

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002), beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton merupakan unsur utama yang digunakan pada konstruksi bangunan. Kemudahan bahan dasar beton selaras dengan kelebihan yang dimilikinya, yaitu dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan struktur bangunan, memiliki kekuatan yang tinggi dan tahan terhadap cuaca ekstrim (Hudori et al., 2017).

Pada umumnya dalam pengerjaan konstruksi beton konvensional, diperlukan pemadatan atau vibrasi beton yang bertujuan untuk meminimalkan udara yang terjebak dalam beton segar sehingga diperoleh beton yang homogen dan tidak terdapat rongga-rongga di beton. Pemadatan yang tidak sempurna dapat menurunkan kualitas beton dan mengakibatkan terjadinya pemisahan antara agregat halus, semen dan air dengan agregat kasar (*segregasi*) (Miza et al., 2019).

Solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah penggunaan beton memadat mandiri yaitu *self compacting concrete* (SCC). Beton memadat mandiri merupakan beton yang mampu mengalir sendiri dan dapat dicetak pada bekisting dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sangat sedikit atau bahkan tidak dipadatkan sama sekali (Alam & Taswin, 2020). Pada dasarnya penggunaan SCC bertujuan untuk mendapatkan beton dengan kualitas tinggi yang dalam keadaan segar (*fresh concrete*) dapat memadat sendiri tanpa dilakukan penggetaran, pada umur dini beton tidak mudah retak karena penyusutan, dan apabila beton sudah mengeras mempunyai kuat tekan dan keawetan (*durability*) yang tinggi (Amalia & Riyadi, 2019).

HSSCC atau beton mutu tinggi memadat mandiri adalah inovasi beton mutu tinggi dengan *workability* yang tinggi pula. Beton ini memiliki karakteristik faktor air

semen yang rendah, hal ini mengakibatkan bertambahnya kuat tekan beton secara signifikan, tetapi menghasilkan nilai *slump* yang rendah serta *workability* yang kurang baik (Hidayat, 2018). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6468-2000), beton kekuatan tinggi didefinisikan sebagai beton yang memiliki kuat tekan yang disyaratkan yaitu $f'_c \geq 41,4$ MPa. Beton jenis ini memiliki kuat tekan yang tinggi dan dapat memadat tanpa bantuan alat pemadat. Beton dengan kualitas tinggi cenderung memiliki nilai viskositas yang tinggi pula. Oleh karena itu, penggunaan *superplasticizer* diperlukan untuk meningkatkan dan mempertahankan SCC. *Superplasticizer* dapat digunakan sebagai bahan tambah yang langsung dicampur ke dalam adukan semen.

Saat ini, inovasi beton banyak yang berhubungan dengan bahan tambah (*admixture*) *pozzolan* seperti *silica fume*, *fly ash*, metakaolin dan abu sekam padi yang digunakan sebagai bahan tambah semen. Penambahan *pozzolan* mampu meningkatkan kualitas beton sehingga memberikan kelebihan baik secara fisik maupun ekonomi. Menurut standar ASTM C 618-94a (1993), *pozzolan* adalah bahan yang mempunyai silika atau silika alumina yang memiliki sedikit atau tidak ada sifat semen tetapi apabila dalam bentuk butiran yang halus dan dengan kehadiran kelembaban, bahan ini dapat bereaksi secara kimia dengan Ca(OH)_2 pada suhu biasa untuk membentuk senyawa bersifat semen.

Metakaolin merupakan *pozzolan* yang berasal dari bahan kaolin yang telah melalui proses pemanasan pada suhu 500°C - 900°C dan berbentuk serbuk halus dengan ukuran 0,5 sampai 5 mikron. Metakaolin digunakan sebagai pengganti semen dimana senyawa silika yang terkandung di dalamnya akan bereaksi dengan CH hasil reaksi hidrasi semen dan membentuk senyawa CSH yang berperan sebagai perekat sekaligus *filler* sehingga mampu meningkatkan kuat tekan beton (Wibowo, Safitri, et al., 2018).

Beton ramah lingkungan merupakan beton yang dibuat dengan menggunakan limbah sisa industri atau bahan yang dapat mengurangi produksi emisi gas buangan sehingga menghasilkan bahan bangunan yang lebih ramah lingkungan, ekonomis dan dapat digunakan secara berkelanjutan.

Menurut Chun-li Peng, et al. (1995) dalam (Suprpto & Wulandari, 2009) terdapat empat cara pengolahan limbah konstruksi, antara lain:

1. *Reduction*, yaitu meminimalisir pemakaian material-material yang menghasilkan limbah sehingga mengurangi limbah berbahaya dan biaya pengolahan limbah beracun,
2. *Reuse*, artinya bahwa material konstruksi yang masih dapat digunakan agar digunakan kembali selama kondisinya masih memungkinkan,
3. *Recycleing*, adalah penggunaan kembali material lama yang sudah tidak digunakan dan mengolahnya menjadi barang baru,
4. *Landfilling*, adalah pilihan terakhir yang dilakukan dengan pembuangan limbah ke tempat pembuangan akhir.

(Siddique & Kaur, 2011) meneliti tentang efek dari metakaolin sebagai pengganti semen pada beton dengan kadar 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Hasil dari pergantian dengan metakaolin menunjukkan pada kada 15% kuat tekan menurun dan memiliki hasil yang optimal pada pergantian kadar 10%.

(Zareei et al., 2019) meneliti tentang pergantian sebagian agregat kasar alami dengan agregat daur ulag limbah pecahan keramik pada beton dengan kadar 20%, 40%, dan 60% mengalami peningkatan kuat tekan pada beton umur 28 hari sebesar 6%, 13%, dan 4%.

Rashid et al., (2017) meneliti peningkatan kuat tekan sebesar 30% pada beton dengan kadar pergantian agregat kasar alami dengan agregat daur ulang limbah pecahan keramik sebesar 30%, dimana kadar tersebut menghasilkan kekuatan mekanik tertinggi dan memiliki dampak lingkungan yang minimum dalam (Zareei et al., 2019).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Beton

Beton merupakan material yang paling banyak digunakan dalam bidang konstruksi. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 2847-2019), beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan. Pasta semen terbentuk karena adanya

reaksi hidrasi antara air dengan semen, selanjutnya jika ditambahkan agregat halus terbentuk mortar dan apabila ditambahkan agregat kasar akan terbentuk beton.

2.2.1.1 Sifat Beton

Beton segar memiliki sifat, antara lain:

1. *Workability*, yaitu tingkat kemudahan pengerjaan beton segar untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan. Hal ini dipengaruhi oleh faktor air semen, proporsi campuran, gradasi agregat, bentuk dan jenis agregat, serta bahan tambah yang digunakan;
2. *Segregation*, yaitu pemisahan agregat dari campuran beton sehingga mengakibatkan penyebaran agregat yang tidak merata. Hal ini dapat diakibatkan karena faktor air semen yang terlalu tinggi, kekurangan semen, dan terlalu tinggi atau dekat jarak penuangan adukan beton;
3. *Bleending*, yaitu pemisahan air dari campuran beton sehingga air naik ke permukaan adukan beton. Hal ini dapat terjadi akibat faktor air semen yang terlalu tinggi.

Beton yang telah mengeras memiliki sifat, antara lain:

1. Memiliki kuat tekan yang tinggi, namun kuat tarik rendah;
2. Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh modulus elastisitas pasta dan agregatnya;
3. Modulus elastisitas beton yaitu $4700 \sqrt{f'_c}$, dengan f'_c = kuat tekan beton normal;
4. Susutan pengerasan diakibatkan karena adanya penguapan;
5. Memiliki kerapatan air yang tinggi;
6. Berat jenis beton sesuai dengan klasifikasi menurut jenisnya, dapat dilihat pada

Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Berat jenis beton (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis Beton	Berat Jenis (gr/cm ³)	Pemakaian
Beton sangat ringan	<1,00	Non Struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal	2,30 – 2,50	Struktur
Beton berat	>3,00	Perisai sinar x

2.2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Adapun kelebihan dari penggunaan beton, antara lain:

1. Material mudah dibentuk dan disesuaikan dengan cetakan,
2. Tahan terhadap cuaca yang ekstrem,
3. Memiliki umur layan yang lama,
4. Bahan penyusunnya mudah didapatkan
5. Biaya pemeliharaan relatif lebih ekonomis,
6. Memiliki nilai kuat tekan yang tinggi untuk menahan beban

Selain itu, beton juga memiliki kekurangan, antara lain:

1. Memiliki massa jenis yang tinggi,
2. Memiliki nilai kuat tarik yang rendah,
3. Apabila sudah mengeras, bentuknya sulit diubah,
4. Bersifat getas (tidak daktil),
5. Beton akan mengalami kembang susut apabila terjadi perubahan suhu.

2.2.2 Beton Mutu Tinggi (*High Strength Concrete*)

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6468-2000), beton mutu tinggi didefinisikan sebagai beton yang memiliki kuat tekan yang disyaratkan yaitu $f'_c \geq 41,4$ MPa pada umur beton 28 hari atau 56 hari. Sedangkan menurut *American Concrete Institute* (ACI), beton mutu tinggi adalah beton dengan perlakuan khusus dengan perlakuan seragam yang tidak dapat selalu dicapai secara rutin hanya dengan penggunaan material konvensional dan pencampuran secara normal, penempatan, dan cara perawatan.

2.2.3 Beton Memadat Mandiri (*Self Compacting Concrete*)

Rusyandi (2012), Beton memadat mandiri (SCC) merupakan beton yang mampu mengalir dengan beratnya sendiri yang dapat dicetak pada bekisting dengan tingkat penggunaan alat pemadat sangat sedikit atau bahkan tidak memerlukan pemadatan. Beton ini memanfaatkan pengaturan ukuran agregat, komposisi agregat, dan zat *admixture* berupa *superplasticizer* untuk mencapai kekentalan khusus yang memungkinkan mengalir sendiri tanpa bantuan alat pemadat dalam (Wibowo, Mediyanto, et al., 2018).

Okamura dan Ozawa (1994) menyarankan spesifikasi beton memadat mandiri berupa agregat kasar sebanyak 50% dari volume solid agar mortar dapat melewati sela-sela dari agregat kasar yang kurang rapat, agregat halus sebanyak 40% dari volume total mortar, air dan bahan ikat diantaranya 0,9 hingga 1 tergantung pada sifat bahan ikatnya, dosis *superplasticizer*, faktor air, serta bahan ikat ditentukan setelahnya untuk mendapatkan pemadatan secara mandiri dalam (Rashad, 2019).

2.2.3.1 Sifat Beton Memadat Mandiri

Suatu campuran beton dapat dikatakan SCC apabila memiliki tingkat *workability* yang baik, yaitu:

1. *Filling ability*

Filling ability merupakan kemampuan campuran beton segar dalam mengisi ruangan atau cetakan dengan beratnya sendiri.

2. *Passing ability*

Passing ability merupakan kemampuan campuran beton segar untuk melewati celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan.

3. *Segregation resistance*

Segregation resistance merupakan ketahanan campuran beton segar terhadap segregasi.

Pada beton keras dapat dikatakan beton memadat mandiri apabila memiliki sifat sebagai berikut:

1. Tingkat *absorpsi* dan permeabilitas rendah,
2. Memiliki durabilitas tinggi,
3. Dapat membentuk campuran yang homogen,
4. Memiliki kuat tekan yang tinggi di awal.

2.2.3.2 Pengujian Beton Memadat Mandiri

Menurut EFNARC (2002), metode pengujian untuk property *workability* pada *self compacting concrete* (SCC) dapat dilihat pada **Tabel 2.2**. Parameter pengujian beton segar untuk *self compacting concrete* (SCC) dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.2 Metode pengujian pada SCC

No	Metode	Properti
1	<i>Slump flow</i> dengan <i>Abrams cone</i>	<i>Fillingability</i>
2	T50 cm <i>Slump flow</i>	<i>Fillingability</i>
3	<i>J-ring</i>	<i>Passingability</i>
4	<i>V-funnel</i>	<i>Fillingability</i>
5	<i>V-funnel</i> T 5 menit	<i>Segregation resistance</i>
6	<i>L-box</i>	<i>Passingability</i>
7	<i>U-box</i>	<i>Passingability</i>
8	<i>Fill-box</i>	<i>Passingability</i>
9	<i>GTM screen stability test</i>	<i>Segregation resistance</i>
10	<i>Orimet</i>	<i>Fillingability</i>

Tabel 2.3 Kriteria range nilai SCC

Metode	Unit	Range Nilai	
		Minimum	Maksimum
<i>Slump flow</i> dengan <i>Abrams cone</i>	Mm	650	800
T50 cm <i>Slump flow</i>	Sec	2	5
<i>J-ring</i>	Mm	0	10
<i>V-funnel</i>	Sec	6	12
<i>V-funnel</i> T 5 menit	Sec	0	3
<i>L-box</i>	(H ₂ /H ₁)	0,8	1
<i>U-box</i>	(H ₂ /H ₁)	0	30
<i>Fill-box</i>	%	90	100
<i>GTM screen stability test</i>	%	0	15
<i>Orimet</i>	Sec	0	5

2.2.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton Memadat Mandiri

Kelebihan dari beton memadat mandiri, antara lain:

1. Meminimalisir tenaga kerja yang diperlukan,
2. Meningkatkan kepadatan pada bagian yang sulit dijangkau dengan alat pematat,
3. Waktu pengerjaan yang lebih efisien,
4. Mengurangi kebisingan yang mengganggu lingkungan di sekitar area proyek,
5. Meningkatkan durabilitas beton.

Sedangkan kekurangan dari beton memadat mandiri, antara lain:

1. Membutuhkan biaya yang lebih mahal dibandingkan beton konvensional,

2. Pembuatan bekisting harus dilakukan dengan teliti karena beton memadat mandiri rentan terhadap kebocoran.

2.2.4 Beton Ramah Lingkungan (*Green Concrete*)

Beton ramah lingkungan merupakan beton yang tersusun dari material yang tidak merusak lingkungan dan bertujuan untuk mengurangi limbah konstruksi. Hal ini dapat dilakukan dengan memakai bahan daur ulang sebagai pengganti agregat kasar maupun agregat halus pada kadar tertentu. Perbedaan kualitas beton dapat terjadi karena agregat yang akan digunakan pada campuran beton memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung material yang akan digunakan. Dalam perencanaan beton ramah lingkungan, penggunaan agregat alami dapat diganti dengan limbah konstruksi, tambang, dan masih banyak lagi.

Menurut *The Institution of Structural Engineers* (1999) dalam (Basuki, 2012), pembuatan material penyusun beton ramah lingkungan dapat dengan mewujudkan tiga usaha kelangsungan dan konservasi lingkungan, yaitu :

1. Pengurangan emisi gas rumah kaca.
2. Efisiensi energi dan material dasar.
3. Penggunaan material buangan.
4. Pengurangan efek yang memngganggu kesehatan atau keselamatan pada pengguna kosntruksi, baik yang timbul selama proses konstruksi ataupun yang timbul selama operasi bangunan, dengan menggunakan Konsep 4R (*reduce, refurbish, reuse and recycle*).

2.2.4.1 Limbah Pecahan Keramik

Keramik merupakan salah satu jenis material konstruksi yang biasa digunakan pada lantai bangunan. Bahan baku keramik yang paling umum digunakan adalah *ball clay*, *felspard*, kwarsa, kaolin, dan air. Secara umum, keramik memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada kuat tariknya.

Berikut adalah bahan-bahan yang menyusun keramik secara umum:

1. Tanah liat (*Clay*)
Clay mengandung hidrated alumunium silica ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO} \cdot \text{H}_2\text{O}$) yang berfungsi mempermudah proses pembuatan keramik, mempunyai sifat

plastis sehingga mudah dibentuk, dan mempunyai daya ikat terhadap bahan baku yang tidak plastis.

2. Kwarsa (*Flint*)

Kwarsa adalah bentuk lain dari batuan silika (SiO_2) yang berfungsi mengurangi susut kering sehingga mengurangi adanya retakan saat pengeringan dan mengurangi susut waktu dibakar sehingga kualitas tetap terjaga.

3. *Feldspard*

Feldspard disusun oleh $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{SO}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ yang merupakan suatu kelompok mineral yang berasal dari batuan karang. Ketika keramik dibakar, maka *feldspard* meleleh dan membentuk lelehan gelas yang menyebabkan partikel-partikel clay bersatu bersama sehingga memberikan kekerasan dan kekuatan pada keramik. *Feldspard* mengandung bahan-bahan penting untuk membentuk glazur.

Menurut (Wahyunita, 2018), jika dibedakan menurut kerapatan dan kemampuan dalam menyerap air terdapat empat jenis keramik, antara lain:

1. Keramik dengan daya serap air lebih dari 7%;
2. Keramik yang mempunyai daya serap antara 3%-7%;
3. Keramik dengan daya serap air sekitar 0,5% hingga 3%;
4. Keramik yang mempunyai daya serap air $\leq 0,5\%$.

Limbah pecahan keramik biasa diperoleh dari hasil pembuangan antara lain :

- a. Gerabah : vas bunga, kendi atau guci, dan piring dari tanah liat.
- b. Alat saniter : wastafel, urinoir, dan toilet.
- c. Material bangunan : keramik lantai, keramik dinding, dan genteng.

(Zareei et al., 2019) dalam penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggantian agregat kasar alami dengan limbah pecahan keramik dengan kadar 50 % pada beton dibandingkan beton dengan agregat kasar alami menghasilkan penyerapan air yang lebih rendah, kenaikan kuat tekan sebesar 24%, kenaikan kuat lentur sebesar 10%, dan kenaikan kuat tarik belah sebesar 4%.

Pada perancangan beton ramah lingkungan, penggunaan agregat kasar alami dapat diganti dengan agregat pecahan keramik dari limbah padat sisa konstruksi. Sama halnya seperti penggunaan agregat kasar alami, agregat limbah pecahan keramik juga dilakukan pengujian keausan atau abrasi untuk mengetahui tingkat keausan pecahan limbah keramik.

2.2.5 Bahan Penyusun Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri

2.2.5.1 Semen *Portland*

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 15-2049-2004) semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat bersama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain. Bahan dasar penyusun semen *portland* dapat dilihat pada **Tabel 2.4**. Semen digunakan sebagai perekat agregat dan pengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Berdasarkan kegunaannya, terdapat lima jenis semen yang sering digunakan dalam konstruksi, ditunjukkan pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.4 Susunan unsur semen *portland* (Tjokrodimuljo, 2007)

Oksidasi	Persen (%)
Kapur (CaO)	60,0 – 65,0
Silika (SiO ₂)	17,0 – 25,0
Alumina (Al ₂ O ₃)	3,0 – 8,0
Besi (FeO ₂)	0,5 – 6,0
Magnesia (MgO)	0,5 – 4,0
Sulfur (SO ₃)	1,0 – 2,0
Soda / Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1,0

Tabel 2.5 Jenis-jenis semen *portland* (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis Semen	Penggunaan
I	Konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus
II	Konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kadar hidrasi sedang
III	Konstruksi yang memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi
IV	Konstruksi yang memerlukan panas hidrasi rendah
V	Konstruksi yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat

2.2.5.2 Agregat Kasar

Menurut PBI (1971), agregat kasar adalah agregat berupa kerikil atau berupa batu pecah dengan ukuran lebih dari 5 mm. Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat-syarat seperti yang tertera pada PBI 1971, yaitu:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.;
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap berat kering;
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali;
4. Kekerasan agregat kasar dapat diperiksa dengan mesin Los Angeles, dalam hal ini tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%;
5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beranekaragam besarnya;
6. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau sepertiga dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

Menurut ASTM C33, agregat kasar memiliki persyaratan yang tercantum pada

Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Syarat gradasi agregat kasar

Ukuran Saringan	Persentase Lolos Saringan (%)
50 mm (2,0 in)	100
37,5 mm (1,5 in)	95 – 100
19,0 mm (3/4 in)	35 – 70
9,5 mm (3/8 in)	10 – 30
4,75 mm (No. 4)	0 – 5

2.2.5.3 Agregat Halus

Agregat halus merupakan batuan yang terdiri dari butir ukuran 0,14 – 5 mm yang diperoleh dari pemecahan. Agregat halus dalam campuran beton sangat

berpengaruh pada kekuatan, durabilitas beton, dan *workability*. Menurut ASCM C33, agregat halus memiliki persyaratan yang tercantum dalam **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Syarat gardasi agregat halus

Ukuran Saringan	Persentase Lolos Saringan (%)
3/8 in (9,5 mm)	100
No. 4 (4,75 mm)	95 – 100
No. 8 (2,36 mm)	80 – 100
No. 16 (1,18 mm)	50 – 85
No. 30 (600 μ m)	25 – 60
No. 50 (300 μ m)	5 – 30 (AASHTO 10 – 30)
No. 100 (150 μ m)	0 – 10 (AASHTO 2 – 10)

2.2.5.4 Air

Air merupakan salah satu material yang penting dalam pencampuran beton. Air akan bekerja dengan semen untuk mengikat seluruh agregat sehingga mempermudah pengerjaan beton. Jumlah air yang terdapat dalam campuran beton sangat berpengaruh terhadap kualitas beton yang dihasilkan. Air yang berlebihan akan menimbulkan gelembung air pada saat proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit mengakibatkan campuran beton tidak dapat menyelesaikan proses hidrasi sehingga mengakibatkan berkurangnya kekuatan beton.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002) air yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan;
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan;
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada campuran beton, kecuali air tersebut dapat menghasilkan beton yang memiliki kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan beton yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

2.2.5.5 *High Range Water Reducer (Superplasticizer)*

Menurut ASTM C494, *superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan yang sangat efektif untuk mengurangi penggunaan air. Dengan pemakaian bahan tambahan ini

diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh adukan dengan kekentalan lebih encer dengan faktor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi.

Secara umum, penggunaan *superplasticizer* dalam beton, antara lain:

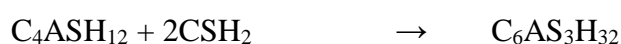
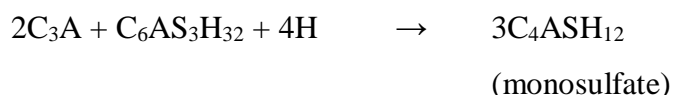
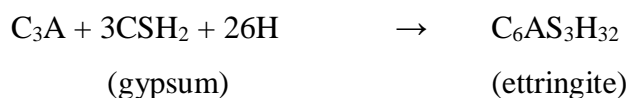
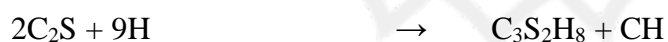
1. Menjaga kandungan air dan semen tetap konstan sehingga meningkatkan *workability*;
2. Mengurangi kebutuhan semen dengan kekuatan beton yang sama;
3. Meminimalisir adanya rongga dalam beton sehingga dapat menjaga tulangan dari korosi.

2.2.5.6 Metakaolin

Menurut Sambowo (2002), metakaolin merupakan hasil pembakaran dari kaolin pada suhu 450°C-900°C yang mempunyai ukuran partikel lebih kecil dari *silica fume* dan banyak mengandung SiO₂ (54,64%) dan Al₂O₃ (42,87%) yang merupakan unsur utama semen sehingga dapat digunakan sebagai pengganti semen dalam (Wibowo, Mediyanto, et al., 2018).

Metakaolin berperan sebagai pozzolan yang akan bereaksi dengan senyawa CH hasil reaksi hidrasi semen dan membentuk senyawa CSH yang berfungsi sebagai perekat sekaligus *filler* pada campuran beton sehingga dapat meningkatkan mutu dari beton itu sendiri.

Reaksi hidrasinya adalah sebagai berikut:



Penambahan metakaolin pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan beton, meningkatkan kepadatan, memperkecil permeabilitas sehingga dapat dicapai beton mutu tinggi atau *High Strength Concrete*.

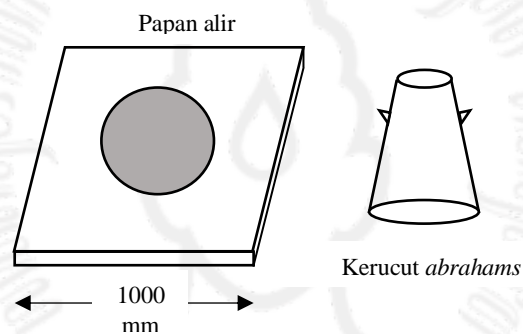
2.2.6 Kriteria Pengujian Beton

2.2.6.1 Pengujian pada Beton Segar HSSCC

Pada dasarnya, beton segar memadat mandiri memiliki sifat *workability* yang baik. Menurut EFNARC (2005), campuran beton segar dapat dikatakan sebagai *self compacting concrete* apabila memenuhi beberapa parameter berikut, antara lain:

1. *Filling ability*

Parameter *filling ability* dapat diketahui dari kemampuan beton untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan yang dilakukan menggunakan pengujian *slump flow* dengan alat *abrahams cone* dan *flow table*. Alat uji yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



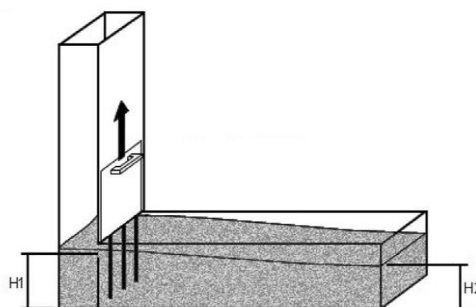
Gambar 2.1 Alat uji *slump flow*

2. *Passing ability*

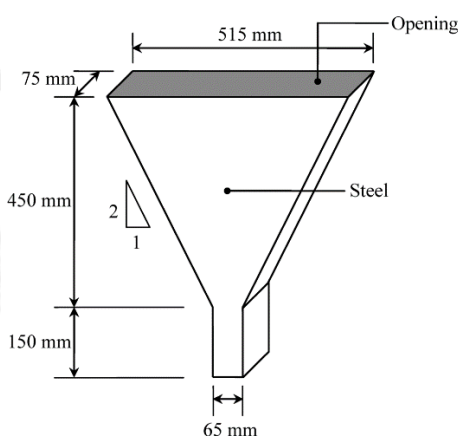
Parameter *passing ability* dapat diketahui dari kemampuan beton untuk mengalir melalui celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit tanpa terjadi segregasi. Parameter ini dapat diamati melalui pengujian beton segar yang dialirkan ke dalam kotak vertikal yaitu *L-box*. Alat uji yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

3. *Segregation resistance*

Parameter *segregation resistance* dapat diketahui dari kemampuan beton untuk tidak mengalami segregasi atau turunnya agregat kasar sedangkan mortar di bagian atas agregat kasar. Parameter ini dapat diamati melalui pengujian *V-funnel T₅ menit* pada beton segar. Alat uji yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.2 Alat uji l-box



Gambar 2.3 Alat uji v-funnel

2.2.6.2 Pengujian Kuat Tarik Langsung pada Beton

Kuat tarik adalah ukuran kuat beton yang diakibatkan oleh suatu gaya yang cenderung memisahkan sebagian beton akibat tarikan. Kuat tarik beton berkisar 1/18 dari kuat desak pada waktu umurnya masih muda, dan berkisar 1/20 sesudahnya. Uji kuat tarik langsung dilakukan dengan membuat benda uji dalam bentuk seperti tulang anjing (*dog bone specimen*), nilai kuat tarik yang diperoleh dihitung dari besar beban tarik maksimum (N) dibagi dengan luas penampang yang terkecil (mm²) (Pandaleke & Windah, 2017).

Nilai kuat tarik langsung beton dapat dihitung dengan **Persamaan 2.1** sebagai berikut:

$$f_{ct} = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana,

- f_{ct} = kuat tarik beton secara langsung (MPa)
- P = beban maksimum yang mampu ditahan (N)
- A = luas penampang (mm²)

2.2.6.3 Pengujian Kuat Tarik Belah pada Beton

Untuk mengetahui nilai kuat tarik beton dapat dilakukan dengan pengujian kuat tarik langsung. Namun, pengujian tersebut sulit dilakukan karena sering terjadi kegagalan saat dilakukan pengujian. Oleh karena itu, untuk mengetahui besarnya nilai kuat tarik sebenarnya pada beton dapat dilakukan dengan pengujian kuat tarik tidak langsung atau kuat tarik belah.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 2491-2014), kekuatan tarik belah pada umumnya lebih besar dari kekuatan tarik langsung dan lebih rendah dari kekuatan lentur (*modulus of rupture*).

Pengujian kuat tarik belah dilaksanakan dengan menggunakan mesin *Compression Testing Machine* (CTM) dengan benda uji beton silinder berusia 28 hari. Benda uji silinder diletakan secara lateral di atas mesin CTM kemudian beban diberikan hingga kekuatan maksimumnya dalam keadaan pecah menjadi 2 bagian (Dewi & Prasetyo, 2021).

Kuat tarik belah dapat dihitung dengan **Persamaan 2.2 - Persamaan 2.4** sebagai berikut:

$$f'_t = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A = \frac{\pi LD}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$f'_t = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana,

- f'_t = kuat tarik beton (MPa)
- P = beban uji maksimum (N)
- L = panjang benda uji (mm)
- D = diameter benda uji (mm)