

TINJAUAN KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH BATU CANDI SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR

Winda Gusanti¹⁾, Kusno Adi Sambowo²⁾, Wibowo³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

Email: windagessygusanti@yahoo.com

Abstract

Nowadays the use of concrete is increasing but the concrete raw materials fulfillment is decreasing. In this case, one of alternative is to be replaced the coarse aggregate with lava stone waste obtained from the production residue of natural stone craftsmen in Sambirejo, Prambanan, Yogyakarta. The purpose of this research was to determine the concrete compressive strength, modulus of elasticity of concrete with lava stone waste as substitute for coarse aggregate, and determine the maximum ratio of lava stone waste as the coarse aggregate in terms of compressive strength and modulus of elasticity appropriate quality targeted.

The method used in this research is the experimental method. Samples form is made as cylinder with 15 cm of diameter and 30 cm of high. Targeted quality of concrete is 25 MPa with lava stone percentage levels of 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% replaces the coarse aggregate.

The compressive strength of concrete decreased at comparable levels with the addition of lava stone as the coarse aggregate. Value of the average compressive strength of concrete at 28 days was 36,768 MPa (lava stone 0%); 31,300 MPa (lava stone 20%); 28,283 MPa (lava stone 40%); 27,152 MPa (lava stone 60%); 25,266 MPa (lava stone 80%); and 24,135 MPa (lava stone 100%). Modulus of elasticity was also decreased levels comparable to the addition of the lava stone. Average modulus of elasticity value is 22818,000 MPa (lava stone 0%), 18832,333 MPa (lava stone 20%), 16462,333 MPa (lava stone 40%), 15870,667 MPa (lava stone 60%), 15098,000 MPa (lava stone 80%), and 13933,333 MPa (lava stone 100%). Concrete qualified targeted quality is lava stone concrete with the maximum level to 80% with average compressive strength is 25,266 MPa.

Key words : lava stone, compressive strength, modulus of elasticity

Abstrak

Dewasa ini penggunaan beton semakin meningkat tetapi pemenuhan akan bahan baku beton semakin berkurang. Dalam hal ini, salah satu alternatifnya adalah agregat kasar akan diganti dengan limbah batu candi yang diambil dari sisa hasil produksi pengrajin batu alam di kawasan Sambirejo, Prambanan, Yogyakarta. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan beton, nilai modulus elastisitas beton dengan limbah batu candi sebagai pengganti agregat kasar, dan mengetahui perbandingan maksimum penggantian limbah batu candi terhadap agregat kasar terhadap kuat tekan dan modulus elastisitasnya sesuai mutu yang ditargetkan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Mutu beton yang ditargetkan adalah 25 MPa dengan persentase kadar batu candi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% menggantikan agregat kasar.

Nilai kuat tekan pada beton mengalami penurunan sebanding dengan penambahan kadar batu candi terhadap agregat kasar. Nilai kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari adalah 36,768 MPa (batu candi 0%); 31,300 MPa (batu candi 20%); 28,283 MPa (batu candi 40%); 27,152 MPa (batu candi 60%); 25,266 MPa (batu candi 80%); dan 24,135 MPa (batu candi 100%). Nilai modulus elastisitas pada beton juga mengalami penurunan sebanding dengan penambahan kadar batu candi. Nilai modulus elastisitas rata – rata adalah 22818,000 MPa (batu candi 0%), 18832,333 MPa (batu candi 20%), 16462,333 MPa (batu candi 40%), 15870,667 MPa (batu candi 60%), 15098,000 MPa (batu candi 80%), dan 13933,333 MPa (batu candi 100%). Beton yang memenuhi syarat mutu yang ditargetkan adalah kadar batu candi maksimum 80% dengan kuat tekan rata – rata 25,266 MPa.

Kata kunci : batu candi, kuat tekan, modulus elastisitas

PENDAHULUAN

Dalam bidang teknik sipil secara umum, tidak lepas dari penggunaan beton. Sebagai konsekuensinya, kebutuhan akan bahan-bahan pembentuk beton akan selalu bertambah. Yang pada akhirnya persediaan bahan baku beton akan semakin berkurang. Salah satunya adalah bahan bangunan berupa agregat yang merupakan bahan dasar dalam pembuatan beton. Agregat merupakan komponen yang paling banyak dalam unsur pembuat beton dan berperan dalam menentukan mutu beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60%-80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat. Agregat yang baik bisa diperoleh dari batu pecah alam yang berasal dari gunung berapi

dan juga dapat diperoleh dari pengikisan tepi ataupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir secara alami atau disebut sedimentasi.

Daerah Sambirejo, Prambanan, Yogyakarta merupakan daerah produsen batu-batu alam yang terbesar di daerah ini. Walaupun baru beroperasi sekitar 5 tahun tetapi limbah batu yang dihasilkan sudah cukup besar karena hampir 70 % penduduknya menggeluti profesi ini. Batu yang diproduksi di daerah ini ada 4 jenis yaitu Batu Candi (Lava Stone), Batu Breksi, Batu Paras, dan Batu Semin. Untuk Batu Candi sendiri dihasilkan langsung dari aktivitas penambangan di Gunung Merapi Yogyakarta.

Dari kebutuhan bahan baku beton, khususnya agregat kasar, yang terus bertambah, perlu kiranya untuk mencarikan bahan alternatif pengganti agregat yang selama ini umum digunakan, dengan bahan lain yang sesuai dengan persyaratan teknis dan ekonomis. Dalam hal ini, pemenuhannya dengan menggunakan alternatif bahan yang berupa limbah batu candi dari kawasan produsen batu alam di Sambirejo. Yang selain dapat digunakan untuk pemenuhan agregat kasar dalam unsur pembentuk beton maupun dalam rangka pengurangan limbah batu candi yang sudah tidak digunakan lagi.

Dalam penelitian ini, limbah batu candi digunakan sebagai pengganti agregat kasar dalam berbagai proporsi campuran yang ditinjau dari kuat tekan dan modulus elastisitasnya. Kuat tekan merupakan parameter utama mutu beton demikian juga dengan modulus elastisitas. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kualitas bahan, rancang campuran, dan cara pengerjaan pembuatan beton. Kualitas bahan dalam hal ini juga termasuk kualitas agregat kasar. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian yang membahas penggunaan limbah batu candi sebagai agregat kasar terhadap nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton pada beton normal. Sehingga nantinya dapat dilihat penggunaan limbah batu candi dapat diaplikasikan pada beton normal.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambah dengan perbandingan tertentu yang kemudian membentuk suatu massa yang padat. Dari bahan-bahan pembentuk beton tersebut semen merupakan bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. (Chiu-Kia Wang, 1986)

Beragam-macam jenis batu, bila mana dipecah cocok untuk agregat kasar beton yaitu : 1) Batu kapur, 2) *Sandstone*, 3) Batu Tulis, dan 4) Batuan Metamorfosa. (Murdock dan Brook, 1991 : 28)

Sifat-sifat beton keras yang penting adalah kekuatan karakteristik, kekuatan desak, tegangan-regangan, susut rangkai, reaksi terhadap temperature, keawetan, dan kedekatan air terhadap air. Dari sifat-sifat tersebut yang terpenting dan berkaitan dengan kekuatan beton adalah kuat desak. Dalam hal ini kuat desak beton merupakan gambaran dari mutu beton yang ada kaitannya dengan struktur beton. Alasan lain kuat desak beton merupakan parameter terpenting adalah beton lebih tahan terhadap desak daripada tarik. (Subakti, 1994 :IV-1)

Tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan. Modulus elastisitas tidak berkaitan langsung dengan sifat-sifat beton lainnya, meskipun kekuatan yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga E yang lebih tinggi pula. (Murdock dan Brook, 1991 : 11)

Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Nilai kuat tekan beton didapat melalui pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Sedang untuk pengujian kuat tekan dapat diformulasikan sebagai berikut [1]:

$$f'c = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots [1]$$

dimana:

- fc' : kuat tekan beton salah satu benda uji (MPa)
- P : beban tekan maksimum (kN)

A : luas permukaan benda uji (mm²)

Modulus Elastisitas

Kajian tentang hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan perencanaan suatu bagian struktur. Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan perubahan bentuk yang terjadi pada bahan itu amat tergantung pada sifat tegangan dan regangan tersebut.

Menurut Murdock dan Brook (1991:2), modulus elastisitas yang sebenarnya atau modulus pada waktu tertentu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [2] :

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = \frac{P}{A} \cdot \frac{L}{\Delta L} \quad [2]$$

Dimana:

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad [3]$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta L}{L} \quad [4]$$

P : beban yang diberikan (ton)

A : luas tampang melintang (mm²)

ΔL : perubahan panjang akibat P (mm)

L : panjang semula (mm)

Atau modulus elastisitas dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Modulus Elastisitas (EC)} = \frac{S_1 - S_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \quad [5]$$

Dimana:

EC : modulus elastisitas (MPa)

S1 : tegangan 40% fc' (MPa)

S2 : tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,00005 (MPa).

ε1 : regangan longitudinal akibat tegangan S1

ε 2 : regangan longitudinal akibat tegangan S2

$$\text{dengan regangan } (\epsilon) = \frac{\delta}{h} \quad [6]$$

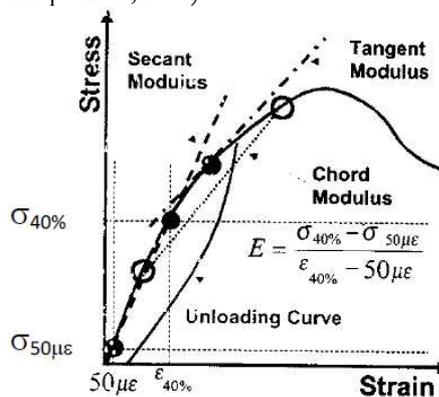
dimana:

δ : deformasi longitudinal (mm)

h : tinggi efektif pengukuran (mm)

Dengan berdasarkan formulasi tersebut maka dapat dihitung nilai modulus elastisitas beton.

Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (ASTM STP 169D Chapter 19,1994).



Gambar 1. Macam-macam Bentuk Modulus Elastisitas

METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah adanya perkuatan beton dengan menggantikan agregat kasar beton dengan limbah batu candi pada campuran adukan beton. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kuat tekan dan besarnya modulus of elasticity (MOE).

Benda uji dibuat dengan material pembentuk beton terdiri dari semen, kerikil, pasir dan limbah batu candi sebagai pengganti agregat kasar dengan variasi penggantian 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dari berat kerikil. Jumlah sampel masing-masing variasi sebanyak 3 buah.

Tahapan – tahapan pelaksanaan penelitian adalah 1) Persiapan, 2) Pengujian bahan, 3) Pembuatan *mix design*, 4) Pembuatan benda uji, 5) Perawatan benda uji, 6) Pengujian benda uji, 7) Analisis Data, dan 8) Pengambilan kesimpulan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus (Pasir) dalam penelitian ini meliputi pengujian kandungan zat organik, kandungan lumpur, *specific gravity* dan gradasi.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan Zat Organik	Larutan NaOH 3% berwarna kuning tua	Kuning Muda	Memenuhi Syarat (dicuci terlebih dahulu)
Kandungan Lumpur	10%	Maksimum 5%	Memenuhi Syarat (dicuci terlebih dahulu)
Bulk Spesific Gravity	2,48	-	-
Bulk Spesific Gravity SSD	2,53	2,5 - 2,7	Memenuhi Syarat
Apparent Spesific Gravity	2,59	-	-
Absorption	1,63%	-	-
Modulus Halus Butir	2,80	2,3 - 3,1	Memenuhi Syarat

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir) Setelah Dicuci

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan Zat Organik	Larutan NaOH 3% berwarna kuning muda	Kuning Muda	Memenuhi Syarat
Kandungan Lumpur	4%	Maksimum 5%	Memenuhi Syarat

Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar dalam penelitian ini meliputi pengujian abrasi, gradasi agregat dan *specific gravity*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar (Kerikil)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Bulk Spesific Gravity	2,40	-	-
Bulk Spesific Gravity SSD	2,51	2,5 – 2,7	Memenuhi Syarat
Apparent Spesific Gravity	2,69	-	-
Absorption	4,60 %	-	-
Modulus Halus Butir	7,29	5 – 8	Memenuhi Syarat
Abrasi	41,05 %	Maksimum 50 %	Memenuhi Syarat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar (Batu Candi)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Bulk Spesific Gravity	2,06	-	-

Bulk Specific Gravity SSD	2,23	2,5 – 2,7	Tidak Memenuhi Syarat
Apparent Specific Gravity	2,48	-	-
Absorption	8,17 %	-	-
Modulus Halus Butir	7,20	5 – 8	Memenuhi Syarat
Abrasi	43,05 %	Maksimum 50%	Memenuhi Syarat

Mix Design

Mix Design yang digunakan adalah dengan metode SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton yang ditargetkan 25 MPa. Hasil *mix design* dapat dilihat pada tabel 5. berikut :

Tabel 5. Kebutuhan Bahan untuk 3 Benda Uji Tiap Variasi

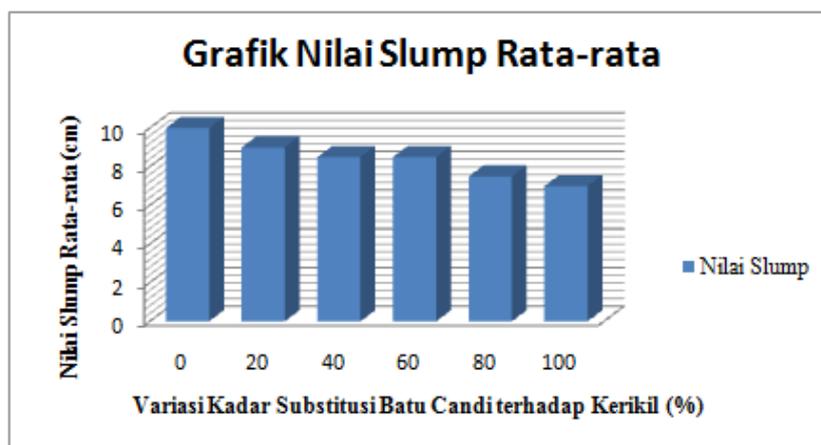
Variasi Kadar Substitusi Batu Candi (%)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (liter)	Batu Candi (kg)
100 %	7,41	10,80	0	3,26	15,04
80 %	7,41	10,80	3,01	3,26	12,03
60 %	7,41	10,80	6,02	3,26	9,02
40 %	7,41	10,80	9,02	3,26	6,02
20 %	7,41	10,80	12,03	3,26	3,01
0 %	7,41	10,80	15,04	3,26	0

Uji Slump

Dari masing-masing campuran adukan beton pada beton normal tersebut didapatkan nilai *slump* yang berbeda-beda. Nilai *slump* diperlukan untuk mengetahui tingkat *workability* dari campuran beton. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada tabel 6. sebagai berikut

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Variasi Kadar Batu Candi (%)	0	20	40	60	80	100
Nilai <i>Slump</i> Rata-rata (cm)	10	9	8,5	8,5	7,5	7



Gambar 2. Diagram Hubungan Nilai *Slump* Rata-rata dengan Variasi Kadar Batu Candi

Nilai *slump* mengalami penurunan disebabkan adanya campuran batu candi terhadap kerikil sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Semakin banyak kadar batu candi yang digunakan, campuran beton yang dihasilkan cenderung memiliki nilai *slump* yang lebih rendah, karena batu candi bersifat *porous* (berpori) sehingga meskipun pengadukan dilakukan dalam kondisi kering permukaan (SSD = *Saturated Surface Dry*), batu candi tersebut tetap menyerap sedikit air dari campuran beton. .

Kuat Tekan

Pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari, dari pengujian tegangan yang dilakukan dengan menggunakan mesin uji desak (*Compressing Testing Machine*) merk Controls didapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur (P_{maks}). Hasil hubungan kuat tekan beton rerata terhadap kadar substitusi batu candi dapat dilihat pada gambar 3. berikut :



Gambar 3. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton Rata-rata dengan Kadar Batu Candi

Dari hasil penelitian, diketahui seberapa besar pengaruh variasi jumlah kadar penggunaan batu candi sebagai pengganti kerikil terhadap nilai kuat tekan beton. Pengaruh variasi kadar penggunaan batu candi sebagai pengganti kerikil dapat dilihat pada tabel 7. berikut :

Tabel 7. Pengaruh Penggunaan Kadar Batu Candi sebagai Pengganti Kerikil terhadap Kuat Tekan

No	Kadar Batu Candi	Kuat Tekan Beton dengan Batu Candi (MPa)	Kuat Tekan Beton Tanpa Batu Candi (MPa)	Selisih Kuat Tekan	
				(MPa)	%
1	20%	31,300	36,768	5,468	14,872
2	40%	28,283		8,485	23,077
3	60%	27,152		9,616	26,135
4	80%	25,266		11,502	31,283
5	100%	24,135		12,633	34,359

Berdasarkan hasil pengujian tersebut diatas dapat diketahui bahwa :

1. Evaluasi pengujian kuat tekan beton dari 6 variasi kadar batu candi tidak ada dari benda uji yang kurang dari 17,5 MPa (Standart kuat tekan minimum beton normal untuk bangunan menurut SNI-03-2847-2002)
2. Kuat tekan beton untuk kadar batu candi 0% memenuhi syarat beton normal yang ditargetkan yaitu 25 MPa dan 35,65 MPa (ditambah margin), kadar 20%, 40%, 60%, dan 80% memenuhi mutu beton normal yang ditargetkan 25 MPa sedangkan untuk 100% belum memenuhi mutu beton yang ditargetkan.
3. Berdasarkan tabel 7. jika ditinjau dari variasi kadar batu candi yang dipakai tampak bahwa kuat tekan beton menurun antara 14,872% sampai 34,359%.

Modulus Elastisitas

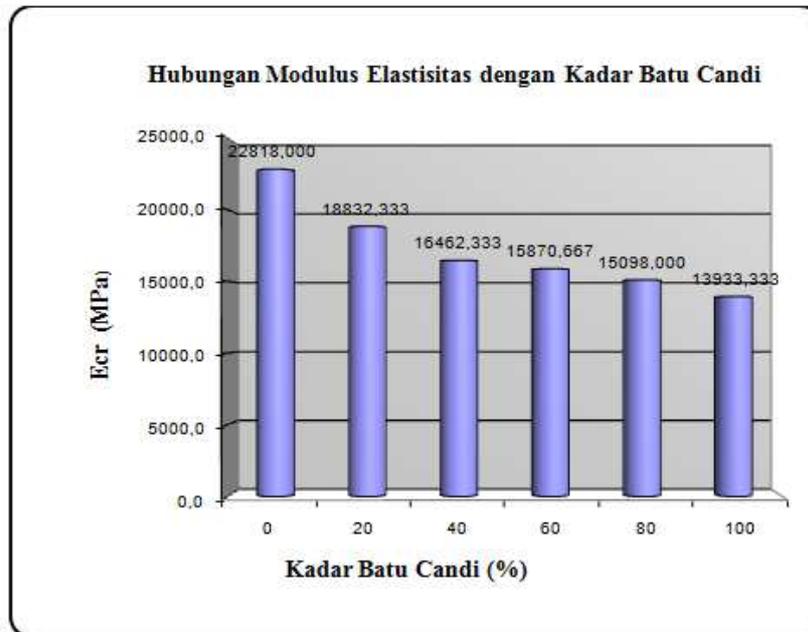
Data hasil pengujian tegangan dan regangan aksial diolah dengan menggunakan program *Microsoft Excel* sehingga akan diperoleh hubungan tegangan-regangan aksial pada setiap benda uji. Maka didapat persamaan regresi seperti tertera pada Tabel 8. dan hubungan modulus elastisitas dengan kadar batu candi pada Gambar 4. berikut :

Tabel 8. Persamaan Regresi Fungsi Tegangan-Regangan Aksial Beton

No	Kode	Persamaan Regresi	No	Kode	Persamaan Regresi
1	BC0.1	$Y = 21525 X$	10	BC60.1	$Y = 11891 X$
2	BC0.2	$Y = 24971 X$	11	BC60.2	$Y = 18876 X$
3	BC0.3	$Y = 21958 X$	12	BC60.3	$Y = 16845 X$
4	BC20.1	$Y = 12970 X$	13	BC80.1	$Y = 8267 X$

5	BC20.2	$Y = 21464 X$	14	BC80.2	$Y = 9133 X$
6	BC20.3	$Y = 22063 X$	15	BC80.3	$Y = 27714 X$
7	BC40.1	$Y = 22598 X$	16	BC100.1	$Y = 4132 X$
8	BC40.2	$Y = 16031 X$	17	BC100.2	$Y = 31251 X$
9	BC40.3	$Y = 10758 X$	18	BC100.3	$Y = 6417 X$

X = Regangan Aksial (mm)
Y = Tegangan (MPa)



Gambar 3. Diagram Hubungan Modulus Elastisitas dengan Kadar Batu Candi

Modulus elastisitas beton ditentukan dari hubungan antara tegangan dan regangan pada daerah elastis. Berikut adalah pengaruh kadar batu candi terhadap modulus elastisitas :

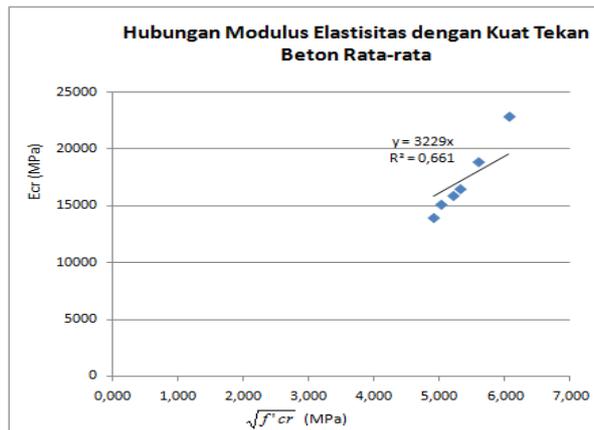
Tabel 9. Pengaruh Penggunaan Kadar Batu Candi Sebagai Pengganti Kerikil Terhadap Modulus Elastisitas

No	Kadar Batu Candi	MOE Beton dengan Batu Candi (MPa)	MOE Beton Tanpa Batu Candi (MPa)	Selisih MOE (MPa)	%
1	20%	18832,333	22818,000	3985,667	17,467
2	40%	16462,333		6365,667	27,898
3	60%	15870,667		6947,333	30,447
4	80%	15098,000		7720,000	33,833
5	100%	13933,333		8884,667	38,937

Berdasarkan tabel 9. jika ditinjau dari variasi kadar batu candi yang dipakai tampak bahwa modulus elastisitas beton menurun antara 17,467% sampai 38,937%. Penggunaan batu candi memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dari nilai modulus elastisitas pada beton normal dengan menggunakan pasir.

Hubungan Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Dengan memasukkan data $\sqrt{f'c}$ dan modulus elastisitas ke dalam analisis regresi pada program Microsoft excel, didapatkan grafik hubungan $\sqrt{f'c}$ dan E_c serta persamaan regresi *linear* yang ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Dari grafik dapat diketahui bahwa hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan pada penelitian memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 3229 \sqrt{f'_{cr}} \quad [7]$$

(Rumus empiris hasil regresi *linear* dari gambar 4.)

SIMPULAN

Dari penelitian ini, maka dapat kesimpulan sebagai berikut : 1) Kuat tekan beton yang didapatkan antara 37 MPa sampai 24 MPa, memenuhi standar SNI-03-2847-2002 yaitu beton normal yang mempunyai nilai kuat tekan 17,5-40 MPa dan menurut SNI-03-2847-2002 masuk pada beton kelas III diatas 20 MPa atau mutu sedang menurut ACI-363R-92 sehingga dapat digunakan untuk bangunan struktural seperti jembatan, bangunan tinggi, dll, 2) Nilai kuat tekan beton untuk kadar batu candi 0% hingga 80% memenuhi syarat beton normal yang ditargetkan yaitu 25 MPa. Sedangkan untuk beton dengan kadar batu candi 100% tidak memenuhi syarat mutu beton yang ditargetkan, Nilai modulus Elastisitas beton dari hasil perhitungan diperoleh rumus $E = 3229 \sqrt{f'_{cr}}$ sedikit dibawah rumus nilai modulus elastisitas beton normal menurut SNI 03-2847-2002 yaitu $E = 4700 \sqrt{f'_{cr}}$, sehingga batu candi layak digunakan sebagai pengganti kerikil untuk memenuhi standar beton struktural,, 3) Berat jenis beton sangat berpengaruh terhadap modulus elastisitas. Modulus elastisitas menurun linier sebanding dengan menurunnya berat jenis beton karena penambahan kadar batu candi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada bapak Kusno Adi Sambowo dan bapak Wibowo yang senantiasa membimbing saya sampai terselesainya penelitian ini.

REFERENSI

- ACI Committee 318, 1992. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary*, ACI 318-89 (Revised 92) and ACI 318R-89 (Revised 96). Detroit. MI.
- Anonim. 1988. Annual Book Of American Society For Testing And Materials Standart (ASTM). Philadelphia
- Anonim, 2002, SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Beta Version). Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- Mulyono Tri.2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Murdock, L.J & Brook, K.M, (alih bahasa: Stephanus Hendarko). 1991. *Bahan dan Praktek Beton*. Erlangga. Jakarta.
- Subakti, Aman. 1994. *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember .
- Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Gajah Mada Press.Yogyakarta.
- Wang, Chiu Kia. 1986. *Desain Beton Bertulang 1*. Jakarta : Erlangga.