

STUDI KUAT TEKAN BETON BERAGREGAT RAMAH LINGKUNGAN

Ratna Widyawati ¹⁾

Abstrak

Beton ramah lingkungan (green concrete) adalah beton yang tersusun dari material yang tidak merusak lingkungan. Salah satunya berupa penggantian agregat penyusun beton dengan material yang tidak merusak lingkungan. Pada beton ramah lingkungan (green concrete), penggunaan batu pecah (split) sebagai agregat kasar diganti dengan agregat pecahan genteng yang berasal dari tanah liat, agregat buatan dari tanah liat maupun agregat dari limbah hancuran beton. Penelitian ini mengambil topik mengenai kuat tekan beton ramah lingkungan (green concrete), dimana agregat kasar batu pecah diganti dengan agregat pecahan genteng. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui apakah kuat tekan beton ramah lingkungan (green concrete) dengan agregat pecahan genteng memenuhi syarat sebagai beton struktur, apabila kuat tekan yang diperoleh dapat memenuhi syarat tersebut, diharapkan agregat pecahan genteng memenuhi syarat sebagai agregat pengganti.

Benda uji pada penelitian terdiri dari benda uji silinder diameter 150 mm tinggi 300 mm untuk pengujian kuat tekan. Rancang-campur beton ramah lingkungan (green concrete) menggunakan Metoda Dreux-Corrise, karena agregat pecahan genteng yang digunakan masuk pada kategori agregat ringan. Jumlah benda uji adalah 15 buah, terdiri dari masing-masing 3 buah benda uji untuk pengujian kuat tekan 3 hari, 7 hari dan 14 hari, serta 6 buah benda uji untuk pengujian kuat tekan 28 hari.

Dari hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan, diperoleh nilai kuat tekan rata-rata untuk pengujian 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari berturut-turut adalah 7,76 MPa; 9,62 MPa ; 15,43 MPa dan 21,88 MPa. Nilai kuat tekan rata-rata beton ramah lingkungan (green concrete) dengan agregat pecahan genteng sebesar 21,88 MPa (umur 28 hari), tidak mencapai kuat tekan rencana yaitu 27 MPa. Dapat disimpulkan ditinjau dari berat volume padat yang disyaratkan, beton ramah lingkungan (green concrete) dengan agregat pecahan genteng tidak termasuk dalam kategori beton ringan, meskipun agregat yang digunakan termasuk agregat ringan, namun meskipun hasil penelitian tidak mencapai kuat tekan rencana namun kuat tekan beton ramah lingkungan (green concrete) memenuhi syarat kuat tekan beton struktur.

Kata kunci : beton ramah lingkungan, agregat pecahan genteng, kuat tekan.

1. PENDAHULUAN

Beton ramah lingkungan (*green concrete*) adalah beton yang tersusun dari material yang tidak merusak lingkungan. Salah satunya berupa penggantian agregat penyusun beton dengan material yang tidak merusak lingkungan. Contoh kerusakan lingkungan akibat pemanfaatan sumber alam adalah rusaknya perbukitan batu. Meningkatnya kebutuhan material beton memicu penambangan batu, salah satu material penyusun beton sebagai agregat kasar, secara besar-besaran yang menyebabkan turunnya jumlah sumber alam yang tersedia untuk keperluan pembetonan (Suharwanto, 2005). Agregat kasar merupakan bahan penyusun beton yang paling dominan. Pada beton ramah lingkungan (*green concrete*), penggunaan batu pecah (*split*) sebagai agregat kasar dapat diganti dengan agregat pecahan genteng yang berasal dari tanah liat, agregat buatan dari tanah liat maupun agregat dari limbah hancuran beton. Penelitian ini mengambil topik

1) Staf Pengajar Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedung Meneng, Bandarlampung 35145
Telp/Fax : (0721) 788217 / (0721) 704947

mengenai kuat tekan beton ramah lingkungan (*green concrete*), dimana agregat kasar batu pecah diganti dengan agregat pecahan genteng. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui apakah kuat tekan beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng memenuhi syarat sebagai beton struktur, apabila kuat tekan yang diperoleh dapat memenuhi syarat tersebut, diharapkan agregat pecahan genteng memenuhi syarat sebagai agregat pengganti agregat kasar sebagai bahan penyusun beton.

Agregat pecahan genteng dibuat dari pecahan genteng bekas pakai. Agregat jenis ini dapat dikategorikan sebagai agregat ringan buatan dari hasil proses tanah liat yang dibakar. Secara umum agregat ini masih belum banyak dipakai, namun beberapa peneliti sudah banyak meneliti tentang agregat ini untuk dipergunakan sebagai bahan campuran beton. Hasilnya, diperoleh beton yang baik dengan kekuatan hancur sedang (Murdock dan Brook, 1986). Karena agregat pecahan genteng dikategorikan agregat ringan maka agregat tersebut mempunyai karakteristik khas dibandingkan dengan agregat normal (Troxell and Davis, 1956; Gambhir, 1986; Mulyono, 2004). Struktur agregat yang berpori berpengaruh pada berat jenis agregat ringan menjadi lebih rendah dibanding agregat normal. Porositas mempunyai efek yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan dari agregat. Secara umum, semakin besar porositas maka akan semakin rendah kekuatan agregat dan semakin besar berat jenis agregat maka akan semakin besar pula kekuatan agregat.

Karena berbahan dasar tanah liat, proses penyerapan air oleh agregat ringan berlangsung sangat cepat dan akan berkurang seiring bertambahnya waktu. Jumlah air yang diserap tergantung dari struktur pori dan kondisi permukaan agregat. Secara umum, penyerapan air dari agregat ringan bervariasi dari 5 % sampai 20 % berat kering selama 24 jam bergantung kadar pori agregat. Penyerapan air ini sangat penting, karena agregat akan menyerap air ketika terjadi kontak dengan pasta semen. Jika kadar airnya rendah maka akan berakibat *workabilitas* dari beton menurun. Hal ini dapat dihindarkan apabila agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*). Pada keadaan ini agregat sudah tidak dapat menyerap air dari luar sehingga, sebelum dicampurkan dalam adukan sebaiknya agregat ringan dibasahi dahulu dengan air.

2. DASAR TEORI

Kuat tekan beton ditentukan sebagai tegangan normal tekan maksimum dari pengujian tekan silinder beton. Tegangan tekan maksimum dihitung dengan rumus :

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

dengan :

f'_{cs} = kuat tekan (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang silinder beton = $\frac{1}{4} \pi D^2$ (mm²)

Kuat tekan beton yang disyaratkan (karakteristik) ditentukan dengan rumus :

$$f'_c = f_{cr} - 1,64 S \dots\dots\dots (2)$$

$$f_{cr} = \frac{\sum_{i=1}^n f'_{cs_i}}{n} \dots\dots\dots (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{rcs} - f_{cr})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(4)$$

dengan :

- $f'c$ = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)
 f_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (MPa)
 n = Jumlah benda uji
 S = Deviasi standar

3. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland Type I; agregat halus berasal dari Gunung Sugih yang telah dilakukan pemeriksaan terhadap kadar air, berat jenis dan penyerapan, analisa saringan, kadar lumpur dan uji kandungan zat organik (memenuhi standar ASTM C 33). Agregat kasar yang telah dilakukan pemeriksaan terhadap kadar air, berat jenis dan penyerapan, keausan *Los Angeles*. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat pecahan genteng dari Tegineneng Lampung Tengah. Air yang berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung. *Admixture* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sikament NN yang berfungsi sebagai memudahkan pengecoran.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cetakan benda uji silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm digunakan pada pengujian kuat tekan. Satu set saringan untuk mengetahui gradasi agregat dan untuk menentukan modulus kehalusan butir agregat kasar/agregat halus. Penelitian ini menggunakan agregat kasar lolos saringan diameter 19 mm dan tertahan pada saringan No. 4 (± 4.75 mm). Kerucut Abrams digunakan beserta tilam pelat baja dan tongkat besi untuk mengetahui kelecakan adukan (*workability*) dalam percobaan *slump test*. *Compressing Testing Machine* (CTM) merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kuat tekan beton silinder ($d = 150$ mm dan $t = 300$ mm).

Penelitian ini dibagi menjadi enam tahap yaitu : Pemeriksaan bahan campuran beton, pembuatan rencana campuran (*mix design*), pembuatan benda uji, pemeliharaan terhadap benda uji (*curing*), pelaksanaan pengujian, dan analisis hasil penelitian. Sebelum melakukan *mix design*, material harus diperiksa terlebih dahulu untuk mengetahui kualitas material tersebut memenuhi standar yang ditetapkan.

Tabel 1. Spesifikasi Pengujian material

No	Pengujian	Spesifikasi	Keterangan
1	Kadar air agregat halus	0 – 1 %	ASTM C-556
2	Kadar air agregat Kasar	0 – 3 %	ASTM C-556
3	Berat Jenis SSD agregat halus	2 – 2,9 %	ASTM C-128
4	Berat Jenis SSD agregat kasar	1 – 3 %	ASTM C-127
5	Analisa kadar lumpur agregat halus	< 5 %	ASTM C-117

Rencana campuran antara semen, air dan agregat-agregat sangat penting untuk mendapatkan kekuatan beton yang diinginkan. Perancangan adukan beton dimaksudkan untuk memperoleh kualitas beton yang seragam.

Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang akan dibuat terdiri dari silinder diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm, sebanyak 12 buah benda uji dengan komposisi sebagai berikut :

Tabel 2. Benda uji

Benda Uji	Jumlah Benda Uji Sesuai Umur Beton			
	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari
SIL-PG	3	3	3	6

Pemeliharaan terhadap benda uji (*curing*)

Tujuan dari pemeliharaan adalah untuk mencegah terjadinya kehilangan air dalam jumlah besar pada saat bersamaan air yang diperlukan untuk hidrasi tahap awal dan merupakan saat yang kritis. Pencegahan yang dapat dilakukan dengan cara menyiram, merendam, menutupi dengan karung goni yang dibasahi.

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton didapat melalui tata-cara pengujian standar ASTM C-192, pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat CTM dengan cara meletakkan silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) tegak lurus dan memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan 0,15 MPa/detik sampai 0,34 MPa/detik sampai benda uji hancur. Sebelum melakukan pengujian, maka permukaan tekan benda uji silinder harus rata agar tegangan terdistribusi secara merata pada penampang benda uji. Dalam hal ini maka benda uji harus diberi lapisan belerang (*capping*) setebal 1,5 mm sampai 3 mm pada permukaan tekan benda uji silinder. Cara lain dapat juga dilakukan dengan memberi pasta semen. Dari hasil pengujian ini didapat beban maksimum yang mampu ditahan oleh silinder beton sampai silinder beton tersebut hancur.

4. HASIL PENELITIAN

Hasil pengujian kuat tekan beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng adalah sebagai berikut :

4.1. Hasil Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan material dasar campuran beton dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik, kimia, dan mekanik material-material pembentuk beton. Data yang diperoleh dari hasil pemeriksaan material digunakan sebagai acuan dasar dalam mendisain campuran beton, sehingga kekuatan beton yang diperoleh sesuai dengan yang direncanakan. Pemeriksaan material yang perlu dilakukan adalah pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar didasarkan pada spesifikasi ASTM dan SNI 03-2461-2002.

Pemeriksaan terhadap agregat kasar/halus antara lain meliputi pemeriksaan-pemeriksaan modulus kehalusan, kadar air, berat volume, berat jenis, persentase penyerapan, kadar lumpur, dan kandungan zat organik pada agregat halus. Hasil pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar.

No	Jenis Pemeriksaan	Pecahan Genteng	Spesifikasi SNI 03-2461-2002
1.	Modulus kehalusan	6,4	6 – 8
2.	Kadar air (%)	1,11	0 – 3
3.	Berat jenis kondisi SSD	2	1 - 1,8
4.	Berat volume	870	<1040
5.	Persentase penyerapan (%)	17	< 20
6.	Kuat hancur agregat (MPa)	33,5	-

Tabel 4. Hasil pengujian agregat halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi ASTM
1.	Modulus kehalusan	2,49	2,3 - 3,1
2.	Kadar air (%)	0,5	0 – 1
3.	Berat jenis kondisi SSD	2,28	2,5 - 2,7
4.	Persentase penyerapan (%)	1,4	1 – 3
5.	Kadar lumpur (%)	3,4	< 5
6.	Kandungan zat organik (warna)	Lebih Muda	Lebih muda atau sama
7.	Berat volume	1560 kg/m ³	1200 kg/m ³

Hasil pemeriksaan agregat halus menunjukkan berat volume (1560 kg/m³) > berat volume spesifikasi untuk beton ringan (1200 kg/m³). Perbedaan yang cukup besar yaitu sebesar 360 kg/m³ (30%) bisa menyebabkan berat volume beton ramah lingkungan (*green concrete*) lebih berat daripada spesifikasi berat volume beton ringan, sehingga meskipun memakai agregat pecahan genteng yang termasuk agregat ringan, namun beton ramah lingkungan (*green concrete*) tidak termasuk beton ringan.

4.2. Rancang Campur Beton Ringan

Dalam penelitian ini rancang campur beton ringan menggunakan metode *Dreux-Corrise*. Perhitungan komposisi bahan-bahan penyusun beton dengan kuat tekan (f'_c) rencana 27 MPa. Sehingga diperoleh komposisi bahan penyusun beton seperti pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Berat bahan penyusun beton ringan dengan agregat pecahan genteng

Kode	Berat Bahan (kg)			
	Semen	Pasir	Air	Agregat Kasar
SIL-PG	387,5	537,12	193,75	903,44

4.3. Keleccakan (*workability*)

Pada penelitian ini, metode pengujian yang dipakai untuk mengetahui keleccakan beton adalah pengujian *slump* (*slump test*) sesuai dengan ASTM C 143-90a. Adukan beton dikatakan mudah pengerjaannya bila nilai *slump* tersebut masih dalam batas nilai *slump* rencana. Sebenarnya pengujian slump hanya untuk mengetahui konsistensi (kekentalan)

adukan, bukan untuk mengetahui tingkat *workability* yang tepat. Untuk mengetahui tingkat *workability* yang tepat digunakan pengujian-pengujian antara lain uji faktor pemadatan, *VB-test*, dan *Inverted Slump Cone Test*. Tetapi untuk tingkat sederhana dapat digunakan *slump test*. Hasil pengujian *slump* untuk masing-masing adukan beton dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Slump*

KodeBeton	f.a.s	Nilai uji <i>slump</i> (mm)	Nilai <i>slump</i> rencana (mm)
SIL-PG	0,5	65	75 – 100

4.4. Berat Volume Beton Ramah Lingkungan

Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, benda uji silinder beton terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui beratnya. Berat volume benda uji diperoleh dengan membagi berat dengan volume masing-masing benda uji. Berat volume masing-masing benda uji dan berat volume rata-rata benda uji beton ringan disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Berat volume padat rata-rata beton ringan hasil pengujian

Kode Benda Uji	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji	Berat Volume Padat Rata-Rata (kg/m ³)
SIL-PG03	3	3	2056,20
SIL-PG07	7	3	2103,35
SIL-PG14	14	3	2023,45
SIL-PG28	28	6	2088,15

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa dari beberapa hasil yang diperoleh berat volume padat beton dengan agregat pecahan genteng melampaui ketentuan batas berat volume padat beton ringan sesuai standar ACI 213R-79 yaitu 1400 – 1850 kg/m³, namun tidak mencapai berat volume padat beton normal sesuai standar SNI 2002 yaitu 2400 kg/cm³.

Berat volume padat beton dengan agregat ringan yang kering udara sangat bervariasi, tergantung pada pemilihan agregat yang dipergunakan. Pada penelitian ini agregat halus (pasir) yang digunakan adalah pasir alam (pasir sungai). Dari Tabel 4 diketahui pasir alam yang digunakan sebagai agregat halus memiliki berat volume sebesar 1560 kg/m³, yang melampaui standar berat volume agregat halus untuk beton ringan yaitu sebesar 1200 kg/m³. Besarnya berat volume agregat halus ini akan berpengaruh pada berat (massa) beton yang dihasilkan.

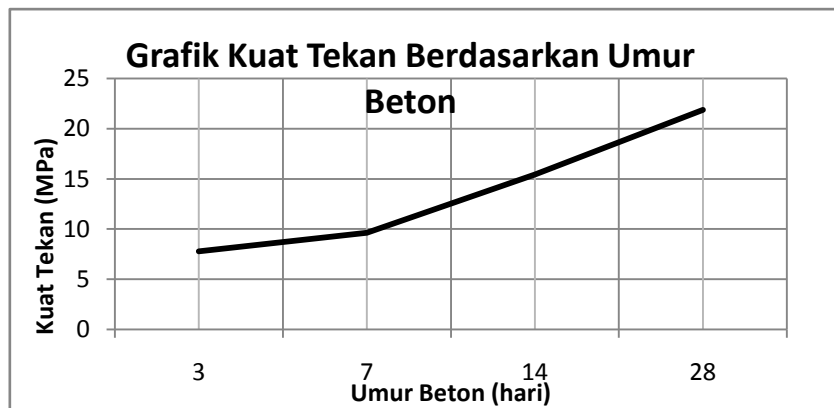
Dari uraian tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan material pasir alam dari Way Seputih untuk campuran beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng menghasilkan berat (massa) beton melampaui batas persyaratan berat beton ringan (1850 kg/m³). Sehingga beton ramah lingkungan tidak termasuk beton ringan.

4.5. Kuat Tekan Beton

Dari pengujian beban tekan terhadap benda uji didapatkan beban tekan maksimum (P). Kuat tekan beton diperoleh dengan membagi beban tekan maksimum dengan luas penampang benda uji. Hasil kuat tekan rata-rata diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan beton

Kode Benda Uji	Umur (hari)	Kuat Tekan, f'cs (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata, f'cr (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Ditargetkan f'cr (MPa)
SIL-PG03-1	3	7,36	7,76	27,00
SIL-PG03-2	3	7,84		
SIL-PG03-3	3	8,08		
SIL-PG07-1	7	9,75	9,62	
SIL-PG07-2	7	9,98		
SIL-PG07 -3	7	9,12		
SIL-PG14-1	14	15,44	15,43	
SIL-PG14-2	14	15,78		
SIL-PG14-3	14	15,07		
SIL-PG28-1	28	20,94	21,88	
SIL-PG28-2	28	19,81		
SIL-PG28-3	28	19,52		
SIL-PG28-4	28	20,94		
SIL-PG28-5	28	22,64		
SIL-PG28-6	28	22,07		



Gambar 2. Grafik kuat tekan berdasarkan umur beton

Pada Tabel 8 dan Gambar 2 menunjukkan kekuatan beton meningkat seiring bertambahnya umur untuk beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng.

Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata rencana (yang ditargetkan) tidak tercapai. Tidak tercapainya kekuatan beton hasil percobaan dengan kuat tekan rencana dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain faktor air semen, tingkat pemadatan, jenis semen dan kualitasnya, jenis dan lekukan bidang permukaan agregat, kondisi/cara dari perawatan, suhu, dan umur beton (Murdock dan Brook, 1979). Nilai kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh sifat agregat kasarnya. Agregat yang pecahan genteng yang berasal dari hasil pembakaran tanah liat. Sifat dari tanah liat mudah menyerap air, sehingga sifat agregat ini tidak padat. Kepadatan agregat sangat mempengaruhi besarnya kekuatan beton yang dihasilkan terkait dengan kemampuannya menahan beban, sedangkan fungsi agregat dalam beton adalah mengisi sebagian besar volume beton yaitu antara 50 – 80 % sehingga sifat dan mutu agregat sangat berpengaruh terhadap sifat dan mutu beton.

Tidak terpenuhinya kuat tekan beton rencana ini juga disebabkan oleh tingkat kelecakan adukan beton yang rendah, hal tersebut terjadi karena sebagian air dari pasta semen

diserap oleh agregat kasar. Karena kelecakan adukan rendah, pemadatan sulit dilakukan secara optimal, sehingga menyebabkan penyebaran agregat menjadi tidak merata serta masih terdapat rongga-rongga udara yang terperangkap dalam beton. Hal ini terlihat pada saat cetakan beton dibuka, pada benda uji masih terdapat lubang-lubang kecil yang mengurangi kekuatan beton.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan rata-rata beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng tidak mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ditinjau dari berat volume padat yang disyaratkan, beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng tidak termasuk dalam kategori beton ringan, meskipun agregat yang digunakan termasuk agregat ringan.
2. Berat volume padat beton ramah lingkungan (*green concrete*) yang diperoleh dari hasil pengujian sebesar 2067,79 MPa melampaui melampaui batas persyaratan berat beton ringan (1850 kg/m^3) namun tidak mencapai berat beton normal (2400 kg/cm^3).
3. Nilai kuat tekan rata-rata beton ramah lingkungan (*green concrete*) dengan agregat pecahan genteng yaitu sebesar 21,88 MPa, tidak mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan yaitu 27 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI, *Code Requirements for Reinforced Building Concrete ACI 318 M-83*, Detroit : American Concrete Institute, 1983
- Fiandra, Firda. 2011. *Perbedaan Nilai Kuat Tekan Beton Ringan ALWA dengan Metode-metode Dreux-Corrise, ACI dan SNI*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Lampung.
- Hartanto, Susetyo. 2011. *Beberapa Metode Perencanaan Campuran Beton Ringan dengan Bahan Dasar Tanah Lempung Bakar dan Limbah Pecahan Genteng*. Laporan Penelitian Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Lampung.
- Hartono,Widi. 2001. *Merancang Campuran Beton Ringan Struktural Agregat Kasar ALWA Menurut Metode Dreux-Corrise*. Gema Teknik Volume I/Tahun IV. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Gambhir, M.L. 2004. *Concrete Technology*. Tata McGraw Hill Education. New York.
- Murdock, L.J. Brook, K.M. 1979. *Concrete Material and Practice*. 5th Edition. E. Arnold. London.
- Suharwanto, 2005. *Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang*. Departemen Teknik Sipil. Institut Teknologi Bandung.
- Tjokrodinuljo,Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Troxell, J.W. Davis, H.E. 1956. *Composition and Properties of Concrete*. McGraw Hill Education. New York.
- Wang,C.K. dan Salmon,C.G. 1993. (Alih bahasa oleh Binsar Hariandja). *Disain Beton Bertulang*. Edisi Keempat. Erlangga. Jakarta.