

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Nawy (1985:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Dengan demikian, masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan (Mulyono, 2005).

Menurut SNI 03-2834-2000, beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

Pada beton yang baik, setiap butir agregat seluruhnya terbungkus dengan mortar. Demikian pula halnya dengan ruang antar agregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas pasta atau mortar menentukan kualitas beton. Semen adalah unsur kunci dalam beton, meskipun jumlahnya hanya 7-15% dari campuran. Beton dengan jumlah semen yang sedikit (sampai 7%) disebut beton kurus (*lean concrete*), sedangkan beton dengan jumlah semen yang banyak (sampai 15%) disebut beton gemuk (*rich concrete*) (Paul Nugraha, Antoni, 2007).

Dari pemakaiannya yang begitu luas maka dapat diduga sejak dini bahwa struktur beton mempunyai banyak keunggulan dibanding materi struktur yang lain. Secara lebih rinci sifatnya demikian (Paul Nugraha, Antoni, 2007) :

- a. Ketersediaan (*availability*) material dasar
 1. Agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari lokal setempat. Semen pada umumnya juga dapat dibuat didaerah setempat, bila tersedia. Dengan demikian, biaya pembuatan relatif lebih murah karena semua bahan bisa didapat di dalam negeri, bahkan bisa

setempat. Bahan termahal adalah semen, yang bisa diproduksi di dalam negeri.

2. Tidak demikian halnya dengan struktur baja, karena harus dibuat di pabrik, apalagi kalau masih harus impor. Pengangkutan menjadi masalah tersendiri bila proyek berada di tempat yang sulit untuk dijangkau, sementara beton akan lebih mudah karena masing-masing material bisa diangkut sendiri.
 3. Ada masalah lain dengan struktur kayu. Meski problemnya tidak seberat struktur baja, namun penggunaannya secara massal akan menyebabkan masalah lingkungan, sebagai salah satu penyebab utama kerusakan hutan.
- b. Kemudahan untuk digunakan (*versatility*).
1. Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah.
 2. Beton bisa dipakai untuk berbagai struktur, seperti bendungan, fondasi, jalan, landasan bandar udara, pipa, perlindungan dari radiasi, insulator panas. Beton ringan bisa dipakai untuk blok dan panel. Beton arsitektural bisa untuk keperluan dekoratif.
 3. Beton bertulang bisa dipakai untuk berbagai struktur yang lebih berat, seperti jembatan, gedung, tandon air, bangunan maritim, instalasi militer dengan beban kejut besar, landasan pacu pesawat terbang, kapal dan sebagainya.
- c. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*).
1. Beton bersifat monolit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
 2. Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun, misalnya pada struktur cangkang (*shell*) maupun bentuk-bentuk khusus 3 dimensi.
 3. Beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar. Dari cara sederhana yang tidak memerlukan ahli khusus (kecuali beberapa pengawas yang sudah mempelajari teknologi beton),

sampai pada alat modern di pabrik yang serba otomatis dan terkomputerisasi. Metode produksi modern memungkinkan industri beton yang profesional.

4. Konsumsi energi minimal per kapasitas jauh lebih rendah dari baja, bahkan lebih rendah dari proses pembuatan batu bata.
- d. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal.

Secara umum ketahanan (*durability*) beton cukup tinggi, lebih tahan karat, sehingga tidak perlu dicat seperti struktur baja, dan lebih tahan terhadap bahaya kebakaran.

Disamping segala keunggulan diatas, beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan.

- a. Berat sendiri beton yang besar, sekitar 2400 kg/m^3 .
- b. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
- c. Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis. Baja tulangan bisa berkarat, meskipun tidak terekspose separah struktur baja
- d. Kualitasnya sangat tergantung cara pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun yang buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
- e. Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur-ulang sulit dan tidak ekonomis. Dalam hal ini struktur baja lebih unggul, misalnya tinggal melepas sambungannya saja.

Meskipun demikian beberapa kelemahan beton tersebut diatas dapat diatasi dengan berbagai cara, yaitu :

- a. Untuk elemen struktural : membuat beton mutu tinggi, beton pratekan, atau keduanya, sedangkan untuk elemen non-struktural dapat memakai beton ringan.
- b. Memakai beton bertulang atau beton pratekan.
- c. Melakukan perawatan (*curing*) yang baik untuk mencegah terjadinya retak, memakai beton pratekan, atau memakai bahan tambahan yang mengembang (*expansive admixtures*).

- d. Mempelajari teknologi beton dan melakukan pengawasan dan kontrol kualitas yang baik. Bila perlu bisa memakai beton jadi (*ready mix*) atau beton pracetak.
- e. Beberapa elemen struktur dibuat pracetak (*precast*) sehingga dapat dilepas per elemen seperti baja. Kemungkinan untuk melakukan beton recycle sedang dioptimalkan.

Pada umumnya beton sering digunakan sebagai struktur dalam konstruksi suatu bangunan. Dalam teknik sipil, beton digunakan untuk bangunan fondasi, kolom, balok dan pelat. Menurut Mulyono (2005), terdapat beberapa jenis beton yang dipakai dalam konstruksi suatu bangunan yaitu sebagai berikut ini:

- 1) Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal. Yang mempunyai berat satuan $2.200 \text{ kg/m}^3 - 2.500 \text{ kg/m}^3$.
- 2) Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja secara bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
- 3) Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tulangan yang dicetak di tempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur.
- 4) Beton pratekan adalah beton dimana telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.
- 5) Beton ringan adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m^3 kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural.

Klasifikasi mutu beton dan penggunaannya menurut Departemen PU Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Mutu Beton dan Penggunaannya

Jenis Beton	f_c' (MPa)	σ_{bk}' (Kg/cm ²)	Uraian
Mutu tinggi	35 – 65	K400 – K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu sedang	20 – < 35	K250 – <K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu rendah	15 – <20	K175 – <K250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10 – <15	K125 – <K175	digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

(Sumber:Departemen PU Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 – 2005)

2.2 Material Penyusun Pada Campuran Beton

2.2.1 Semen

Karena beton terbuat dari agregat yang diikat bersama oleh pasta semen yang mengeras maka kualitas semen sangat memengaruhi kualitas beton. Pasta semen adalah lem, yang bila semakin tebal tentu semakin kuat. Namun jika terlalu tebal juga tidak menjamin lekatan yang baik (Paul Nugraha, Antoni, 2007).

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan (Mulyono, 2005).

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu (Mulyono,2005) :

1) Semen non-hidrolik

Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur.

2) Semen hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik antara lain kapur hidrolik, semen pozzolan, semen terak, semen alam, semen portland, semen portland-pozzolan, semen portland terak tanur tinggi, semen alumina dan semen expansif. Contoh lainnya adalah semen portland putih, semen warna, dan semen-semen untuk keperluan khusus.

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150,1985, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (Mulyono,2005). Berat jenis yang dihasilkan berkisar antara 3,12 dan 3,16 dan berat volume sekitar 1500 kg/cm^3 (Nawy, 1985:9).

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting (Mulyono,2005).

Peraturan Beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989) dalam ulasannya di halaman I, membagi semen portland menjadi lima jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu :

- 1) Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- 2) Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

- 3) Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- 5) Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

2.2.2 Agregat

Agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerajakan (workable), kuat tahan lama (durable) dan ekonomis (Paul Nugraha & Antoni, 2007). Berdasarkan ukuran butir nominal, agregat terbagi menjadi dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar.

A. Agregat Halus

Agregat halus ialah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,8 mm (SII.0052,1980) atau 4,75 mm (ASTM C33,1982) atau 5,0 mm (BS.812,1976). Agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton sehingga dapat meningkatkan kekuatan, mengurangi penyusutan dan mengurangi pemakaian bahan pengikat/ semen. Pasir adalah salah satu dari bahan campuran beton yang diklasifikasikan sebagai agregat halus dimana agregat halus adalah butiran yang lolos no.8 dan tertahan pada saringan no.200.

Syarat mutu agregat halus menurut SII.0052-80 yaitu :

- (1) Modulus halus butir 1,5 sampai 3,8.
- (2) Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5%.
- (3) Kadar zat organik yang terkandung yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3% jika dibandingkan dengan warna standar/pembanding tidak lebih tua dari pada warna standar.

- (4) Kekerasan butiran jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka tidak lebih dari 2,20.
- (5) Kekekalan (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika di pakai magnesium sulfat, maksimum 15%).

Gradasi yang baik dan teratur dari agregat halus, besar kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi gap atau seragam. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada suatu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Batas gradasi agregat halus menurut British Standar sebagai berikut:

Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Halus (BS)

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber: Tri Mulyono, 2005)

B. Agregat Kasar

Agregat halus ialah agregat yang semua butirnya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (SII.0052,1980) atau 4,75 mm (ASTM C33,1982) atau 5,0 mm (BS.812,1976).

Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi (SNI 2847-2013) :

- (a) $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi cetakan, ataupun
- (b) $\frac{1}{3}$ ketebalan slab, ataupun
- (c) $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara tulangan atau kawat, bundel tulangan atau tendon prategang, atau selongsong.

Syarat mutu agregat kasar menurut SII.0052-80 yaitu :

1. Modulus halus butir 6,0 sampai 7,1.
2. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 1%.
3. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
4. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%.
5. Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alkali dalam semen sebagai Na_2O lebih besar dari 0,6%.
6. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%

Berikut ini syarat gradasi agregat menurut SNI 03-2834-2000 :

Tabel 2.3 Persyaratan Batas-batas Susunan Besar Butir Agregat Kasar (Kerikil atau Koral)

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38-4,76	19,0-4,76	9,6-4,76
38,1	95-100	100	
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2.2.3 Air

Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (*workable*). Jumlah air yang terikat dalam beton dengan faktor air-semen 0,65 adalah sekitar 20% dari berat semen pada umur 4 minggu. Dihitung dari komposisi mineral semen, jumlah air yang diperlukan untuk hidrasi secara teoritis adalah 35-37% dari berat semen (Paul Nugraha & Antoni, 2007).

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garam dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20%. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra-tegang ataupun beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung asam alkali juga tidak boleh digunakan (Mulyono, 2005).

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum (Mulyono, 2005).

Air adalah alat untuk mendapatkan kelecakan yang perlu untuk penuangan beton. Jumlah air yang diperlukan untuk kelecakan tertentu tergantung pada sifat material yang digunakan. Air yang diperlukan dipengaruhi faktor-faktor dibawah ini (Paul Nugraha & Antoni, 2007) :

- a. Ukuran agregat maksimum : diameter membesar → kebutuhan air menurun (begitu pula jumlah mortar yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit).
- b. Bentuk butir: bentuk bulat → kebutuhan air menurun (batu pecah perlu lebih banyak air).

- c. Gradasi agregat: gradasi baik → kebutuhan air menurun untuk kelecakan yang sama.
- d. Kotoran dalam agregat: makin banyak silt, tanah liat dan lumpur → kebutuhan air meningkat.
- e. Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar, atau h/k): agregat halus lebih sedikit → kebutuhan air menurun.

Air yang mengandung kotoran yang cukup banyak akan mengganggu proses pengerasan atau ketahanan beton. Kotoran secara umum bisa menyebabkan (Paul Nugraha & Antoni, 2007) :

- a. Gangguan pada hidrasi dan pengikatan.
- b. Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.
- c. Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan.
- d. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
- e. Bercak-bercak pada permukaan beton.

2.3 Bahan Tambah

Admixture adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya.

Admixture atau bahan tambah didefinisikan dalam Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates (ASTM C.125-1995:61) dan dalam Cement and Concrete Terminology (ACI SP-19) sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan

Berdasarkan standar ASTM C494 (2005), bahan tambah kimia dibagi menjadi tujuh tipe bahan tambah. Dibawah ini merupakan tujuh tipe bahan tambah kimia serta fungsi penggunaannya, yaitu sebagai berikut :

1. Tipe A, *water-reducing admixture* merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk mengurangi kandungan air dalam campuran beton.

2. Tipe B, *retarding admixture* merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk menghambat waktu ikat beton.
3. Tipe C, *accelerating admixture* merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk mempercepat waktu ikat beton dan meningkatkan kekuatan awal beton.
4. Tipe D, *water-reducing and retarding admixture* merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi ganda yaitu untuk mengurangi kandungan air dalam campuran beton dan menghambat waktu ikat beton.
5. Tipe E, *water-reducing and accelerating admixture* merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi ganda yaitu untuk mengurangi kandungan air dalam campuran beton, mempercepat waktu ikat, dan meningkatkan kekuatan awal beton.
6. Tipe F, *water-reducing, high range admixture* merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk mengurangi kandungan air yang ada didalam campuran beton dengan konsistensi sebesar 12%.
7. Tipe G, *water-reducing, high range and retarding admixture* merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk mengurangi kandungan air yang ada didalam campuran beton dengan konsistensi sebesar 12% atau lebih dan menghambat waktu ikat beton.

2.3.1 Abu sekam padi

Padi merupakan salah satu hasil bumi yang manfaatnya sepertinya memiliki kontribusi yang paling besar bagi kehidupan manusia, karena padi merupakan penghasil beras yang merupakan salah satu jenis bahan makanan pokok yang dikonsumsi oleh manusia, terutama di Indonesia. Sekam merupakan salah satu jenis limbah dari padi yang banyak dimanfaatkan oleh banyak orang, terutama mereka yang banyak tinggal di pedesaan dan juga dekat daerah lumbung padi.

Sekam padi memiliki banyak manfaat, salah satunya adalah sebagai bahan utama untuk campuran beton. Abu sekam padi sering dimanfaatkan untuk menjadi salah satu campuran dari pembuatan beton karena mengandung silika yang cukup

tinggi. Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50 % selulosa, 25 – 30 % lignin, dan 15 – 20 % silika (Ismail and Waliuddin, 1996).

Sekam padi saat ini telah dikembangkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu yang dikenal di dunia sebagai RHA (rice husk ash). Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada suhu 400° – 500° C akan menjadi silika amorphous dan pada suhu lebih besar dari 1.000° C akan menjadi silika kristalin. Abu sekam padi memiliki aktivitas pozzolanic yang sangat tinggi sehingga lebih unggul dari SCM lainnya seperti fly ash, slag, dan silica fume. Beberapa hasil ikutan industri dan pertanian seperti slag, fly ash, dan rice husk ash (abu sekam padi) ternyata merupakan polutan potensial yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi atau bahan tambahan semen. Penggunaan bahan pengganti sebagian semen (SCM) melalui komposisi campuran yang inovatif akan mengurangi jumlah semen yang digunakan sehingga secara ekologis dapat mengurangi emisi gas-gas rumah kaca dan penggunaan konsumsi energi fosil bumi pada industri semen. Penggunaan abu sekam padi dengan kombinasi campuran yang sesuai pada semen akan menghasilkan semen yang lebih baik (Singh et al., 2002).

Abu sekam padi telah digunakan sebagai bahan pozzolan reaktif yang sangat tinggi untuk meningkatkan mikrostruktur pada daerah transisi interfase antara pasta semen dan agregat beton yang memiliki kekuatan tinggi. Penggunaan abu sekam padi pada komposit semen dapat memberikan beberapa keuntungan seperti meningkatkan kekuatan dan ketahanan, mengurangi biaya bahan, mengurangi dampak lingkungan limbah bahan, dan mengurangi emisi karbon dioksida (Bui et al., 2005).

2.3.2 Superplasticizer

Superplasticizer (high range water reducer admixtures) sangat meningkatkan kelecakan campuran. Campuran dengan *slump* sebesar 7,5 cm akan

menjadi 20 cm. Digunakan terutama untuk beton mutu tinggi, karena dapat mengurangi air sampai 30%.

Pada prinsipnya mekanisme kerja dari setiap *superplasticizer* sama, yaitu dengan menghasilkan gaya tolak-menolak (*dispersion*) yang cukup antarpartikel semen agar tidak terjadi penggumpalan partikel semen (*flocculate*) yang dapat menyebabkan terjadinya rongga udara didalam beton, yang akhirnya akan mengurangi kekuatana atau mutu beton tersebut.

Saat ini pengembangan terbaru dari *superplasticizer* yang berbahan dasar *polycarboxylate* telah secara luas digunakan untuk beton mutu tinggi dan *self compacting concrete*. Sekalipun memiliki *flowability* yang tinggi, *self compacting concrete* tidak menunjukkan adanya segregasi diantara agregat dan mortar, sehingga *self compacting concrete* dapat menjangkau setiap sudut cetakan (Paul Nugraha & Antoni, 2007).

Kegunaan dari *superplasticizer* adalah sebagai berikut :

- a. Meningkatkan *workability* sehingga menjadi lebih besar daripada *water reducer* biasa
- b. Mengurangi kebutuhan air (25- 35%)
- c. Memudahkan pembuatan beton yang sangat cair. Memungkinkan penuangan pada tulangan yang rapat atau pada bagian yang sulit dijangkau oleh pepadatan yang memadai
- d. Karena tidak terpengaruh oleh perawatan, yang dipercepat, dapat membantu mempercepat pelepasan kabel prategang dan acuan
- e. Dapat membantu penuangan dalam air karena gangguan menyebarnya beton dihindari

Adapun kelemahan dari pemakaian *superplasticizer* adalah sebagai berikut

:

- a. *Slump loss* perlu lebih diperhatikan untuk tipe *naphthalene*; dipengaruhi oleh temperatur dan kompatibilitas antara merek semen dan *superplasticizer*
- b. Kadar udara hanya 1,2-2,7%, bahkan tanpa pepadatan apapun.

- c. Ada risiko pemisahan (segregasi) dan pendarahan (*bleeding*) jika *mix design* tidak dikontrol dengan baik.
- d. Harga relatif mahal.

Salah satu jenis *superplasticizer* yang digunakan untuk campuran beton pada penelitian ini adalah *sika viscocrete-50* (sika lebanon). *Sika Viscocrete-50* adalah *super-plasticiser* generasi ketiga untuk beton dan mortar. Ini memenuhi persyaratan untuk *super-plasticisers* pereduksi air tingkat tinggi menurut EN 934-2.

Sika Viscocrete-50 sangat cocok untuk produksi campuran beton yang membutuhkan pengembangan kekuatan awal yang sangat tinggi, pengurangan air yang kuat dan peningkatan kemampuan aliran. *Sika Viscocrete-50* terutama digunakan untuk aplikasi berikut:

- Pracetak beton
- Beton jalur cepat
- Beton in situ membutuhkan waktu pembongkaran yang cepat
- *Self Compacting Concrete (SCC)*

Sika Viscocrete-50 sebagai *super-plasticiser* yang kuat bertindak melalui beberapa perbedaan mekanisme termasuk adsorpsi permukaan dan efek sterikal yang memisahkan binder partikel. Keuntungan dari penggunaan *sika viscocrete-50* ini adalah :

- Dinyatakan bahwa dalam peningkatan pengembangan kekuatan awal, menghasilkan waktu yang sangat ekonomis untuk beton pra-cetak dan in situ.
- Pengurangan air yang sangat kuat, menghasilkan kepadatan tinggi, kekuatan tinggi dan mengurangi permeabilitas untuk air dll.
- Efek *plasticising* yang unggul, menghasilkan peningkatan kemampuan aliran, penempatan dan perilaku pemadatan.
- Mengurangi biaya energi untuk elemen pracetak yang disembuhkan dengan uap
- Sangat cocok untuk produksi *Self Compacting Concrete (SCC)*
- Peningkatan penyusutan dan perilaku rayap

- Mengurangi waktu penutupan untuk perbaikan jalan dan landasan pacu.

Dosis *superplasticizer* ini adalah 0,2% - 2,0% berat semen. Untuk kemampuan kerja sedang: 0,2 - 0,6% dari berat semen. Untuk beton dengan kemampuan kerja tinggi: 1,0 - 2,0% dari berat semen.

2.4 *Slump* Beton

Slump beton ialah besaran kekentalan (*viscosity*) atau plastisitas dan kohesif dari beton segar. *Workability* beton segar pada umumnya diasosiasikan dengan :

1. Homogenitas atau kerataan campuran adukan beton segar (*homogeneity*).
2. Kelekatan adukan pasta (*cohesiveness*).
3. Kemampuan alir beton segar (*flowability*).
4. Kemampuan beton segar mempertahankan kerataan dan kelekatan jika dipindah dengan alat angkut (*mobility*).
5. Mengindikasikan apakah beton segar masih dalam kondisi plastis (*plasticity*).

Slump beton segar harus dilakukan sebelum beton dituangkan dan jika terlihat indikasi plastisitas beton segar telah menurun cukup banyak, untuk melihat apakah beton segar masih layak dipakai atau tidak. Pengukuran *slump* dilakukan dengan mengacu pada aturan yang ditetapkan dalam 2 peraturan standar yaitu PBI 1971 NI 2 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia) dan SNI 1972-2008 (Cara Uji *Slump* Beton).

2.5 Faktor Air Semen

Jumlah air untuk campuran beton pada umumnya dihitung berdasarkan nilai perbandingan antara berat air dan berat semen Portland pada campuran adukan, dan pada Peraturan Beton Indonesia (PBI-1971) dikenal dengan istilah faktor air semen yang disingkat dengan fas, sedangkan peraturan pengganti (SNI 03-2847-2002) disebut rasio air semen yang disingkat dengan ras, atau *water cement ratio* (w/c).

Pada umumnya makin besar nilai fas, makin besar pula jumlah air yang digunakan pada campuran beton, berarti adukan beton makin encer dan mutu beton akan makin turun/rendah, sebaliknya makin kecil nilai fas, makin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan.

2.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004). Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c') yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

Rumus yang digunakan pada persamaan (2.1) untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut (Antono,1995):

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

dimana :

f_c' = Kuat Tekan (MPa)

P = Beban Tekan (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm^2)

Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo, 1996). Oleh karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah:

- a. Permukaan dan bentuk agregat.

- b. Gradasi agregat.
- c. Ukuran maksimum agregat

2.7 Umur Beton

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Untuk struktur yang menghendaki awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I.

Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya (Mulyono, 2005). Sedangkan menurut Tjokrodinuljo (2007), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari. Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen portland, suhu keliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton. Hubungan antara umur dan kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan Beton

Umur beton	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0.4	0.65	0.88	0.95	1	1.2	1.35
Semen portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0.55	0.75	0.9	0.95	1	1.15	1.2

(Sumber : PBI 1971, NI-2, dalam Tjokrodinuljo, 2007)

2.8 Perawatan Beton (*Curing*)

Curing adalah perlakuan atau perawatan terhadap beton selama masa pembekuan. Pengukuran curing diperlukan untuk menjaga kondisi kelembaban dan suhu yang diinginkan pada beton, karena suhu dan kelembaban didalam secara langsung berpengaruh terhadap sifat-sifat beton.

Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai final setting, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dari beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat. (PB,1989:29).

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton; kekedapan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur (Mulyono, 2005).

2.9 Prosedur Pengujian di Laboratorium

2.9.1 Pengujian Analisa Saringan dan Berat Jenis Agregat

Dalam pengujian ini terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja sesuai dengan acuan yang dipakai, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai yang sebenarnya. Adapun pengujian ini meliputi sebagai berikut:

A. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Analisa saringan agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari set saringan kemudian angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir, dimana acuan normatif yang digunakan untuk penelitian analisa saringan ini adalah SNI 03-1968-1990.

MHB merupakan indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran suatu butir-butir agregat, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui besar kecil diameter suatu agregat yang dipakai untuk mencari perbandingan dari

campuran agregat karena ukuran agregat juga mempengaruhi kekuatan beton. Makin besar nilai MHB suatu agregat maka semakin besar butir agregatnya. Umumnya agregat halus mempunyai nilai MHB sekitar 1,50-3,8. Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus dengan persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah\% Kumulatif Agregat Tertahan}}{100} \dots\dots\dots (2.2)$$

B. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Analisa saringan agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari set saringan kemudian angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir, dimana acuan normatif yang digunakan untuk penelitian analisa saringan ini adalah SNI 03-1968-1990.

Agregat kasar merupakan kerikil atau batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5 mm – 20 mm. Agregat kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (SII.0052, 1980) atau 4,75 mm (ASTM C33, 1995) atau 5 mm (BS.812, 1976).

MHB agregat kasar didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dan butir agregat yang tertinggal di satu set ayakan (38 mm; 19 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,8 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,60 mm; 0,30 mm; 0,15 mm; 0,075 mm; dan pan) kemudian dibagi 100 %. Umumnya agregat kasar memiliki MHB sekitar 5,0 – 8,0. Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah\% Kumulatif Agregat Tertahan}}{100} \dots\dots\dots (2.3)$$

C. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama dan pada suhu yang sama pula. Sedangkan penyerapan adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh permukaan kering (SSD = Saturated Surface Dry). SSD didapatkan

dari perendapan selama (24 ± 4) jam, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel pada suatu temperatur tertentu terhadap berat udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu.

Penyerapan air adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Standar laboratorium untuk penyerapan akan diperoleh setelah merendam agregat yang kering kedalam air selama (24 ± 4) jam. Agregat yang diambil dari bawah muka air tanah akan memiliki nilai penyerapan yang lebih besar bila tidak dibiarkan mengering. Sebaliknya, beberapa jenis agregat mungkin saja mengandung kadar air yang lebih kecil bila dibandingkan dengan pada kondisi terendam selama 15 jam.

Berat jenis dan penyerapan agregat halus menggunakan standar SNI 03-1970-1990. Persyaratan berat jenis minimum sebesar 2,5 dan penyerapan agregat kasar 3%. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

1. Berat Jenis Kering (*Bulk Dry Specific Gravity*)

$$= \frac{B_2}{(B_3 + 500) - B_1} \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan/SSD (*Bulk SSD specific gravity*)

$$= \frac{500}{(B_3 + 500) - B_1} \dots\dots\dots(2.5)$$

3. Penyerapan

$$= \frac{500 - B_2}{B_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

$$B_1 = \text{Berat piknometer} + \text{Air} + \text{Benda Uji}$$

$$B_2 = \text{Berat Uji Kering Oven}$$

$$B_3 = \text{Berat piknometer} + \text{Air}$$

D. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Berdasarkan ASTM C-128 dalam agregat untuk beton yaitu 1,60-3,30, sedangkan untuk penyerapan maksimal yaitu 10%. Berat jenis SSD adalah berat dalam keadaan agregat yang mempunyai permukaan kering udara, tetapi jenuh

air. Berat jenis kering adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

1. Berat Jenis Kering (*Bulk Dry Specific Gravity*)

$$= \frac{Bk}{(W_2 + Bj) - W_1} \dots\dots\dots (2.7)$$

2. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan/SSD (*Bulk SSD specific gravity*)

$$= \frac{Bj}{(W_2 + Bj) - W_1} \dots\dots\dots (2.8)$$

3. Penyerapan

$$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

Bk = Berat benda uji kering oven

Bj = Berat benda uji dalam keadaan SSD

W_1 = Berat Piknometer + Air + Benda Uji

W_2 = Berat Piknometer + Air

2.9.2 Pengujian Bobot Isi Agregat

Standar metode pengujian ini untuk menghitung berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Ukuran butir agregat kasar adalah 5mm–40mm, agregat halus terbesar 5mm. pengujian dalam kondisi padat dilakukan dengan cara tusuk. Dalam kondisi gembur dengan cara sekop atau sendok. Bobot isi kering udara agregat dihitung dalam kondisi kering oven dan kering permukaan. Pada kondisi padat dan gembur memiliki berat isi yang berbeda karena pada berat isi gembur masih terdapat rongga–rongga udara, berbeda dengan berat isi padat yang dipadatkan dengan cara ditusuk sehingga berat isi padat lebih berat daripada berat isi gembur karena berat isi padat tidak memiliki rongga udara. Berat isi pada agregat sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berat jenis, gradasi agregat, bentuk agregat, diameter maksimum

agregat. Dalam SII No. 52 – 1980, berat isi untuk agregat beton disyaratkan harus lebih dari 1.2–1,5 gr/cm³. Adapun dalam pengujian ini digunakan rumus :

a. Bobot isi gembur

$$= \frac{\text{beratsilinder} + \text{agregatgembur}}{\text{volumesilinder}} \dots\dots\dots(2.10)$$

b. Bobot isi padat

$$= \frac{\text{beratsilinder} + \text{agregatpadat}}{\text{volumesilinder}} \dots\dots\dots(2.11)$$

2.9.3 Kadar Air Agregat Halus dan Kasar

Kadar air agregat adalah perbandingan berat air yang terkandung didalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Nilai kadar air ini digunakan untuk koreksi tekanan air dalam perencanaan adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat dilapangan. Kadar air tiap agregat bergantung pada tempat agregat tersebut berada.

Kadar air agregat dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu:

- 1) Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair
- 2) Kadar air kering udara, yaitu punya kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi mengandung sedikit air dalam porinya dan masih menyerap air
- 3) Jenuh kering permukaan, yaitu dimana tidak ada air dipermukaan agregat, tetapi masih dapat menyerap air. Dalam kondisi ini air dalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton
- 4) Kondisi basah, yaitu dimana butir-butir agregat banyak mengandung air sehingga akan menyebabkan penambahan pada kadar air campuran beton. Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana :

W_1 = Berat agregat

W_2 = Berat kering oven

2.9.4 Kadar Lumpur Agregat Halus dan Kasar

Kadar lumpur merupakan banyaknya lumpur yang terkandung didalam agregat. Lumpur yang terkandung didalam agregat dapat mempengaruhi mutu beton tersebut. Lumpur yang terkandung tidak boleh terlalu banyak, ada kecenderungan meningkatnya pemakaian air dalam campuran beton jika ada bahan-bahan itu tidak dapat menyatu dengan semen sehingga menghalangi penggabungan antara semen dan agregat serta mengurangi kekuatan beton.

Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana :

W_2 = Berat kering oven

W_3 = Berat agregat setelah dicuci

2.9.5 Pengujian Kekerasan Agregat Kasar

Beton yang dibuat harus menggunakan bahan agregat normal tanpa bahan tambahan. Dengan ketentuan demikian perlu dilakukan terlebih dahulu percobaan kekerasan agregat kasar untuk mengetahui agregat tersebut bisa atau tidaknya digunakan untuk membuat beton dengan berat isi 2200 – 2500 kg/m³ (beton normal). Untuk memeriksa agregat kasar, kerikil alam dan batu pecah dilakukan sama seperti pengujian pada pasir ditambah dengan pemeriksaan kekerasan agregat kasar. Pengujian kekerasan agregat ini dihitung menggunakan rumus :

Benda uji yang lolos lubang ayakan 2,36 m

$$= \frac{A - B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana :

A = Berat Benda Uji Semula

B = Berat Agregat Tertahan Saringan 2,36 mm

2.9.6 Konsistensi Semen

Konsistensi normal adalah nilai persentase jumlah air yang dibutuhkan untuk membentuk pasta semen pada kondisi basah guna untuk menunjukkan kualitas semen portland. Metode pengujian konsistensi normal sesuai dengan standar ASTM C 187 dengan menggunakan metode coba-coba menggunakan sejumlah pasta semen yang dibuat dari 500 gram semen dengan persentase air yang berbeda.

Konsistensi normal pasta semen didapatkan ketika jarum alat vicat berdiameter 10 mm dengan penurunan 10 ± 1 mm. Air pada konsistensi normal berkisar 22% dan 28%.

2.9.7 Waktu Ikat Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Waktu pengikatan semen merupakan waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras. Dengan pembuatan pasta menggunakan campuran air dan semen dalam keadaan konsistensi. Waktu pengikatan atau pengerasan semen yang dilakukan di laboratorium untuk yang pertama selama 30 menit untuk waktu yang kedua dan sampai mengeras dengan jeda waktu 15 menit.

2.9.8 Berat Jenis Semen dan Abu Sekam Padi

Semen portland merupakan salah satu bahan hidrolis yang dibuat dari campuran bahan yang mengandung oksida utamanya: kalsium, silika, alumina, dan besi. Umumnya semen portland dibuat dalam suatu industri berteknologi modern dengan pengaturan komposisi yang akurat, sehingga terjamin mutunya. Namun demikian perbedaan pengaturan komposisi yang akurat, sehingga terjamin mutunya. Namun demikian perbedaan pengaturan komposisi dan lamanya semen portland komposit dalam penyimpanan memungkinkan terjadinya ketidakmurnian dan pengurangan mutu. Salah satu pengujian yang dapat mengindikasikan kepada hal tersebut adalah dengan pengujian berat jenisnya. Berat jenis semen portland komposit pada umumnya bernilai < 3 .

$$\text{Berat jenis semen} = \frac{\text{BeratSemen}}{(v_2 - v_1)d} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\text{Berat jenis abu sekam} = \frac{\text{BeratSemen}}{(v_2 - v_1)d} \dots\dots\dots(2.16)$$

2.10 Penelitian Terdahulu

1. Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Pada Campuran Beton *Self Compacting Concrete* (SCC) Terhadap Kuat Tekan Dan Porositas Beton

Peneliti : Dian Fathur Rahman

Penelitian ini menggunakan material abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen dengan persentase 6%, 9%, dan 12 % pada campuran beton SCC. Material yang dibutuhkan untuk membuat beton SCC adalah semen portland, pasir lumajang, agregat kasar ukuran 10 mm, air dan superplasticizer tipe F. Pengujian yang dilakukan pada campuran beton segar meliputi pengujian filling ability menggunakan slumpflow, flowability menggunakan V-funnel, passing ability menggunakan L-shape box, kuat tekan dan porositas.

Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan penambahan jumlah persentase dan dosis dari superplasticizer mempengaruhi hasil kuat tekan dan porositas. Hasil optimum dengan penggunaan abu sekam padi dan penambahan superplasticizer terdapat pada variasi 9% dengan nilai kuat tekan sebesar 25,65 MPa, sedangkan untuk nilai kuat tekan tanpa penambahan abu sekam padi sebesar 34,14 MPa. Nilai porositas mengalami kenaikan pada variasi 6% dan menurun pada variasi 9%.

2. Studi Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton

Peneliti : Samsudin dan Sugeng Dw Hartantyo

Dalam penelitian ini abu sekam padi ditambahkan ke dalam adukan beton f_c' K-175 kg/cm² dengan variasi penambahan abu sekam

0%, 8%, 10%, dan 12%, persentase berat abu sekam ini diambil berdasarkan berat semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang dicapai dari campuran abu sekam padi dalam beton K-175 kg/cm². Benda uji yang dibuat untuk masing-masing penambahan persentase abu sekam adalah sebanyak 3 sampel, dengan ukuran cetakan silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm. Berdasarkan hasil dari data, penggunaan abu sekam padi pada campuran beton dengan variasi penambahan 0%, 8%, 10% dan 12% dari berat semen berdampak terhadap penurunan nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton yang diperoleh pada umur 28 hari yaitu 11,218 MPa; 10,142 MPa; 9,527 MPa dan 8,759 MPa. Diketahui kuat tekan beton normal umur 28 hari yaitu 226,47 kg/m² dan kuat tekan terendah terdapat pada penambahan abu sekam padi 12% umur 28 hari yaitu 129,41 kg/m². Maka penelitian ini berbanding terbalik dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa semakin banyak persentase penambahan abu sekam padi maka semakin kuat pula kuat tekan beton yang dihasilkan.

3. Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Nano Dan Bahan Tambah Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton

Peneliti : Putri Ardiyati, Mira Budi Octaviani, Purwanto, Parang Sabdono

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh penggunaan material abu sekam padi nano dan bahan tambah superplasticizer terhadap kuat tekan beton. Pembuatan abu sekam padi nano menggunakan alat Planetary Ball Milling dengan lama penggilingan selama 1 jam. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan nano material abu sekam padi dan bahan tambah superplasticizer digunakan variasi persentase material nano abu sekam padi antara lain 5%, 10%, dan 15% dengan atau tanpa bahan tambah superplasticizer.

Kadar abu sekam padi nano optimum adalah pada persentase 6,54% dengan superplasticizer. Beton dengan komposisi 10% nano abu sekam padi (sebagai pengganti semen 10%) dan tambahan superplasticizer

menghasilkan kuat tekan terbesar dibandingkan dengan beton nano abu sekam padi dengan atau tanpa superplasticizer tetapi nilai kuat tekan beton tersebut masih tidak dapat melampaui kuat tekan beton normal.

Campuran beton dengan tambahan superplasticizer memiliki nilai slump yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beton tanpa superplasticizer sehingga dapat dikatakan dengan kehadiran superplasticizer menghasilkan campuran beton dengan wokrabilitas yang lebih baik.

Komposisi beton dengan cara mereduksi semen 10% dan menggantikannya dengan nano abu sekam padi 10% dan tambahan superplasticizer dapat digunakan sebagai alternatif komposisi pembuatan beton. Walaupun hasil kuat tekan beton tersebut menurun 5,04% dari kuat tekan beton normal, tetapi komposisi tersebut dapat mereduksi semen sebesar 10%.