

Sifat Mekanis Beton Dengan Menggunakan *Steel Slag* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Substitusi Semen

Yonna Rosianda¹⁾, Alex kurniawandy²⁾, Zulfikar Djauhari²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya JL. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : Yonna.rosianda@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The purpose of research is to identify the mechanical properties of concrete by using steel slag as substitution for fine aggregates and fly ash as substitution cement on concrete with the quality (f_c) 25 MPa. The research meant to review the permeability, porosity and load power of concrete. The proportion of steel slag and fly ash which was used is 0% and 20% of total weight of fine aggregates and cements. The permeability and porosity test was done on 28 days soaked concrete. For the pressure test, it was done on 28 days and 56 days soaked in normal water. The result of the test shown that the using of 20% steel slag and 20% fly ash liably improved the permeability and porosity of the concrete. On the normal concrete-pressure test, it was improved as well for 28 and 56 days soaked concrete. Meanwhile, the concrete with steel slag and fly ash as substitution was also shown an improvement on 28 days and 56 days's pressure test.

Keywords : *Steel slag, fly ash, Permeability, Porosity, Compressive strength.*

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang paling luas penggunaannya. Bahan bangunan yang terbentuk dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air ini memiliki daya tarik yang cukup besar dalam pembangunan. Bahan dasar pembuatan beton seperti agregat juga merupakan sumber daya yang mudah didapatkan dan banyak tersedia di alam dan pemeliharaan yang mudah. Semakin pesatnya pertumbuhan pengetahuan di bidang konstruksi diperlukan suatu bahan bangunan sebagai bahan campuran beton yang memiliki keunggulan yang lebih baik dibandingkan bahan yang sudah ada selama ini. Selain itu bahan tersebut harus memiliki beberapa keuntungan seperti bentuk yang dapat menyesuaikan kebutuhan, biaya yang lebih ekonomis, kecepatan pelaksanaan konstruksi, serta ramah lingkungan. Salah satu jenis bahan tambah adalah bahan tambah mineral yang merupakan bahan tambah yang

dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Beberapa bahan tambah mineral ini adalah *pozzollan*, *fly ash*, *slag*, dan *silica flume*.

Hal ini menjadi dasar dalam penelitian yang direncanakan menggunakan *steel slag* sebagai bahan substitusi agregat halus dan *fly ash* sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan beton. Diharapkan dari Penelitian ini, adalah mengetahui pengaruh dari penambahan *steel slag* dan *fly ash* terhadap kinerja beton seperti kuat tekan, permeabilitas, dan porositas terhadap beton normal.

Steel slag adalah limbah dari pembuatan baja. *Steel slag* dihasilkan selama proses pemisahan cairan baja dari bahan pengotoranya pada tungku-tungku baja. *Steel slag* berbentuk cairan yang terdiri dari silika dan oksida kalsium yang akan ikut mengeras ketika proses pendinginan. Abu terbang (*fly ash*) adalah bagian dari abu bakar yang berupa bubuk

halus dan ringan yang diambil dari campuran gas tungku pembakaran yang menggunakan bahan batubara. Abu terbang diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan electrostatic (Hidayat,1986).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Benda Uji

Benda uji pada Penelitian ini adalah 32 buah. Benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15 cm, tinggi 30 cm sebanyak 20 sampel digunakan untuk pengujian kuat tekan beton. Benda uji berbentuk kubus dengan panjang 15 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm sebanyak 12 sampel digunakan untuk permeabilitas dan porositas.

2.2 Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Adapun agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari Kabupaten Kampar, Riau. Jenis pemeriksaan yang dilakukan tertera pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengujian agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Standar
1	Kadar air (%)	SNI-03-1971-1990
2	Kadar Lumpur (%)	ASTM C-142
3	Berat jenis (gr/cm ³)	SNI 03-1970-1990
4	Ketahanan aus (%)	SNI 03-2471-1991
5	Kandungan organik	ASTM C-40
6	Berat volume (gr/cm ³)	SNI 03-4804-1998
7	Modulus kehalusan	SNI 03-1969-1990

2.3 Pemeriksaan Kimia Steel Slag

Penelitian kimia dari *Steel Slag* telah dilakukan sebelumnya (PT. Krakatau Steel, 2010) dapat dilihat pada Tabel 2 dan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis *Steel Slag* dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Riau.

Tabel 2. Komposisi kimiawi

No	Kandungan	Komposisi (%)
1	Al ₂ O ₃	5,875
2	SiO ₂	12,75
3	P ₂ O ₅	0,65
4	MgO	28,29
5	MnO	1,51
6	CaO	29,245
7	FeO	22,945
8	TiO ₂	1,41
9	V ₂ O ₃	0,16

2.4 Pemeriksaan Karakteristik Fly Ash

Pemeriksaan *fly ash* pada penelitian ini adalah pemeriksaan berat jenis. Pemeriksaan berat jenis ini mengacu pada ASTM D854.

2.5 Pembuatan Mix Design

Metode yang digunakan dalam desain campuran (*mix design*) beton menggunakan metode SNI 03-2834-1993 yang mengadopsi metode ACI 211.1-9: *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Mutu rencana beton *f'c* 25 MPa, dengan substitusi *Steel Slag* 20% dari berat pasir dan *fly ash* 20% dari berat semen. Adapun Komposisi campuran dapat dilihat sebagai berikut.

Semen	: 297,416 kg/m ³
Air	: 1,74 kg/m ³
Agregat Kasar	: 1003,14 kg/m ³
Agregat Halus	: 646,904 kg/m ³
Slag	: 161,726 kg/m ³
Fly ash	: 74,584 kg/m ³

2.4 Pengujian Beton

Penelitian ini melakukan pengujian berupa pengujian permeabilitas, porositas, dan kuat tekan beton.

1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut (Mulyono, 2003). Alat yang digunakan dalam pengujian kuat tekan beton adalah mesin uji tekan (*Compression Test Machine*). Menurut SNI 03-1974-1990 kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas permukaan benda uji (mm²)

2. Porositas

Porositas adalah perbandingan antara volume pori dengan volume material total (volume air jenuh). Pengujian porositas beton mengacu pada ASTM C-642 dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Porositas} = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

W_1 = Berat sampel setelah dioven (kg)

W_2 = Berat setelah direndam/ jenuh air ditimbang di udara (kg)

W_3 = Berat setelah direndam/jenuh air ditimbang di dalam air (kg)

3. Permeabilitas Beton

Permeabilitas adalah kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton, sedangkan serapan (absorpsi) adalah masuknya cairan ke beton melalui pipa-pipa kapiler yang terdapat pada beton itu sendiri. Permeabilitas dipengaruhi oleh porositas beton. Permeabilitas menjadi penting untuk diketahui karena beton selain berfungsi untuk menahan tegangan tekan, pada daerah tarik beton juga berfungsi untuk melindungi baja tulangan agar tidak kontak langsung dengan udara luar yang dapat

menyebabkan reaksi oksidasi dan terjadinya korosi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material

Pengujian Karakteristik menghasilkan data yang digunakan dalam pencampuran beton (*mix design*). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Hasil pengujian karakteristik agregat halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi
1	Kadar Lumpur (%)	4,39	<5
2	Berat Jenis (gr/cm ³)		
A	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,66	2,58 – 2,83
B	<i>Bulk Specific Gravity on Dry</i>	2,59	2,58 – 2,83
C	<i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,62	2,58 – 2,83
D	<i>Prosentase Absorpsi Air (%)</i>	1,01	< 2
3	Kadar Air (%)	3,09	< 5
4	Modulus Kehalusan	3,28	1,5 – 3,8
5	Berat Volume		
A	Kondisi Padat	1848,90	1400 – 1900
B	Kondisi Gembur	1707,36	1400 – 1900
6	Kadar Organik	NO. 3	Maks No. 3

Tabel 4. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi
1	Abrasi (%)	37,30	<40
2	Berat Jenis (gr/cm ³)		
a.	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,71	2,58 – 2,83
b.	<i>Bulk Specific Gravity on Dry</i>	2,56	2,58 – 2,83
c.	<i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,61	2,58 – 2,83
d.	<i>Prosentase Absorpsi Air (%)</i>	2,15	< 2
3	Berat Volume		
a.	Kondisi Padat	1592,36	1400 – 1900
b.	Kondisi Gembur	1424,27	1400 – 1900
4	Kadar Air (%)	0,96	< 3
5	Modulus Kehalusan	7,46	5,0 – 8,0

Tabel 5. Hasil pengujian Karakteristik *Steel Slag*

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi
1	Berat Jenis (gr/cm ³)		
a.	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,60	2,58 – 2,83
b.	<i>Bulk Specific Gravity on Dry</i>	2,59	2,58 – 2,83
c.	<i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,59	2,58 – 2,83
d.	<i>Prosentase</i>	0,16	< 2

Absorpsi Air (%)

2	Kadar Air (%)	1,63	< 5
3	Modulus Kehalusan	2,75	1,5 – 3,8
4	Berat Volume		
a.	Kondisi Padat	2205,41	1400 – 1900
b.	Kondisi Gembur	2078,91	1400 – 1900

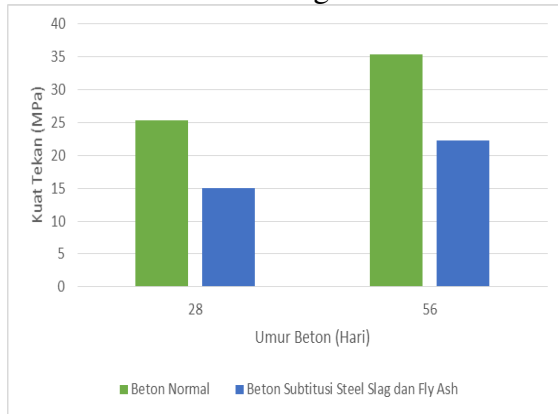
Berdasarkan hasil pemeriksaan yang dilakukan sebanyak dua kali pengujian, maka berat jenis abu terbang yaitu sebesar 2,22 gr/cm³. Menurut penelitian Clarke (Rachmadano, 2004), berat jenis abu terbang berkisar antara 1,90 gr/cm³ sampai dengan 2,72 gr/cm³.

3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu sifat-sifat dari material pembentuk beton, faktor air semen, cara pengadukan, lama pengadukan, cara pemadatan serta perawatan selama proses pengerasan. Proses perawatan beton ini sangat mempengaruhi dalam nilai kuat tekan beton. Pada penelitian ini, benda uji berada pada rendaman air biasa selama 28 hari dan 56 hari, setelah itu didapatkan beberapa hasil kuat tekan berdasarkan rendaman masing-masing. Untuk setiap umur pengujian telah diuji sebanyak lima sampel uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada masing-masing umur rendaman. Dari kelima sampel tersebut didapatkan hasil rata-rata kuat tekan.

Pada beton normal terjadi peningkatan kuat tekan dari 25,3 MPa pada umur 28 hari dan 35,37 MPa pada umur 56 hari. Kenaikan kekuatan beton dari umur 28 hari sampai umur 56 hari adalah sebesar 39,8%. Hasil yang didapatkan pada beton substitusi *steel slag* dan *fly ash* terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 48% yakni 15 MPa pada umur 28 hari dan 22,3 MPa pada umur 56 hari.

Perbandingan hasil kuat tekan beton normal dan beton substitusi *steel slag* dan *fly ash* 20% terdapat penurunan kuat tekan pada beton substitusi *steel slag* dan *fly ash*, dikarenakan beton dengan menggunakan *steel slag* dan *fly ash* 20% memiliki angka permeabilitas yang lebih tinggi dibanding beton variasi abu terbang 0%.



Gambar 1. Grafik Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Substitusi

3.3 Hasil Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan pada benda uji dengan campuran *steel slag* dan *fly ash* 20% saat berumur 28 hari. Pengujian permeabilitas dilakukan pada dua benda uji yang berbeda yaitu beton normal dengan beton variasi *steel slag* dan *fly ash* 20% saat berumur 28 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui angka permeabilitas dari beton dengan substitusi *steel slag* 20% dari berat agregat halus dan *fly ash* 20% dari berat semen terhadap beton normal (0%).

Tabel 6. Hasil Pengujian permeabilitas beton normal

Tipe/Ukuran Benda			
No. Sampel	Uji	Permeabilitas	Rerata
1	Kubus 15x15x15	4,3714	3,9619
2	Kubus 15x15x15	4,0071	
3	Kubus 15x15x15	3,0571	

Tabel 7. Hasil pengujian permeabilitas beton variasi *steel slag* dan *fly ash* 20%

Tipe/Ukuran Benda			
No. Sampel	Uji	Permeabilitas	Rerata
1	Kubus 15x15x15	5,2667	5,5395
2	Kubus 15x15x15	5,7154	
3	Kubus 15x15x15	5,6364	

Permeabilitas beton adalah kemampuan beton merembeskan air. Semakin besar angka permeabilitas beton, semakin rendah kuat tekan beton dan sebaliknya. Berdasarkan hasil pengujian bahwa penggunaan *steel slag* dan *fly ash* 20% memiliki angka permeabilitas lebih tinggi yaitu 5,5395 cm dibanding beton normal 3,9619 cm. Hal tersebut dikarenakan penyerapan *steel slag* yang tinggi cenderung meningkatkan faktor air semen pada campuran beton. Semakin tinggi faktor air semen, maka semakin banyak pula pori-pori yang saling berhubungan sehingga beton mempunyai permeabilitas yang tinggi. Dengan faktor air semen yang tinggi dalam pembuatan beton berarti ada kelebihan air dalam campuran beton. Air ini berguna untuk menambah kelecakan beton sehingga mudah dicetak. Sedangkan air yang diperlukan untuk hidrasi adalah sangat sedikit sehingga sisanya akan menguap. Pada saat air ini menguap dan keluar dari beton maka akan timbul pori-pori yang saling berhubungan hingga mencapai permukaan beton. Pori-pori inilah yang akan menjadi jalan atau kanal bagi gas ataupun zat cair dari luar untuk masuk ke dalam beton. Karena itu beton dengan penyerapan yang tinggi akan meningkatkan angka permeabilitas dari beton tersebut (Nugroho, 2010).

3.4 Hasil Pengujian Porositas

Hasil Pengujian porositas dilakukan pada benda uji dengan variasi *steel slag* dan *fly ash* (20%) dan variasi *steel slag* dan *fly ash* (0%) saat berumur 28 hari. Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa nilai porositas tertinggi terjadi pada beton *steel slag* dan *fly ash* 20% yaitu sebesar 10,02% diikuti dengan beton tanpa *steel slag* dan *fly ash* 20% sebesar 8,72%. Hal ini dikarenakan bahwa nilai porositas beton cenderung naik seiring dengan meningkatnya pemakaian *steel slag* dan *fly ash* terhadap substitusi agregat halus dan semen. Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Porositas Beton

Variasi Beton	Porositas rerata (%)
Beton Normal	8,72
Beton Substitusi <i>Steel Slag</i> dan <i>Fly Ash</i>	10,02

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai penggunaan *steel slag* sebagai substitusi agregat halus dan *fly ash* sebagai substitusi semen pada campuran beton dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas bahwa penggunaan *steel slag* dan *fly ash* 20% memiliki angka permeabilitas lebih tinggi yaitu sebesar 5.5395 cm diikuti beton normal sebesar 3,9619 cm. Hal ini dikarenakan nilai permeabilitas beton cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya pemakaian *steel slag* terhadap substitusi agregat halus dan *fly ash* terhadap substitusi semen.
2. Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa nilai porositas tertinggi terjadi pada beton *steel* dan *fly ash* 20% yaitu sebesar 10,0202% diikuti dengan beton

normal sebesar 8,7239%. Semakin meningkat penggunaan *steel slag* dan *fly ash*, maka semakin meningkat angka porositas pada beton.

3. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton normal terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 39.8% dari 25,3 MPa pada umur 28 hari; 35,37 MPa pada umur 56 hari, sedangkan pengujian kuat tekan beton substitusi *steel slag* terhadap agregat halus dan *fly ash* terhadap substitusi semen terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 48% dari 15 MPa pada umur 28 hari; dan 22,3 MPa pada umur 56 hari.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Proses pembuatan benda uji disarankan untuk mendapatkan perlakuan yang sama untuk setiap benda uji agar tidak terjadi perbedaan sifat mekanik antar beton.
2. Agregat yang digunakan sebagai material benda uji perlu dijaga kualitasnya agar pada saat pengujian karakteristik agregat, nilai-nilai karakteristiknya sesuai standar spesifikasi yang telah ditetapkan.
3. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi *steel slag* dan *fly ash* yang berbeda.

5. DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (ACI) Committee 209.** (1992). *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures*. Journal ACI Committee 209.
- American Concrete Institute (ACI) Committee 211.1.** (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass*

- Concrete. Journal ACI Committee 201.1.
- American Concrete Institute (ACI) Committee 363.** (1992). *State of The Art Report on High Strength Concrete*. Journal ACI Committee 363.
- ASTM C 33.** 1994. *Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- ASTM C 142 – 97.** 1997. *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*. United States: ASTM.
- ASTM D 854 – 02.** 2002. *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. United States: ASTM.
- Dorner, H.W. & Beddoe, R. E.** 2005. *Modelling acid attack on concrete: Part I. The essential mechanisms*. Germany: Technische Universität München
- Fanisa, E.G. P. & Gunawan, T.** (2013). *Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Pasir Dengan W/C 0,60 Dan 0,65*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan. Universitas Sriwijaya
- Kusuma.** (2013). *Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton Mutu Normal*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Mulyono, T.** (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Napitu, E.T.** (2011). *Pengaruh Abu Terbang Terhadap Karakteristik Mekanik Beton Mutu Tinggi*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Nugroho, E.H.** (2010). *Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Panjaitan, A.** (2015). *Pengaruh abu terbang (fly ash) sebagai bahan substitusi semen pada sebagian sifat beton segar dan beton keras*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru: Universitas Riau
- Pradita, S.** (2013). *Pemanfaatan Abu Dasar (Bottom Ash) Sebagai Bahan Substitusi Pasir Pada Beton Mutu Normal*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil. Pekanbaru: Universitas Riau
- Prasetyi, M.D. & Nursyamsi.** (2013) *Pengaruh Kombinasi Slag dan Fly ash Terhadap Beton Ringan Dengan Penambahan Serat Baja (Eksperimental)*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- PT. Krakatau Steel.** 2010. *Kajian Pemanfaatan Slag Baja Untuk Perkerasan Jalan di Lingkungan PT. KS*
- Sihotang, A.** (2001) *Studi Ekspremental Perilaku Beton Dengan Fly Ash Dan Steel Slag Dalam Lingkungan Klorida*. Tesis Jurusan Teknik Sipil. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- SK SNI S-36-1990-03.** (1990). *Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum
- SNI 03-1968-1990.** (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1969-1990.** (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990.** (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1971-1990.** (1990). *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

- SNI 03-1972-1990.** (1990). *Metode Pengujian Slump Beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1973-1990.** (1990). *Metode Pengujian Berat Isi Beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1974-1990.** (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2417-1991.** (1991). *Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2460-1991.** (1991). *Spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2816-1992.** (1992). *Metode pengujian kotoran organik dalam pasir untuk campuran mortar atau beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2847-2002.** (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-6827-2002.** (2002). *Metode pengujian waktu ikat awal semen portland dengan menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2004.** (2004). *Semen Portland*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- Tjokrodinuljo, K.** (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- Timoshenko, S.P dan Gere, J.M.** (1996). *Mekanika Bahan (Terjemahan Oleh Drs. Hans, J. Wospakrik)*. Jilid I. Penerbit Erlangga. Jakarta.