

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Beton sangat banyak dipakai secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen Portland, air, dan agregat (dan kadang – kadang bahan tambah, yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan non – kimia) pada perbandingan tertentu. Beton dapat mempunyai kuat tekan yang sangat tinggi, tetapi kuat tariknya sangat rendah (Tjokrodinuljo, 1992).

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Sedangkan beton normal merupakan beton yang mempunyai berat satuan  $2200 \text{ kg/m}^3$  sampai  $2500 \text{ kg/m}^3$  dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

Untuk keperluan perancangan dan pelaksanaan struktur beton, maka pengetahuan tentang sifat-sifat adukan beton maupun sifat-sifat beton setelah mengeras perlu diketahui. Menurut Sebayang (2000), sifat-sifat beton tersebut dijelaskan di bawah ini.

a. *Durability* (keawetan)

Merupakan kemampuan beton bertahan seperti kondisi yang direncanakan tanpa terjadi korosi dalam jangka waktu yang direncanakan. Dalam hal ini

perlu pembatasan nilai faktor air semen maksimum maupun pembatasan dosis semen minimum yang digunakan sesuai dengan kondisi lingkungan.

b. Kuat tekan

Merupakan tegangan berdasarkan pembebanan uniaksial benda uji silinder beton diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan satuan Mpa ( $\text{N/mm}^2$ ) untuk SKSNI 91. Benda uji silinder juga digunakan pada standar ACI, sedangkan British Standar benda uji yang digunakan adalah kubus dengan sisi ukuran 150 mm. Benda uji dengan ukuran berbeda dapat juga dipakai namun perlu dikoreksi terhadap size efek.

c. Kuat tarik

Merupakan tegangan tarik yang ditentukan berdasarkan pengujian lentur atau splitting. Kuat tarik beton jauh lebih kecil dari kuat tekannya, yaitu sekitar 10 %-15 % dari kuat tekannya. Kuat tarik beton merupakan sifat yang penting untuk memprediksi retak dan defleksi balok.

d. Modulus elastisitas

Merupakan perbandingan antara kuat tekan beton dengan regangan beton, biasanya regangan yang ditentukan pada 25-50 % dari kuat tekan beton.

e. Rangkak (*creep*)

Merupakan salah satu sifat beton dimana beton mengalami deformasi terus menerus menurut waktu dibawah beban yang dipikul.

f. Susut (*shrinkage*)

Merupakan perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan.

g. Keleccakan (*workability*)

Merupakan sifat-sifat adukan beton atau mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, dan finishing. Atau workability adalah besarnya kemudahan kerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan kompaksi penuh.

## **2.2 Material Penyusun Beton**

### **2.2.1 Semen Portland**

Semen Portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi –kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus (Tjokrodinuljo,1992).

Berdasarkan SNI S-04-1989-F semen portland dibagi menjadi lima jenis kategori sesuai dengan tujuan pemakaiannya seperti dibawah ini.

#### **1. Tipe I**

Semen Portland untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.

#### **2. Tipe II**

Semen Portland untuk konstruksi yang agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.

#### **3. Tipe III**

Semen Portland untuk konstruksi dengan syarat kekuatan awal yang tinggi.

## 4. Tipe IV

Semen Portland untuk konstruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.

## 5. Tipe V

Semen Portland untuk konstruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

Tabel 2.1. Jenis-jenis Semen Portland dengan Sifat-sifatnya (Nugraha dan Antoni, 2007)

Tipe semen	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Kehalusan blaine (m <sup>2</sup> /kg)	Kuat 1 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Panas hidrasi (J/g)
		C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>3</sub> AF			
I	Umum	50	24	11	8	350	1000	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	350	900	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	450	2000	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	300	450	210
V	Tanah sulfat	40	40	9	9	350	900	250

Bahan dasar semen ada 3 macam yaitu *klinker* atau terak (70%-95% merupakan hasil olahan pembakaran batu kapur, batu *silica*, pasir besi dan lempung), *gypsum* (sekitar 5% sebagai zat pelambat pengerasan) dan material ketiga seperti batu kapur, *pozzolan*, abu terbang, dan lain-lain. Jika unsur ketiga tersebut tidak lebih dari sekitar 3% umumnya masih memenuhi termasuk jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) atau kualitas tipe I jika kandungan material ketiga lebih tinggi hingga sekitar maksimum 6%-35% maka semen tersebut akan menjadi

PCC (*Portland Composite Cemen*). Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen PCC (*Portland Composite Cemen*) atau Portland komposit.

Semen Portland komposit adalah bahan adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen Portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik itu antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silica, *limestone*, abu terbang dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari massa semen Portland. Semen jenis PCC dapat digunakan pada konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya (SNI 15-7064-2004).

### 2.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kurang lebih menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 1992).

Dalam bidang teknologi beton nilai batas antara ukuran butir yang kasar dan yang halus umumnya ialah 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar, dan agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus. Secara umum, agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah, atau *split*, adapun agregat halus disebut

pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari pemecah batu. Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,20 mm kadang-kadang disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay* (Tjokrodinuljo,1992).

a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (SNI 03-2834-2000).

Menurut SK SNI-S-04-1989-F agregat kasar yang digunakan sebagai material penyusun beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. butir-butirnya keras dan tidak berpori,
2. kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan garam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bagian yang hancur maksimal 12%,
3. tidak mengandung lumpur lebih dari 1%,
4. tidak boleh mengandung zat yang reaktif terhadap alkali,
5. butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%,
6. modulus halus butir antara 6 – 7,10 , dengan variasi butir sesuai standar variasi gradasi,
7. ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari  $\frac{1}{5}$  jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan,  $\frac{1}{3}$  tebal pelat beton, jarak bersih antara tulangan atau berkas tulangan.

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (SNI 03-2834-2000).

Menurut SK SNI S-04-1989-F agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. butirannya tajam dan keras,
2. kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan garam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bagian yang hancur maksimal 12%,
3. tidak mengandung lumpur lebih dari 5%,
4. tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan  $\text{NaOH}$  3%, yaitu warna cairan di atas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap dari *Gardner Standard Colour*,
5. modulus halus berkisar 1,50 – 3,80, dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

### 2.2.3 Air

Air merupakan bahan yang penting pada beton yang menyebabkan terjadinya reaksi kimia dengan semen. Pada dasarnya air yang layak diminum, dapat dipakai untuk campuran beton. Akan tetapi dalam pelaksanaan banyak air yang tidak layak untuk diminum memuaskan dipakai untuk campuran beton. Apabila terjadi keraguan akan kualitas air untuk campuran beton sebaiknya

dilakukan pengujian kualitas air atau diadakan *trial mix* untuk campuran dengan menggunakan air tersebut.

Persyaratan air sebagai bahan bangunan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. air harus bersih,
2. tidak mengandung lumpur, minyak dan benda-benda merusak lainnya yang dapat dilihat secara visual,
3. tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gr/liter,
4. tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter, serta kandungan khlorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m,
5. bila dibandingkan dengan kuat tekan beton yang memakai air suling, maka penurunan kekuatan kuat tekan beton yang memakai air yang diperiksa tidak boleh lebih dari 10%,
6. air yang mutunya diragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya,
7. khusus untuk beton prategang, kecuali syarat-syarat tersebut diatas, air tidak boleh mengandung Chlorida lebih dari 50 p.p.m.



## 2.2.4 Limbah Batu Bara

### a. *Bottom Ash*

*Bottom ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batubara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (boiler) dan terkumpul pada penampang debu (*ash hopper*). *Bottom ash* mempunyai karakteristik fisik berwarna abu – abu gelap, berbentuk butiran, berporos, mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil. Terdapat dua kategori *bottom ash* berdasarkan jenis tungku pembakarannya, yaitu *dry bottom boiler* menghasilkan *dry bottom ash* dan *slag-tap boiler* menghasilkan *wet bottom ash* (Lincoln, 2017).

*Bottom ash* mempunyai butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. Partikel *bottom ash* mempunyai batasan ukuran dari kerikil sampai pasir. *Bottom ash* merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda dan lebih mendekati ukuran pasir. *Bottom ash* yang berasal dari pabrik tekstil di Karangwuni, Klaten memiliki komposisi kandungan kimiawi  $SiO_2$  sebesar 30,877%,  $Fe$  5,63%,  $Al$  12,77%,  $Mg$  0,073%, dan  $CaO$  6,203% (Dewi, 2018).

Sifat fisik *bottom ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 2.2. Serta pada tabel 2.3 ditunjukkan nilai perbandingan komposisi kimiawi *bottom ash* dari beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 2.2. Sifat Fisik dari *Dry* dan *Wet Bottom Ash* (Indriani, dkk, 2003)

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	<i>Wet</i>	<i>Dry</i>
Bentuk	Angular/bersiku	Berbutir Kecil
Warna Hitam	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, Sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1,5 s/d in (100%)
	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40 ( $\leq 10\%$ )	No.10 (10-60%)
	No.200 ( $\leq 5\%$ )	No.40 (0-10%)
<i>Spesific gravity</i>	2,3-2,9	2,1 -2,7
<i>Dry unit weight</i>	960-1140 kg/m	720-1600 kg/m
Penyerapan	0,3-1,1%	0,8-2,0%

Tabel 2.3. Perbandingan Komposisi Kimiawi *Bottom Ash* (%)

Komposisi Kimia	Muhardi, dkk., 2016	Faridah, 2012	Christian, dkk., 2016	Dewi, 2018
SiO <sub>2</sub>	58,79	24,10	34,39	30,877
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,33	6,8	10,02	5,63
Mg	-	-	9,7	0,073
CaO	3,17	26,30	18,41	6,203
Fe	9,78	33,59	21,16	12,77

b. Fly Ash

*Fly Ash* diperoleh dari hasil residu PLTU. Material ini berupa butiran halus ringan, bundar, tidak porous, mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Menurut

PP No. 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah *fly ash* dapat mengakibatkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan karena polusi udara yang disebabkan untuk lingkungan di sekitarnya. Oleh sebab itu diupayakan agar limbah *fly ash* dapat menjadi bahan yang dapat digunakan kembali, salah satu bentuk pemanfaatannya adalah sebagai bahan *filler* pada campuran beton.

Menurut ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3, *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis seperti yang dijelaskan dibawah ini.

A. Kelas C

*Fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

Kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 50\%$

Kadar  $\text{CaO} \geq 10\%$

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat binder.

B. Kelas F

*Fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara.

Kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70\%$

Kadar  $\text{CaO} < 5\%$

C. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz*, *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, yang mana bisa diproses melalui pembakaran atau tanpa melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

*Fly ash* pada penggunaannya sebagai bahan pozzolanik pada beton juga memiliki beberapa kelebihan, seperti:

- a. pada beton segar dapat memperbaiki sifat pengerjaan, mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi, mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi, dan mengurangi jumlah air campuran,
- b. pada beton keras dapat meningkatkan kerapatan pada beton, menambah daya tahan beton terhadap serangan agresif (sulfat), serta meningkatkan kekuatan beton pada jangka panjang.

Selain itu, *fly ash* juga mempunyai beberapa kekurangan seperti:

- a. pemakaian *fly ash* kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena proses pengerasan dan penambahan kekuatan beton agak lambat disebabkan oleh reaksi pozzolan yang terjadi,
- b. pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu abu terbang sangat tergantung pada proses (suhu pembakaran) serta jenis abu batubaranya .

### **2.3 Viscocrete 1003**

Menurut PT. Sika Indonesia (2013), produk Sika Viscocrete 1003 adalah *superplasticizer* untuk beton dan mortar berbasis *polycarboxylate* generasi ketiga. Sika Viscocrete 1003 secara khusus dikembangkan untuk produksi beton dengan kemudahan mengalir dan sifat mengalir yang tahan lama serta mengurangi segregasi dan *bleeding* secara signifikan. Sika Viscocrete 1003 digunakan untuk beberapa jenis beton yaitu:

1. *Self-Compacting Concrete*,
2. beton dengan sifat mengalir tinggi,
3. beton dengan pengurangan air yang sangat tinggi (hingga 30%),
4. beton mutu tinggi.

### **2.4 Penelitian-penelitian Terdahulu**

Penelitian terkait limbah *bottom ash* sudah dilakukan sebelumnya di Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pada penelitian ini, *bottom ash* dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus (pasir) dengan masing-masing variasi *bottom ash* yaitu 0%,10%,20%,30%, dan 40% dari volume agregat halus. Limbah *bottom ash* *bottom ash* yang berasal dari PT. Innagroup Textile Manufacture, Karangwuni, Klaten ini terlebih dahulu ayak lolos saringan no.4 dan tertahan saringan no.200. Kuat tekan rencana yang digunakan yaitu 25 MPa dengan perancangan campuran adukan beton mengacu pada metode SNI 03-2834-2000. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton pada usia 7, 14, dan 28 hari serta nilai modulus elastisitas beton pada umur beton 28 hari. Benda uji

menggunakan silinder dengan ukuran diameter 150mm dan tinggi 300mm sebanyak 9 sampel dalam sekali adukan beton. Dari hasil pembuatan benda uji diketahui penambahan *bottom ash* menyebabkan nilai *slump* mengalami perubahan dikarenakan *bottom ash* mempunyai penyerapan air yang cukup besar. Berdasarkan hasil pengujian, beton yang menggunakan substitusi *bottom ash* menunjukkan penurunan berat volume seiring bertambahnya persentase substitusi *bottom ash*. Kuat tekan beton rata-rata menurun seiring bertambahnya persentase substitusi *bottom ash*. Kuat desak tertinggi dengan penambahan *bottom ash* sebanyak 10% pada umur 28 hari yaitu 23,97 MPa, mendekati kuat desak normal (24,74MPa). Kenaikan yang paling signifikan terjadi pada beton dengan penambahan *bottom ash* sebanyak 20% pada umur 14 hari yaitu 17,15 MPa kemudian diumur 28 hari kuat tekannya bertambah menjadi 22,67 MPa. Pergantian agregat halus dengan *bottom ash* sebesar 10% dan 20% menghasilkan nilai kuat desak yang diharapkan dan hampir setara dengan kuat desak beton normal. Dari penelitian tersebut pula didapatkan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada beton dengan penambahan *bottom ash* sebanyak 30% dengan nilai sebesar 23270 MPa (Dewi, 2018).

Kusdiyono dkk (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *fly ash* dan *bottom ash* pada pembuatan beton mutu  $f'c$  20 MPa. Komposisi penambahan *fly ash* dan *bottom ash* masing-masing benda uji pada penelitian ini adalah setiap 2,5% mulai dari 2,5% sampai dengan 20%. Acuan dalam pembuatan analisa rencana acuan (*mix design*) penelitian ini berdasarkan SNI 03-2834-1993. Pada pengujian beton ini dibuat 9 variasi yaitu beton normal (tanpa campuran *fly ash* dan *bottom ash*), beton dengan campuran tanpa campuran *fly ash* dan *bottom*

*ash* mulai persentase 2,5%, 5%, 7.5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20%, dengan ukuran silinder diameter 150mm dan tinggi 300mm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari dengan mesin tekan pada kecepatan 2-4 kg/cm<sup>2</sup> per detik. Acuan dalam pengujian material penelitian ini menggunakan acuan standar uji Standar Nasional Indonesia (SNI) atau ASTM, AASHTO, dan BS (jika salah satu diantara metode uji tidak terdapat didalam SNI). Kusdiyono dkk membuat sampel beton normal (adukan beton tanpa penambahan *bottom ash* dan *fly ash*) dengan tujuan beton normal ini nantinya dijadikan pembanding atau acuan nilai kuat tekan beton normal dengan beton dengan penambahan campuran *bottom ash* dan *fly ash* setiap beda 2,5%. Hasil dari penelitian Kusdiyono dkk menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tekan rata – rata pada penambahan setiap 2,5% , mulai dari 10% sampai dengan 17,5%. Kuat tekan tertinggi pada umur 3 hari sebesar 36,09 N/mm<sup>2</sup> dengan kandungan kadar *fly ash* dan *bottom ash* 12,5%. Model atau jenis terbaik adalah pada kadar *fly ash* dan *bottom ash* 10% dan 17,5% dengan kuat tekan rata – rata yang dicapai antara 31,79 s.d 34,04 N/mm<sup>2</sup> .

Penelitian mengenai limbah *fly ash* dan *bottom ash* untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan penyerapan air (*absorpsi*). Pada pengujian ini beton diberikan bahan tambah yaitu *superplasticizer* yang digunakan dari produk viscocrete 3115 N dari Sika sebesar 1,5% dari berat semen. Proporsi *fly ash* yang digunakan adalah 5%, 10%, dan 15% dari berat semen serta proporsi *bottom ash* yang digunakan sebesar 5%, 10% dan 15% dari berat agregat halus. Mutu rencana yang digunakan adalah 40 MPa. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan hasil kuat tekan beton tertinggi pada variasi *fly ash* 15% dan *bottom ash* 15% yaitu

sebesar 50,41 MPa (kenaikan 26,025 % dari mutu rencana). Serta kuat tarik belah tertinggi didapat pada variasi campuran *fly ash* 15% dan *bottom ash* 15% sebesar 4,44 MPa. (Yongko dkk, 2017).

Penelitian tentang limbah *fly ash* terhadap beton mutu tinggi yang dilakukan di Universitas Gunadarma dengan komposisi *fly ash* sebanyak 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari berat semen. Diberikan bahan tambah *superplasticizer* dari *Sika Viscocrete- 10* sebanyak 1% serta faktor air semen ditentukan sama pada semua variasi campuran dengan kuat tekan rencana 40 MPa pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari sebanyak 60 sampel. Dari hasil pengujian tersebut di dapat kuat tekan beton optimum rata – rata pada umur 28 hari sebesar 41,57 MPa pada campuran beton dengan *fly ash* 10%. (Mardiono, 2010).

Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh Yahya dkk (2017) yaitu untuk mengetahui pengaruh kombinasi abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) sebagai bahan substitusi pada campuran adukan beton terhadap sikap mekanik beton yaitu *workability*, kuat tekan, *absorpsi*, porositas, *permeabilitas*, susut dan waktu ikat semen. Penelitian ini menguji perbandingan kuat tekan dari beton normal yang tidak di tambahkan bahan campuran *fly ash* dan *bottom ash* dengan beton yang ditambahkan campuran *fly ash* dan *bottom ash* masing – masing sebesar 15% dari berat pasir dan berat semen Acuan yang digunakan dalam perencanaan campuran (*mix design*) dipenelitian ini yaitu menggunakan metode ACI 211 1-9 dengan mutu rencana K-250. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran sisi 15cm (untuk pengujian kuat tekan, *absorpsi*, *porositas*, dan *permeabilitas*). Selain itu untuk pengujian susut beton, benda uji berbentuk



silinder dengan ukuran diameter 15cm dan tinggi 30cm. Pengujian dilakukan pada umur beton 7,28, dan 91 hari dengan hasil penelitian terhadap kuat tekan rata-rata pada benda uji dengan penambahan *fly ash* dan *bottom ash* mempunyai nilai kuat tekan yang lebih kecil dibandingkan kuat tekan beton norma. Hasil pengujian beton variasi cenderung mengurangi tingkat *workability*.

