BSN, 2002)

Kekuatan Beton	Bejana Rudeloff Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 2 mm (persen)		Mesin Los Angeles Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7 mm (persen)
	Ukuran butir		
	19 - 30 mm	9,6 - 19 mm	
Kelas I \leq 10 Mpa	30	32	50
Kelas II 10 - 20 Mpa	22	24	40
Kelas III $>$ 20 Mpa	14	16	27

- 3) Untuk mengetahui apakah agregat memiliki sifat kekal ataupun tidak dapat dilakukan dengan pengujian berikut
 - a. Tidak diperbolehkan adanya unsur tabahan yang dapat merusak beton, contohnya adalah unsur yang dapat bereaksi dengan alkali
 - b. Apabila digunakan untuk pengujian adalah Magnesium Sulfat, maka jumlah agregat yang hancur maksimum adalah 10%.
 - c. Apabila digunakan untuk pengujian adalah Natrium Sulfat, maka jumlah agregat yang hancur maksimum adalah 12%.
- 4) Agregat kasar harus memiliki sifat kekal atau tidak dapat mudah hancur oleh pengaruh dari cuaca.

- 5) Kandungan lumpur dalam agregat tidak boleh lebih dari 1%. Apabila lebih dari 1% maka agregat tersebut harus dicuci terlebih dahulu.
- 6) Agregat terdiri dari butiran yang beragam (menerus) atau gradasi yang baik untuk digunakan. Apabila agregat kasar diayak menggunakan mesin *shaker* nilai modulus halus butir (mhb) adalah diantara 6-7,10 dan agregat yang memenuhi kriteria adalah
 - a. Tidak ada agregat yang tersisa diatas 38 mm.
 - b. Agregat yang terdapat pada ayakan yang berdiameter 4,8 mm harus berkisar antara 90-98%
 - c. Selisih yang tersisa pada masing-masing ayakan yang saling berurutan adalah sebesar maksimal 60% dan minimal 10% dari beratnya.

2. Semen *Portland Pozoland*

Semen *Portland Pozoland* merupakan semen hidrolis yang terdiri dari campuran homogen antara semen *portland* dengan *pozoland* yang bertekstur halus. Yang diproduksi dengan cara menggiling kinker (bahan utama semen) semen *portland* dan *pozoland* bersama. *Pozoland* merupakan bahan yang mengandung alumina dan silika atau senyawanya. *Pozoland* tidak memiliki sifat seperti semen yang dapat mengikat, tetapi dengan bentuk yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi kimia dengan kalsium hidroksida dengan suhu kamar dan membentuk senyawa yang mempunyai sifat yang mirip dengan semen (BSN, 2004).

Untuk bahan pengikat beton menggunakan semen *portland* yang dicampur dengan air. Ketika dicampur dengan air, semen akan mengalami proses hidrasi dimana reaksi antara senyawa alumina dan senyawa silikat membentuk produk hidrasi yang berupa massa yang kuat dan keras. Semen *portland* awalnya dibuat dengan cara membakar batu kapur yang mengandung tanah liat yang berasal dari pulau Portland, Inggris dan dipatenkan oleh Joseph Aspdin tahun 1824. Semen *portland* memiliki komposisi kimia yaitu:

- a. *Tricalcium Silicate* (C_3S) sebesar 50 - 70%
- b. *Dicalcium Silicate* (C_2S) sebesar 15 - 30%
- c. *Tricalcium Aluminate* (C_3A) sebesar 5 - 10%

- d. *Tetracalcium Aluminoferrite* (C_4AF) sebesar 5 – 15%
- e. *Tricalcium Silicate* ($CaSO_4 \times H_2O$) sebesar kurang lebih 5%

Bahan yang menempati proporsi terbanyak dari semen adalah C_2S dan C_3S . Kedua bahan tersebut menempati 70%-80% dari semen. Jika semen bereaksi dengan air maka air terhidrasi dan menghasilkan panas kemudian mengeras, apabila kandungan C_2S lebih banyak maka semen akan lebih lambat mengeras namun menahan efek kimia lebih baik dan memberikan kekuatan akhir yang tinggi, sedangkan apabila kandungan C_3S lebih banyak maka semen akan lebih cepat mengeras dan memberikan kekuatan awal beton yang tinggi.

Berdasarkan ASTM C150 (ASTM, 2006) di Indonesia semen *porland* memiliki beberapa jenis yaitu:

- a. Jenis I, semen *porland* yang digunakan untuk konstruksi umum dan penggunaannya tidak membutuhkan persyaratan khusus.
- b. Jenis II, semen *porland* yang digunakan dibutuhkan ketahanan dari sulfat 0,1-0,2 % dan panas hidrasi sedang. Bisa digunakan pada bangunan yang terletak dipinggir laut, rawa, dermaga, bendungan, dan irigasi.
- c. Jenis III, semen *porland* yang digunakan mengharuskan persyaratan kekuatan awal yang tinggi. Bisa digunakan pada jalan tol, bangunan tingkat tinggi, jalan beton, dan bandara.
- d. Jenis IV, semen *porland* yang digunakan mengharuskan panas hidrasi yang rendah. Bisa digunakan untuk dam atau bandara.
- e. Jenis V, semen *porland* yang digunakan mengharuskan persyaratan tahan terhadap sulfat. Bisa digunakan pada konstruksi dalam air, air laut, pantai, dan pembangkit tenaga nuklir.

3. Air

Air dalam pembuatan beton berfungsi sebagai pencampur bahan penyusun lainnya seperti semen, dan agregat. Air berpengaruh dalam *workability* atau mempengaruhi dan mempermudah proses pembuatan dan faktor air semen (fas) sangat berpengaruh dalam pembuatan beton karena dapat mempengaruhi seberapa besar kuat tekan yang di dapat. semakin besar fas yang digunakan semakin besar kebutuhan air. Semakin banyak penggunaan air, maka semakin besar kemungkinan bahwa kuat tekan terhadap beton semakin kecil, tetapi apabila fas yang dibutuhkan

kecil, maka air yang dibutuhkan seakin kecil dan terjadi kemungkinan maka semen dan bahan-bahan lainnya tidak dapat bercampur dengan baik. Menurut BSN (2002) air yang dapat digunakan dalam membuat beton adalah air yang bersih dengan pH normal dan tidak ada kandungan alkali, garam, organik, alkali, dan asam. Tidak memiliki warna dan tidak memiliki rasa.

4. Bahan Tambahan

Menurut BSN (1991), bahan tambah dalam pembuatan beton adalah bahan yang berbentuk bubuk ataupun cair yang dapat ditambahkan ketika proses pengadukan yang bertujuan dapat mengubah sifat adukan atau beton. bahan tambah memiliki beberapa jenis yaitu bahan tambah *pozzolan* yang sifatnya seperti semen, bahan tambah zat kimia (*chemical admixture*), dan bahan tambah yang berbentuk serat-serat (*fibres*). Pada penelitian ini menggunakan bahan tambah zat adiktif *Sika Viscocrete 1003* yang berfungsi sebagai penambah kekuatan awal pada beton dan dapat mengurangi air dan abu terbang sisa pembakaran batu bara (*fly ash*) sebagai *filler* atau pengisi.

1) Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash atau abu terbang dapat didefinisikan limbah pembakaran batu bara yang berada pada tungku Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbentuk halus, dan bersifat pozzolanik BSN (2002). Sifat pozzolanik adalah bahan yang mengandung silica alumina, yang apabila diberi air akan memiliki reaksi kimia yang dapat memiliki sifat mengikat seperti semen walaupun tanpa menggunakan semen ASTM C618 (ASTM, 1993). *Fly ash* sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton digunakan sejak tahun 1930-an.

Kandungan utama senyawa *fly ash* terdiri dari silica (Si), alumina (Al), ferrum (Fe), dan kalium (Ca). Adapun kandungan senyawa lainnya yaitu Pottasium (P), magnesium (Mg), karbon (C), sulfur (S), dan sodium (Na). Menurut (*Canadian Standard CSA A-23.5*) yang menentukan kadar CaO yang berada dalam *fly ash* dan mengklasifikasi *fly ash* yaitu:

- a. Tipe CH yang mempunyai kadar CaO > 20%
- b. Tipe CI yang mempunyai kadar CaO 8-20%
- c. Tipe F yang mempunyai kadar CaO < 8%

Fly ash memiliki beberapa sifat ataupun karakter yang dapat memberikan keuntungan apabila menjadi bahan campuran beton, yaitu:

- a. *Fly ash* memiliki ukuran yang sangat halus dan mampu mengisi rongga-rongga pada campuran beton sehingga kedap air (*impermeable*), memperkecil susut beton, dan akan lebih tahan terhadap abrasi.
- b. Bentuk dari butiran *fly ash* yang hampir bulat sempurna sehingga membuatnya mempunyai kemampuan alir dan *workability* yang lebih baik.
- c. Dalam ukuran kadar tertentu dapat meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan garam alkali.
- d. Dapat meningkatkan kuat tekan beton dalam kadar tertentu.
- e. Dapat mengurangi potensi *bleeding* (naiknya capuran air ke permukaan beton setelah proses pengecoran) dan segregasi (pemisahan agregat kasar atau kerikil dari adukan).
- f. Dapat mengurangi panas hidrasi, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya keretakan terhadap beton tersebut.
- g. Biaya yang digunakan lebih murah karena *fly ash* lebih murah daripada semen.

2) *Superplasticizer*

Superplasticizer adalah bahan tambah (*admixture*) yang digunakan sebagai material selain agregat, semen, dan air sebagai campuran dalam mortar maupun beton yang dapat ditambahkan ke dalam adukan sebelum atau selama proses pengadukan terjadi. Zat adiktif ini memiliki beberapa manfaat pada saat pembuatan beton, yaitu:

- a. Mengurangi air ketika dan sesudah proses pengadukan.
- b. Meningkatkan nilai *slump* dan *workability*.
- c. Dapat meningkatkan mutu beton dengan cara mengurangi faktor air semen.

Disisi lain *superplasticizer* juga memiliki efek negatif bagi untuk beton, diantaranya adalah dikarenakan *workability* nya meningkat menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan beton menjadi lebih cepat. Selain itu apabila penggunaan *superplasticizer* yang tidak terkontrol akan menyebabkan *slump* mengalami penurunan karena terlalu banyak air yang terpisah dari campuran beton. Zat adiktif memiliki beberapa manfaat yaitu:

- a. Mengurangi air ketika dan sesudah proses pengadukan beton.
- b. Meningkatkan nilai *slump* dan workabilitas beton.
- c. Dapat meningkatkan mutu beton dengan cara mengurangi faktor air semen.

Disisi lain *superplasticizer* juga memiliki efek negatif untuk beton, diantaranya dikarenakan workabilitasnya meningkat menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan beton menjadi lebih cepat. Selain itu apabila penggunaan *superplasticizer* yang jumlahnya tidak terkontrol akan menyebabkan *slump* mengalami penurunan karena terlalu banyak air yang terpisah dari campuran beton.

2.2.4 Pemeriksaan Agregat

1. Pengujian Kadar Air

Dalam BSN (1990) dijelaskan bahwa kadar air dalam agregat adalah seberapa besar perbedaan kandungan berat air dalam agregat ketika basah dan ketika agregat dalam keadaan kering. Uji kadar air diketahui dalam bentuk persentase. Uji kadar air dilakukan agar mengetahui campuran air dalam *mix design* yang digunakan untuk pengujian. Cara menghitung kadar air dalam agregat adalah dengan Persamaan 2.1, yaitu:

$$\text{Kadar air dalam agregat} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan,

W1 = berat benda uji semula (gram)

W2 = berat benda uji kering oven (gram)

2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air dalam Agregat

Dalam BSN (2008a) dijelaskan bahwa uji berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar adalah perbandingan berat satuan suatu agregat dengan berat volume yang berguna untuk *mix design* beton. Pengujian ini memiliki banyak tujuan, yaitu:

- a. Untuk mengetahui penyerapan air (absorsi) yaitu bertambahnya berat agregat yang dikarenakan air yang meresap melalui pori-pori, tetapi tidak termasuk air yang tertahan di permukaan luar agregat. Cara menghitung penyerapan air melalui Persamaan 2.2, yaitu:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B - A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan,

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

- b. Untuk mengetahui berat jenis semu (*apparent*) yaitu perbandingan berat agregat yang memiliki kondisi kering oven dengan volume total agregat.

Cara menghitung berat jenis semu melalui Persamaan 2.3, yaitu:

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{A-C} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan,

A = berat benda uji kering oven (gram)

C = berat benda uji kondisi di dalam air (gram)

- c. Untuk mengetahui berat jenis curah atau jenuh kering permukaan (*bulk specific gravity SSD*) yaitu berbandingan berat agregat yang memiliki kondisi kering permukaan jenuh dengan berat total volume agregat. Cara menghitung berat jenis curah yaitu melalui Persamaan 2.4, yaitu:

$$\text{Berat jenis curah (SSD)} = \frac{B}{B-C} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan,

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

C = berat benda uji kondisi di dalam air (gram)

- d. Untuk mengetahui berat jenis curah kering (*bulk specific gravity*) yaitu perbandingan berat agregat yang memiliki kondisi kering oven dengan berat total volume agregat. Cara menghitung berat jenis curah yaitu melalui Persamaan 2.5, yaitu:

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{A}{B-C} \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan,

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

C = berat benda uji kondisi di dalam air (gram)

3. Pengujian Berat Satuan Agregat

Berat satuan agregat adalah perbandingan total berat benda uji dengan volume cetakan benda uji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mencari berat satuan agregatnya yaitu pasir, kerikil, maupun campurannya. Dalam penelitian ini hanya melakukan pengujian berat satuan agregat terhadap kerikil. Cara menghitung berat satuan melalui Persamaan 2.6, yaitu:

$$\text{Berat satuan agregat} = \frac{B}{V} \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan,

B = berat isi (kg)

V = volume (m³)

4. Pengujian Keausan Agregat

Keausan agregat adalah berbandingan berat sisa agregat yang sudah mengalami pengujian dengan mesin *Los Angeles* dengan berat total agregat yang diuji. Dalam BSN (2008b) dijelaskan bahwa uji keausan agregat adalah untuk mengetahui ketahanan agregat kasar (kerikil) terhadap keausan yang dinyatakan dalam persen. (%) Perhitungan keausan agregat dihitung dengan Persamaan 2.7, yaitu:

$$\text{Keausan agregat} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan,

a = berat benda uji awal (gram)

b = berat benda uji yang tertahan pada ayakan nomor 12 (1,7mm)
(gram)

2.2.5 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan (*compressive strength*) beton dilakukan untuk mengetahui berapa besar kekuatan tekan beton dengan umur sesuai dengan yang telah disyaratkan. Umur yang bisaa diuji adalah umur 28 hari. Benda uji diletakkan pada mesin uji tekan dan diberi beban hingga beban maksimum yang dapat diterima benda uji. Cetakan benda uji yang digunakan untuk pengujian ini dapat berupa silinder atau kubus. Untuk menghitung kuat tekan beton dapat melalui persaaan 2.8, yaitu:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan,

P = Kuat tekan (kg/cm²)

F = gaya maksimum dari mesin uji tekan (kg)

A = luas penampang (cm²)

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton, diantaranya adalah:

1. Perawatan (*curing*)

Perawatan beton (*curing*) dilakukan setelah beton sudah mulai mengeras dan dapat dikeluarkan dari cetakan. Biasanya beton akan mengeras dan dapat dikeluarkan dari cetakan sehari setelah proses cetak. Setelah dicetak dan mengeras, beton diharapkan dapat mengoptimasi kekuatan beton sesuai dengan atau mendekati kuat tekan yang direncanakan. Perawatan beton untuk mengurangi penguapan atau kehilangan air yang masih diperlukan untuk proses hidrasi. Apabila kehilangan air maka proses hidrasi akan berhenti dan akan terjadi penurunan kekuatan pada beton. Tujuan dari dilakukan *curing* adalah:

- a. Menjaga perbedaan suhu yang terdapat pada beton dengan lingkungan.
- b. Menjaga beton akan tidak terjadinya kehilangan air semen saat proses hidrasi.
- c. Agar mendapat kekuatan beton sesuai dengan yang diinginkan atau diperkirakan.
- d. Menjaga beton agar tidak terjadi keretakan dikemudian hari.
- e. Menjaga stabilitas dari dimensi struktur.

Beberapa cara perawatan adalah dibasahi dengan air secara terus-menerus, direndam didalam kolam ataupun tempat yang berisi air, beton diselimuti dengan karung basah atau plastik yang basah, dan juga dengan cara penguapan.

Berdasarkan ASTM C 150 (ASTM, 2006) syarat lamanya proses *curing* dilihat dari tipe semen yang digunakan, berikut ini adalah:

- a. Semen *Portland* tipe 1, proses *curing* dilakukan minimal selama 7 hari.
- b. Semen *Portland* tipe 2, proses *curing* dilakukan minimal selama 10 hari.
- c. Semen *Portland* tipe 3, proses *curing* dilakukan minimal selama 3 hari.
- d. Semen *Portland* tipe 4, proses *curing* dilakukan minimal selama 14 hari.

2. Faktor air semen

Faktor air semen adalah banyaknya air yang digunakan untuk campuran beton yang didapat dari perbandingan berat air dan berat semen. Semakin besar faktor air semen maka adukan beton akan semakin encer dan dapat menyebabkan mutu beton yang semakin rendah karena kuat tekan beton tersebut akan rendah, tetapi apabila semakin kecil angka faktor air semen, belum tentu mutu beton dan kuat tekan beton tersebut semakin tinggi karena ketika faktor air semennya kecil maka tidak ada pengikat antara semen dan agregat.

3. Umur beton

Umur beton dapat mempengaruhi kuat tekan beton, karena semakin lama beton mengalami perawatan, maka semakin tinggi mutu beton dan kuat tekan yang didapat. Kuat tekan beton akan bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton, namun kuat tekan beton mengalami kenaikan yang terjadi ketika beton berumur sampai dengan 28 hari. Setelah 28 hari beton telah mengalami pengerasan secara sempurna sehingga kenaikan kuat tekan terjadi sedikit demi sedikit.

4. Jumlah dan jenis semen

Apabila jumlah semen yang digunakan terlalu sedikit atau terlalu banyak maka akan memperoleh kuat tekan beton yang rendah. Selain itu semen memiliki jenis yang bermacam-macam. Setiap jenisnya mempunyai nilai kekuatan yang berbeda-beda tergantung kebutuhan dan pemakaian semen yang digunakan.

5. Kepadatan benda uji

Kepadatan benda uji akan sangat mempengaruhi kuat tekan, dikarenakan semakin padat benda uji maka semakin besar mutu beton dan kuat tekan beton, begitu juga sebaliknya, apabila beton tersebut tidak padat atau memiliki rongga maka beton tersebut memiliki mutu rendah dan kuat tekan beton yang rendah.

2.2.6 Slump

Pengujian *slump* dilakukan untuk mendapatkan nilai *slump* dan mengetahui workabilitas dari benda uji (beton) itu sendiri. Nilai *slump* dapat diartikan nilai runtuh atau angka yang dapat dilihat diukur dari ketinggian kerucut pancung dengan adonan beton segar yang paling atas.

Menurut (Tjokrodinuljo, 2009) kelecekan suatu adonan beton dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Banyaknya air yang digunakan pada campuran beton.
2. Jumlah semen dalam campuran beton.
3. Ukuran gradasi agregat.
4. Ukuran butir terbesar agregat yang digunakan.

Besarnya nilai *slump* berpengaruh pada seberapa bagus mutu beton yang didapat. Semakin besar nilai *slump* yang didapat maka beton segar tersebut akan semakin encer dan dalam proses pengerjaannya dipastikan akan semakin mudah, namun sebaliknya apabila nilai *slump* tersebut semakin kecil maka beton tersebut

lebih padat dan proses pengerjaannya akan semakin sulit dilakukan. Hal ini dikarenakan faktor air semen yang mempengaruhi encer atau tidaknya semen. Banyaknya air yang digunakan akan sangat mempengaruhi nilai *slump*. Pengujian *slump* dilakukan sebelum campuran beton segar dimasukkan kedalam cetakan benda uji. *Slump* memiliki satuan cm

2.2.7 Porositas

Porositas adalah perbandingan berat volume rongga yang berada pada benda uji dengan volume total benda uji. Porositas berhubungan dengan kekedapan beton dikarenakan rongga-rongga yang dimiliki beton. Rongga-rongga yang terdapat pada benda uji adalah rongga yang seharusnya terisi oleh agregat halus namun digantikan dengan udara dikarenakan beton porous yang diuji merupakan beton porous non pasir. Semakin banyaknya rongga-rongga benda uji maka semakin besar porositas yang terdapat pada benda uji tersebut. Porositas pada beton porous dapat diuji dengan cara benda uji ditimbang didalam air. Pengujian porositas dilakukan sebelum pengujian kuat tekan beton. Porositas juga berpengaruh kepada kuat tekan beton karena kepadatannya yang berbeda dengan beton normal. Pengujian porositas dilakukan ketika umur beton adalah 28 hari. Untuk melakukan perhitungan porositas, perlu diketahui berat kering benda uji, berat dalam air benda uji, dan sebelumnya mencari nilai volume pori. Persamaan 2.9 merupakan mencari nilai volume pori, yaitu:

$$V_p = \frac{W_w - W_a}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan,

- V_p = volume pori (%)
- W_w = berat kering (kg)
- W_a = berat dalam air (kg)
- γ_w = rho air (kg/m³)

Sedangkan untuk mencari besar porositas adalah dengan persamaan 2.10, yaitu:

$$P = \frac{W_a - V_p}{W_a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan,

W_a = berat dalam air (kg)

V_p = volume pori (%)

2.2.8 Mix Design

Mix design adalah proses merancang dan penyusunan perbandingan agregat yang akan digunakan saat proses pembuatan beton antara lain jumlah semen, agregat, air, dan bahan tambahan lainnya yang digunakan untuk perencanaan pembuatan benda uji (beton). Sebelum melakukan *mix design*, dilakukan terlebih dahulu pengujian terhadap bahan-bahan yang akan digunakan. Setelah dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan, mengetahui alat cetak yang digunakan untuk mencetak benda uji. Untuk rencana pembuatan beton dibutuhkan beberapa langkah, yaitu:

- a. Mengetahui jumlah semen

Untuk mengetahui kebutuhan semen yaitu melalui persamaan 2.11, yaitu:

$$\text{Jumlah semen} = \frac{1}{6} \times \text{berat satuan semen} \dots\dots\dots(2.11)$$

- b. Mengetahui jumlah zat adiktif (*superplastizer*)

Jumlah *superplastizer* yang digunakan adalah persentase dari jumlah semen.

- c. Jumlah *fly ash*

- d. Karena dalam penelitian *fly ash* berguna sebagai *filler* maka jumlah *fly ash* yang digunakan adalah persentase dari jumlah semen.

- e. Jumlah agregat

- f. Jumlah agregat kasar yang digunakan dalam penelitian dihitung melalui persamaan 2.10, yaitu

$$\text{Jumlah agregat} = \frac{1}{6} \times \text{berat satuan agregat} \dots\dots\dots(2.12)$$

- g. Berat air

Berat air yang digunakan dalam penelitian merupakan perhitungan dari persamaan 2.11, yaitu

$$\text{Faktor air semen} \times \text{jumlah berat semen} \dots\dots\dots(2.13)$$