

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Menurut SNI 2847-2013, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Menurut SNI 03-6468-2000, beton kekuatan tinggi didefinisikan sebagai beton yang memiliki kuat tekan yang diisyaratkan: kuat rencana ( $f'_c$ )  $\geq$  41,4 MPa.

#### 2.2 Beton

Menurut SNI-03-2847-2002, beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau bahan tambahan yang membentuk masa logam.

Berdasarkan SNI 2847-2013, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*).

Menurut Tjokrodimuljo (1992), beton adalah bahan bangunan yang diperoleh dengan cara mencampurkan semen *portland*, air, dan agregat (kadang-kadang bahan bahan tambah, yang sangat bervariasi dari bahan kimia, serat, sampai bahan buangan non-kimia).

Menurut Tjokrodimuljo (1992), dalam konstruksi beton memiliki kelebihan dan kekurangan yaitu:

A. Kelebihan

1. Harganya relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar dari lokal, kecuali semen *portland*.
2. Termasuk bahan dengan kekuatan tinggi.
3. Beton segar dengan mudah dapat diangkut dan dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran sebesar apapun tergantung keinginan.
4. Kuat tekan yang tinggi apabila dikombinasikan dengan tulangan baja dapat dikatakan mampu untuk struktur berat
5. Beton segar dapat disemprotkan di permukaan beton lama yang retak maupun diisikan dalam retakan.
6. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang di tempat-tempat yang sulit.
7. Beton termasuk tahan aus dan tahan kebakaran, sehingga biaya perawatannya rendah.

B. Kekurangan

1. Kuat tarik belah yang rendah, sehingga mudah retak.
2. Beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah.
3. Beton keras mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu.
4. Beton sulit untuk dapat kedap air sempurna.
5. Beton bersifat getas.

## 2.3 Bahan Penyusun Beton

### 2.3.1 Semen *Portland*

Semen *Portland* ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari siikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Semen *portland* merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai untuk pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi tertentu sesuai dengan sifat khusus masing-masing semen tersebut. Fungsi dari semen adalah merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat (Tjokrodimuljo, 1992).

Semen *portland* satu terhadap semen lainnya memiliki sifat-sifat yang berbeda. Perbedaan sifat ini terjadi akibat perbedaan susunan kimianya dan kehalusan butirnya (Tjokrodimuljo, 1992).

Susunan kimia semen *portland* terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi, maka bahan-bahan ini menjadi unsur-unsur pokok semen. Walaupun demikian pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting dalam semen yaitu:

1. Trikalsium silikat ( $C_3S$ )
2. Dikalsium silikat ( $C_2S$ )
3. Trikalsium aluminat ( $C_3A$ )
4. Tetrakalsium aluminoforit ( $C_4AF$ )

Dua unsur pertama yaitu  $C_3S$  dan  $C_2S$  biasanya merupakan 70 sampai 80 persen dari semen sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen. Bila semen terkena air,  $C_3S$  mulai berhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu juga berpengaruh besar terhadap pengerasan semen, terutama sebelum mencapai 14 hari. Sebaliknya,  $C_2S$  bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari, dan memberikan kekuatan akhir. Unsur  $C_2S$  ini juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia dan juga mengurangi besar susutan pengeringan. Kedua unsur ini membutuhkan air berturut-turut sekitar 24 dan 21 persen beratnya untuk terjadi reaksi kimia. Unsur ketiga yaitu  $C_3A$  berhidrasi secara *exothermic* dan bereaksi secara cepat, memberikan kekuatan sesudah 24 jam.  $C_3A$  ini bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40 persen beratnya, namun karena jumlah unsur ini hanya sedikit maka pengaruhnya pada jumlah air hanya sedikit. Unsur ini juga berpengaruh terhadap panas hidrasi yang tertinggi baik selama pengerasan awal maupun pengerasan berikutnya yang panjang. Unsur keempat  $C_4AF$  kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen maupun beton (Tjokrodimuljo, 1992).

Menurut Tjokrodimuljo (1992), perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah presentase 4 komponen utama tersebut dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya, dan dalam hal ini jenis semen dibagi menjadi 5 jenis semen yaitu:

1. Jenis I, yaitu semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lainnya.
2. Jenis II, semen dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, semen yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV, semen yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, semen yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

### **2.3.2 Agregat**

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun agregat namanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Cara membedakan jenis agregat adalah dari ukuran butirnya. Agregat dengan ukuran butir yang besar disebut agregat kasar, sedangkan dengan ukuran butir halus disebut agregat halus. Dalam bidang teknologi beton nilai batas antara agregat kasar dan agregat halus adalah 4,75 mm atau 4,80 mm. Agregat yang butirnya melebihi 4,80 mm disebut dengan agregat kasar, dan agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm disebut dengan

agregat halus. Secara umum, agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah, atau *split* adapun agregat halus yang disebut sebagai pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian.

Dalam prakteknya agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm.
3. Pasir untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Agregat juga harus memiliki bentuk yang baik yaitu bulat atau mendekati kubus, bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi, dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca (Tjokrodimuljo, 1992).

#### **2.3.2.1 Agregat Kasar**

Merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI 2847:2013). Agregat kasar ini harus bersih dan bebas dari kadar organik maupun lumpur dan mempunyai bentuk serta ikatan yang baik.

Adapun syarat mutu agregat kasar menurut ASTM C 33 adalah sebagai berikut:

1. Kadar lumpur maksimal 1 persen dari berat kering.

2. Kandungan bahan organik dibagi menjadi 3 macam yaitu:
  - a. Warna pembanding 1 dan 2, dapat digunakan tanpa dicuci.
  - b. Warna pembanding 3 dan 4, harus dicuci dahulu.
  - c. Warna pembanding 5, tidak boleh digunakan.
3. Modulus halus butir yaitu berkisar antara 6,0 sampai 7,1.
4. Tidak boleh reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton basah dengan lembab atau berhubungan dengan bahan yang reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6 %.
5. Harus lulus uji keausan dengan dengan alat *los angeles*.
6. Agregat yang pipih atau panjang maksimal 20% dari keseluruhannya.

#### **2.3.2.2 Agregat Halus**

Merupakan agregat yang semua butirnya menembus saringan 4,75 mm atau ayakan no.4 dimana, besar butirnya berkisar antara 0,15 sampai 5 mm. Pasir dibedakan menjadi 3 yaitu:

1. Pasir galian yang diperoleh dari permukaan tanah,
2. Pasir sungai yang diambil dari sungai,
3. Pasir laut yang diperoleh dari pantai.

Ukuran agregat mempunyai pengaruh yang penting terhadap jumlah semen dan air yang diperlukan untuk membuat satu-satuan beton.

### 2.3.3 Air

Air adalah bahan dasar pembuatan beton yang paling murah. Fungsi air dalam pembuatan beton adalah untuk membuat semen bereaksi dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat. Untuk membuat semen bereaksi hanya dibutuhkan air sekitar 25-30 persen dari berat semen. Tetapi pada kenyataan dilapangan apabila faktor air semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 maka adukan sulit dikerjakan, sehingga umumnya faktor air semen lebih dari 0,40 yang mana terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Kelebihan air inilah yang berfungsi sebagai pelumas agregat, sehingga membuat adukan mudah dikerjakan. Tetapi seiring dengan semakin mudahnya pengerjaan, maka akan menyebabkan beton menjadi porous atau terdapat banyak rongga, maka kuat tekan beton itu sendiri akan menurun (Tjokrodinuljo, 1992).

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum. Secara umum, air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90 % kekuatan beton yang memakai air suling. Dalam pemakaian air adapula syarat-syaratnya yaitu:

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) melebihi dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.

3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama (Tjokrodinuljo, 1992).

#### **2.3.4 Terak Logam**

ASTM (1995,494) *Slag* adalah Produk Non-metal yang merupakan material berbentuk halus sampai balok – balok besar, dari hasil pembakaran yang didinginkan. Menurut *Lewis* (1982) Keuntungan penggunaan limbah padat (*slag*) dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

1. Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan
2. Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton
3. Mengurangi variasi kekuatan tekan beton
4. Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut
5. Mengurangi serangan alkali-silika
6. Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu
7. Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton
8. Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume
9. Mengurangi porositas dan serangan klorida

### 2.3.5 Limbah Katalis

Menurut kamus besar bahasa Indonesia, katalis adalah zat yang dapat mempercepat atau memperlambat reaksi yang pada akhir reaksi dilepaskan kembali dalam bentuk semula.

Dalam penelitian ini akan digunakan zat katalis untuk menggantikan semen adalah limbah dari proses penyulingan minyak bumi. Rumus dari limbah katalis adalah  $\text{NaAlSiO}_2\text{H}_2\text{O}$  dengan struktur reguler, yang merupakan hasil proses dari *RCC*. Limbah katalis yang digunakan pada *RCC* ini adalah jenis yang mengandung unsur-unsur oksida silika dan alumina. Berikut adalah hasil pengukuran komposisi kimia *spent* dan *fresh catalyst* pada tahun 2000 di PT. Pertamina (Pertamina, Lembaga Penelitian UNPAD).

Tabel 3.1. Hasil pengukuran komposisi kimia *spent* dan *fresh catalyst* pada tahun 2000 di PT. Pertamina (Pertamina, Lembaga Penelitian UNPAD)

Parameter	Satuan	Limit Deteksi	<i>Fresh Catalyst</i>	<i>Spent Catalyst (Duplicate)</i>	<i>Spent Catalyst</i>
SiO <sub>2</sub>	%	N/A	37,31	48,46	47,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	N/A	40,49	44,20	45,34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,03	0,07	0,90	0,60
TiO <sub>2</sub>	%	N/A	0,07	0,77	0,70
K <sub>2</sub> O	%	0,01	0,08	0,17	0,14
Na <sub>2</sub> O	%	0,002	0,05	0,09	0,45
CaO	%	0,01	0,16	tt	0,16
MgO	%	0,001	tt	tt	0,26
As*	Mg/kg	0,002	tt	tt	0,005
Ba	Mg/kg	0,1	tt	tt	tt
B	Mg/kg	1	N/A	N/A	N/A
Cd	Mg/kg	0,005	4,00	4,00	4,50
Cr	Mg/kg	0,05	17,10	17,10	165,50
Cu	Mg/kg	0,02	4,00	4,00	21,00
Pb	Mg/kg	0,1	53,00	53,00	67,50
Hg**	Mg/kg	0,0002	tt	tt	tt
Se*	Mg/kg	0,002	tt	tt	tt
Zn	Mg/kg	0,005	76,00	76,00	105,00
Ni	Mg/kg	0,04	48,00	48,00	14,760
V	Mg/kg	0,2	50,00	50,00	437,50
Ag	Mg/kg	0,01	3,00	3,00	2,50
Co	Mg/kg	0,01	36,00	36,00	358,50
Mn	Mg/kg	0,01	16,00	16,00	27,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	N/A	0,23	0,14	0,23
SO <sub>3</sub>	%	N/A	0,20	0,04	0,04
H <sub>2</sub> O	%	N/A	6,61	3,08	0,56
LOI	%	N/A	20,25	4,70	4,29

Keterangan :

\* = Metoda Gas Hybrida (*Gas Hybride Method*)

\*\* = Teknik Uap Dingin (*Cold Vapour Technique*)

N/A = Data tidak tersedia

## 2.4 Bahan Tambah (*Admixture*)

Menurut SNI 2847-2013, material campuran tambahan (*admixture*) adalah material selain air, agregat, atau semen hidrolis, yang digunakan sebagai bahan penyusun beton dan ditambahkan pada beton sebelum atau selama pencampurannya untuk memodifikasi properti.

Menurut Tjokrodinuljo (1992), bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera, atau selama pengadukan beton. Tujuannya adalah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih segar atau dalam keadaan setelah mengeras.

Mengacu pada klasifikasi ASTM C494-82, dikenal 7 jenis *admixture* sebagai berikut:

1. Tipe A = *Water Reducer (WR)*, bahan kimia tambahan untuk mengurangi jumlah air yang digunakan. Dengan bahan ini faktor air semen lebih rendah dan diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.
2. Tipe B = *Retarder*, bahan kimia untuk memperlambat proses ikatan beton. Bahan ini digunakan bila dibutuhkan waktu yang lama antara pencampuran adukan beton dengan penuangan adukan.
3. Tipe C = *Accelerator*, bahan kimia untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

4. Tipe D = *Water Reducer Retarder (WRR)*, bahan kimia untuk mengurangi air dan memperlambat proses ikatan.
5. Tipe E = *Water Reducer Accelerator*, bahan kimia untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan.
6. Tipe F = *High Range Water Reducer*, bahan kimia yang berfungsi mengurangi air sampai 12% atau bahkan lebih.
7. Tipe G = *High Range Water Reducer*, bahan kimia berfungsi untuk mengurangi air dan mempercepat proses ikatan dan pengerasan beton.

### **2.5 Self Compacting Concrete (SCC)**

Menurut *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, SCC adalah beton inovatif yang tidak memerlukan getaran untuk penempatan dan pemadatan. SCC itu sendiri dapat mengalir dengan beratnya sendiri dan dapat benar-benar mengisi seluruh area bekisting dan mencapai pemadatan penuh, bahkan mampu mencapai penguatan yang padat.

Beton yang membutuhkan sedikit getaran atau pemadatan telah digunakan di Eropa sejak awal tahun 1970-an tetapi beton memadat sendiri tidak dikembangkan hingga akhir 1980-an di Jepang. Di Eropa itu mungkin pertama kali digunakan dalam pekerjaan sipil untuk jaringan transportasi di Swedia pada pertengahan tahun 1991 (*The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, 2005).

Adapun karakteristik dasar dari SCC itu sendiri selama dalam beton segar serta metode yang digunakan yaitu:

Tabel 3.2. Karakteristik dan Metode Tes Beton Segar pada SCC

<b>Karakteristik</b>	<b>Metode Tes</b>
<i>Flowability</i>	<i>Slump-flow test</i>
<i>Viscosity</i>	<i>T500 Slump-flow test atau V-funnel test</i>
<i>Passing ability</i>	<i>L-box test</i>
<i>Segregation</i>	<i>Segregation resistance (sieve) test</i>

Berikut ini adalah klasifikasi dari karakteristik SCC tersebut adalah:

1. *Slump-flow*

Nilai tersebut menggambarkan kemampuan alir dari campuran segar dalam kondisi bebas. Ini adalah tes utama yang akan menentukan SCC itu sendiri dan sebagai pemeriksaan utama bahwa konsistensi beton segar memenuhi spesifikasi. Berikut adalah kelas slump-flow untuk berbagai aplikasi:

- a. SF 1 (550 – 650 mm) sesuai untuk struktur beton yang tidak diperkuat atau sedikit diperkuat, *casting* dengan sistem injeksi pompa, dan bagian yang cukup kecil untuk mencegah aliran horizontal panjang.

- b. SF 2 (660 – 750 mm) sesuai untuk banyak aplikasi normal seperti dinding dan kolom.
- c. SF 3 (760 – 850 mm) biasanya diproduksi dengan ukuran agregat maksimum 16 mm dan digunakan untuk aplikasi vertikal dalam struktur yang sangat padat dan kompleks.

## 2. Viskositas

Dapat dinilai dengan  $T_{500}$  selama uji *slump-flow* atau dinilai dengan waktu aliran *V-funnel*. Nilai waktu yang diperoleh tidak mengukur viskositas SCC tetapi terkait dengan menggambarkan laju reaksinya. Beton dengan viskositas rendah akan memiliki aliran awal yang sangat cepat dan kemudian berhenti. Beton dengan viskositas tinggi dapat terus merambat ke depan dalam waktu yang lama.

## 3. *Passing ability*

Kemampuan ini menggambarkan kapasitas campuran segar mengalir melalui ruang terbatas dan bukaan yang sempit seperti area penguatan yang padat tanpa segregasi, kehilangan keseragaman atau bahkan menyebabkan pemblokiran. Dalam mendefinisikan kemampuan yang lewat, perlu untuk mempertimbangkan geometri dan kepadatan penguat, kemampuan alir, dan ukuran agregat maksimum.

## 4. Ketahanan segregasi

Ini adalah hal yang sangat penting untuk homogenitas dan kualitas SCC. Karena SCC dapat mengalami segregasi selama pengecoran atau setelah pengecoran namun belum mengeras.

## **2.6 Beberapa Penelitian Mengenai Topik Penulisan**

Penelitian yang dilakukan oleh Ginting (2006) pada beton normal dengan penggantian sebagian semen dengan limbah katalis dengan proporsi campuran tanpa campuran limbah katalis, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Dalam penelitiannya untuk perbandingan kuat tekan, dibuat sampel dengan bahan campuran abu batu dengan proporsi campuran yang sama seperti limbah katalis. Dari sampel limbah katalis diperoleh kuat tekan maksimum sebesar 30,1167 MPa pada variasi penggantian sebanyak 5%. Penggunaan limbah katalis sebagai pengganti sebagian semen menghasilkan nilai kuat desak yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan abu batu.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Miranty (2014) pada beton mutu tinggi memadat sendiri dengan penggunaan *silica fume*, *fly ash* dan *superplasticizer*. Dalam penelitian tersebut dilakukan pengujian kuat tekan, modulus elastisitas dan uji daya serap air antara beton normal dengan beton *self compacting concrete (SCC)* yang menggunakan *silica fume* dengan kadar campuran 10% dan *fly ash* 20% dari berat semen serta kadar *superplasticizer* Sika *Viscocrete* – 10 sebesar 15%. Dari penelitian tersebut, dihasilkan kuat tekan terbesar terjadi pada beton *SCC* pada umur 28 hari sebesar 73,47 MPa dan terjadi kenaikan sebanyak 60,98% dari beton normal.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Ahmed dkk (2016) pada beton memadat sendiri dengan menggunakan *fly ash*. Dalam penelitian ini, metode yang dipakai adalah *Nan-Su method* dengan *M70 grade*. Untuk proporsi campurannya

adalah dengan penggantian semen dengan *fly ash* dengan kadar 0%, 10%, 20%, dan 30% dan dilakukan pengujian kuat tekan pada umur 7 hari, 28 hari, dan 90 hari. Dari penelitian tersebut, didapat bahwa kadar *fly ash* 20% adalah kadar terbaik dengan kuat tekan terbesar yaitu 90,07 MPa.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Castellanos dkk (2016) pada beton normal dengan penggantian sebagian semen dengan limbah dari industri minyak. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian kuat tekan terhadap sampel dimana, semen digantikan oleh limbah industri minyak dengan kadar sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi penurunan sedikit dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan limbah pada umur 7 dan 28 hari. Namun, pada umur 56 sampai dengan 360 hari kuat tekan beton dengan limbah mengalami kenaikan dan jauh lebih besar daripada beton yang tidak menggunakan limbah.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Daniel dkk (2016) pada beton normal dengan mengganti sebagian agregat halus dengan terak tembaga. Dalam penelitian ini, diuji beberapa sampel dengan kadar penggantian agregat halus oleh terak tembaga yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100% dari berat agregat halus. Penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi uji kuat tekan terbesar pada sampel terak tembaga dengan kadar 30% dengan kekuatan sebesar 43,4 MPa.