

## HUBUNGAN ANTARA KARAKTERISTIK BETON MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR *LIGHTWEIGHT EXPANDED CLAY AGGREGATE (LECA)*

I Ketut Sudarsana<sup>1</sup>, I Gede Astawa Diputra<sup>2</sup> dan Ni Made Dwi Ari Astuti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Sipil Universitas Udayana  
Email:ksudarsana@unud.ac.id

### ABSTRAK

Beton ringan merupakan beton yang terbuat dari agregat ringan dan memiliki berat volume berkisar antara 1140-1840 kg/m<sup>3</sup>. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara karakteristik beton yang menggunakan agregat kasar LECA yang dirancang dengan proporsi campuran beton ringan menurut standard SNI 03-3449-2002 dengan kuat tekan rencana 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Adapun karakteristik beton yang ditinjau meliputi nilai *slump*, berat volume, kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Setiap proporsi campuran dibuat benda uji silinder standar ASTM sebanyak 8 buah, sehingga ada 24 buah benda uji untuk ketiga campuran yang ditinjau. Proporsi campuran beton yang diperoleh untuk mutu rencana 20 MPa adalah 1 : 1,16 : 2,46 dengan nilai faktor air semen (fas) sebesar 0,6, untuk mutu rencana 25 MPa adalah 1 : 0,91 : 1,99 dengan fas sebesar 0,52, dan untuk mutu rencana 30 MPa adalah 1 : 0,65 : 0,94 dengan fas sebesar 0,4. Hasil penelitian memperoleh nilai *slump* campuran sebesar 155 mm, 145 mm, dan 120 mm masing-masing untuk mutu rencana 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Nilai berat volume beton LECA berkisar antara 1564-1692 kg/m<sup>3</sup> sehingga termasuk kategori beton ringan. Nilai kuat tekan beton ringan LECA adalah sebesar 22-42% dari mutu rencananya, dan dikategorikan sebagai beton non structural. Sedangkan kuat tarik belah yang dihasilkan adalah sebesar 12 - 18% dari nilai kuat tekan yang dihasilkan. Peningkatan nilai kuat tekan beton LECA juga dapat meningkatkan kuat tarik belah dan nilai modulus elastisitasnya.

**Kata kunci:** beton ringan, agregat LECA, karakteristik beton, kuat tekan, kuat tarik

## RELATIONSHIP BETWEEN CHARACTERISTICS OF LIGHTWEIGHT CONCRETE USING LIGHTWEIGHT EXPANDED CLAY AGGREGATE (LECA)

### ABSTRACT

Lightweight concrete is a concrete made of lightweight aggregates and has a volume weight ranging from 1140-1840 kg/m<sup>3</sup>. This research was conducted to find out the correlation between concrete characteristics using LECA coarse aggregate that proportioned for lightweight concrete mixture according to SNI 03-3449-2002 standard with target compressive strength of 20 MPa, 25 MPa, and 30 MPa. The studied characteristics of the LECA concrete include the value of slump, volume weight, compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity. Each mix proportion was made 8 cylinder specimens of ASTM standard, so there were 24 test specimens for the three studied mixtures. The proportion of concrete mixture obtained for the target strength of 20 MPa is 1 : 1.16 : 2.46 with the value of cement water ratio (w/c) of 0.6, for the concrete strength of 25 MPa is 1 : 0.91 : 1.99 with the w/c of 0.52, and for the quality of the strength of 30 MPa is 1 : 0.65 : 0.94 with the w/c of 0.4. The test results obtained the mixed slump value of 155 mm, 145 mm, and 120 mm for the target concrete strength of 20 MPa, 25 MPa, and 30 MPa, respectively. The volume-weight value of LECA concrete ranges from 1564-1692 kg/m<sup>3</sup> so that it is categorized as a lightweight concrete. The concrete compressive strength is 22 to 42% of the target concrete strength, and is categorized as a non-structural concrete. The split test tensile strength is 12 - 18% of its compressive strength. Increasing the value of LECA concrete compressive strength can also increase in its tensile strength and modulus of elasticity.

**Keywords:** lightweight concrete, LECA aggregate, concrete characteristics, compressive strength, tensile strength.

## 1 PENDAHULUAN

Material konstruksi yang banyak digunakan dalam pembangunan adalah beton. Beton memiliki berat volume yang tinggi yaitu berkisar 2200 – 2500 kg/m<sup>3</sup> untuk beton normal. Untuk mengurangi beban struktur yang besar, maka dibuat jenis beton yang memiliki berat isi yang lebih ringan daripada beton normal yang disebut sebagai beton ringan. Menurut SNI 2847:2013, beton ringan (*lightweight concrete*) adalah beton yang mengandung agregat ringan dan berat volume setimbang (*equilibrium density*), sebagaimana ditetapkan oleh ASTM C567, antara 1140-1840 kg/m<sup>3</sup>.

Salah satu cara untuk memperoleh berat isi beton ringan yang sesuai dengan standarisasi yaitu dengan menggunakan agregat ringan sebagai agregat kasar beton. Agregat ringan yang digunakan dapat berupa agregat alami seperti batu apung, *scoria*, *vulkanik cinder*, *tuff*, *expanded*, hasil pembakaran lempung, dan hasil residu pembakaran batu bara serta agregat buatan. Salah satu agregat ringan buatan yang dapat digunakan sebagai agregat ringan beton yaitu *Lightweight Expanded Clay Aggregate* (LECA). LECA adalah agregat ringan yang dibuat dari campuran mineral vulkanik yang ringan dan dibuat berpori dengan pembakaran di atas 1000° C dan lapisan luar tanah lempung tembikar. LECA memiliki bentuk dan ukuran yang beragam seperti batuan alami yang tidak dipecahkan (Rudy, 2016). LECA biasanya digunakan untuk hidroponik, blok beton, beton ringan dan lain-lain. Terdapat dua jenis bentuk LECA yaitu bentuk bulat dan bentuk seperti batu pecah alami.

Penggunaan LECA sebagai agregat kasar pada beton pernah dilakukan oleh Wati (2016). Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar LECA terhadap karakteristik beton serat bagu dengan memvariasikan kadar LECA dalam campuran yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari keseluruhan agregat kasar yang diperlukan. Penelitian tersebut masih menggunakan proporsi campuran beton normal dan didapat hasil bahwa beton serat bagu yang menggunakan kadar 100% LECA sebagai agregat kasar memiliki berat volume rata-rata 1758,35 kg/m<sup>3</sup> dengan kuat tekan rata-rata yaitu 15,42 MPa dan kuat tarik belah rata-rata 2,07 MPa. Hal tersebut menjelaskan bahwa penggunaan 100% LECA untuk agregat kasar beton serat bagu mampu menghasilkan beton ringan apabila ditinjau dari berat volume beton, namun kuat tekan dan kuat tarik yang dihasilkan belum memenuhi standar beton ringan struktural. Sehingga, perlu adanya penelitian mengenai proporsi campuran beton ringan dengan agregat kasar LECA yang mengacu pada standarisasi campuran beton ringan dan karakteristik beton ringan yang menggunakan LECA sebagai agregat kasar dengan kuat rencana sesuai dengan syarat beton ringan struktural.

## 2 MATERI DAN METODE

### 2.1 Properti material penyusun beton

Penelitian menggunakan LECA berbentuk batu pecah alami yang diperoleh dari Semarang sebagai agregat kasar. Agregat halus yang digunakan merupakan pasir dari karangasem, Bali. Semen yang digunakan merupakan *Portland Pozzolan Cement* (PPC), sementara air yang digunakan merupakan air dari PDAM di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana. Agregat LECA dan pasir yang digunakan dilakukan pemeriksaan gradasinya, pemeriksaan berat jenis (*specific gravity*) dan penyerapan air (*absorption*), pemeriksaan berat volume / satuan (*unit weight*), pemeriksaan kadar air (*surface moisture content*), pemeriksaan kadar lumpur (*mud content*), serta pemeriksaan uji keausan dengan mesin Los Angeles untuk agregat kasar seperti ditampilkan pada Tabel 1 dan 2. Gradasi butiran LECA dirancang dengan diameter butir 19,0-4,75 mm sesuai dengan spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural menurut SNI 03-2461-2002, sedangkan gradasi butiran pasir dirancang dalam Zona 2 menurut SNI 03-2834-2000 dengan nilai modulus kehalusan sebesar 2,69 seperti pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan bahan

Jenis Pemeriksaan	LECA	Pasir	Semen
Kadar air (%)	0,12	0,14	-
Kadar lumpur (%)	0,90	3,75	-
Berat jenis	1,22	2,66	-
Penyerapan air (%)	30,43	1,96	-
Berat isi (gr/cm <sup>3</sup> )	0,69	1,54	1,17
Nilai keausan (%)	62,35	-	-



Gambar 1. Agregat kasar LECA

Tabel 2. Rancangan gradasi LECA dan pasir

Ukuran Ayakan (mm)	Gradasi LECA			Gradasi Pasir		
	Jumlah Agregat Kasar (%)	Kumulatif Tertahan Ayakan (%)	Kumulatif Lolos Ayakan (%)	Jumlah Pasir (%)	Kumulatif Tertahan Ayakan (%)	Kumulatif Lolos Ayakan (%)
25,40	0	0	100	-	-	-
19,00	8	8	92	-	-	-
9,50	80	88	12	0	0	100
4,75	12	100	0	5	5	95
2,36	-	-	-	11	16	84
1,18	-	-	-	12	28	72
0,6	-	-	-	25	53	47
0,3	-	-	-	29	82	18
0,15	-	-	-	18	100	0
Jumlah	100	-	-	100	-	-

### 2.2 Proporsi campuran beton dengan agregat kasar LECA

Proporsi campuran beton ringan pada penelitian ini mengacu pada Tata Cara Rencana Pembuatan Beton Ringan Dengan Agregat Ringan menurut SNI 03-3449-2002 dengan kuat tekan rencana 20, 25, dan 30 MPa. Berdasarkan property material yang ada maka diperoleh proporsi campuran beton dengan agregat kasar LECA untuk volume 1 m<sup>3</sup> seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Proporsi campuran beton ringan dengan agregat kasar LECA per m<sup>3</sup>

Mutu Rencana (MPa)	Fraksi Volume (nf)	Proporsi untuk 1 m <sup>3</sup> (kg)			
		SEMEN	PASIR	LECA	AIR
20	0,5	247,50	287,67	610,00	188,67
	(1:1,16:2,46), Fas 0,6				
25	0,49	299,97	272,25	597,80	186,83
	(1: 0,91: 1,99), Fas 0,52				
30	0,36	467,20	302,72	439,20	222,72
	(1: 0,65: 0,94), Fas 0,4				

### 2.3 Benda Uji

Benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji silinder diuji pada umur 28 hari setelah dilakukan perawatan dengan direndam selama 27 hari. Adapun pengujian benda uji ini meliputi berat volume, kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Sedangkan untuk beton segar, dilakukan pengujian slump sebelum dilakukan pencetakan. Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 24 buah dengan jenis pengujian untuk setiap campuran sebagai berikut:

- Benda uji berat volume (8 buah) : KT-1, KT-2, KTM-1, KTM-2, KTM-3, KTB-1, KTB-2 dan KTB-3.
- Benda uji kuat tekan : KT-1, KT-2, KTM-1, KTM-2, dan KTM-3
- Benda Uji Modulus Elastisitas : KTM-1, KTM-2, dan KTM-3
- Benda uji tarik belah : KTB-1, KTB-2, dan KTB-3

Untuk pengujian berat volume beton dilakukan dengan menimbang semua benda uji silinder dari masing-masing campuran yang ditinjau.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Slump

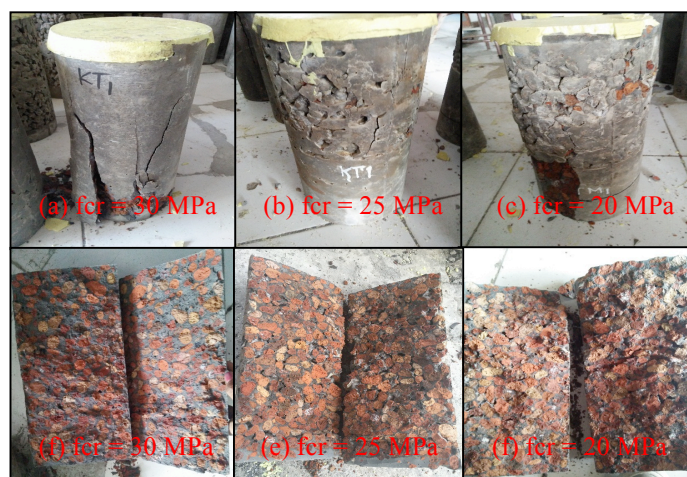
Salah satu pengujian property beton segar adalah pengujian *slump* yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton, sehingga dapat menggambarkan kelecakan (*workability*) dari beton segar. Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan kerucut Abrahm untuk semua campuran yang ditinjau dan diperoleh nilai *slump* sebesar 155 mm, 145 mm dan 120 mm masing-masing untuk target rencana 20, 25, dan 30 MPa. Semakin besar mutu yang direncanakan, maka nilai *slump* yang diperoleh semakin kecil. Hal ini diperkirakan akibat property LECA yang ringan, ikut terbawa runtuh (tergelincir) karena penggunaan LECA cukup banyak sedangkan penggunaan pasir yang sedikit pada proporsi mutu 20 dan 25 MPa, sehingga adukan beton segar cenderung didominasi oleh LECA. Untuk proporsi campuran dengan mutu rencana 30 MPa, penggunaan semen yang lebih banyak daripada pasir dan LECA menyebabkan kelecakan (*workability*) beton segar menurun akibat ikatan yang terjadi antara LECA, pasir, dan semen.

#### 3.2 Berat Volume

Berat volume benda uji silinder diukur pada saat beton berumur 28 hari. Berat volume diperoleh dari perbandingan antara berat silinder dan volumenya. Berat volume beton dari setiap campuran diperoleh dari rata-rata 8 buah silinder yaitu 5 buah untuk pengujian kuat tekan dan 3 buah untuk pengujian tarik belah seperti terlihat pada Tabel 4. Berat volume rata-rata beton ringan dari campuran mutu 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa adalah berturut-turut sebesar 1575,89 kg/m<sup>3</sup>, 1564,03 kg/m<sup>3</sup> dan 1691,92 kg/m<sup>3</sup>. Nilai berat volume yang diperoleh menunjukkan bahwa beton dengan agregat kasar LECA termasuk dalam kategori beton ringan baik menurut SNI 2847:2013, maupun ASTM C567 dengan berat volume antara 1140-1840 kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.3 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton berumur 28 hari dengan menggunakan 5 buah benda uji untuk setiap campuran seperti terlihat pada Tabel 4. Keruntuhan benda uji setelah diuji dapat dilihat pada Gambar 2. Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa rata-rata kuat tekan yang dihasilkan oleh benda uji beton dengan agregat kasar LECA belum mampu mencapai kuat tekan yang direncanakan. Untuk mutu rencana 20 MPa, kuat tekan rata-rata yang dihasilkan sebesar 5,63 MPa atau sebesar 28,15% dari mutu yang direncanakan. Untuk mutu rencana 25 MPa, kuat tekan yang dihasilkan tidak berbeda jauh dengan kuat tekan pada mutu rencana 20 MPa yaitu sebesar 5,68 MPa atau sebesar 22,72% dari mutu yang direncanakan. Sedangkan untuk mutu rencana 30 MPa, diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 12,63 MPa atau 42,1% dari mutu yang direncanakan. Rendahnya kuat tekan beton dengan agregat kasar LECA ini adalah sangat ditentukan oleh kekerasan dari LECA itu sendiri. Pengujian keausan menunjukkan LECA memiliki nilai keausan LECA yang besar yaitu 62,35%, dimana nilai ini melebihi batas maksimum yang ditentukan oleh ASTM C-33 yaitu maksimal 50%. Hasil kuat tekan beton LECA ini hanya dapat dikategorikan sebagai beton ringan non structural.



Gambar 2. Hasil uji tekan (a,b,c) dan uji tarik belah (d,e,f)

Selain itu, metode yang digunakan dalam menentukan proporsi campuran beton juga menentukan kuat tekan beton yang dihasilkan. Proporsi campuran beton untuk mutu rencana 30 MPa menghasilkan beton dengan kuat tekan yang jauh lebih tinggi dikarenakan jumlah LECA, pasir dan semen yang lebih berimbang dibandingkan dengan proporsi campuran untuk mutu rencana 20 dan 25 MPa. Pada beton ringan untuk mutu rencana 25 dan 20 MPa menghasilkan kuat tekan yang rendah mungkin diakibatkan oleh jumlah mortar yang

sedikit pada proporsi campurannya sehingga pengikat agregat menjadi kurang. Hal ini mungkin disebabkan ada beberapa interpretasi yang dilakukan akibat kurang jelasnya ketentuan pada Standar yang ada.

### 3.4 Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan pada 3 buah benda uji untuk masing-masing mutu rencana beton. Modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan data perpendekan, tegangan dan regangan hasil pengukuran dengan menggunakan alat standard pengujian modulus elastisitas silinder beton. Rekapitulasi hasil uji modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil pengujian modulus elastisitas ini menunjukkan bahwa meningkatnya nilai kuat tekan pada mutu rencana 20, 25, dan 30 MPa juga menyebabkan meningkatnya nilai modulus elastisitas. Peningkatan nilai modulus elastisitas pada mutu rencana 25 dan 30 MPa berkisar antara 2-62% terhadap nilai modulus elastisitas pada mutu rencana 20 MPa.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil uji silinder beton ringan dengan agregat kasar LECA

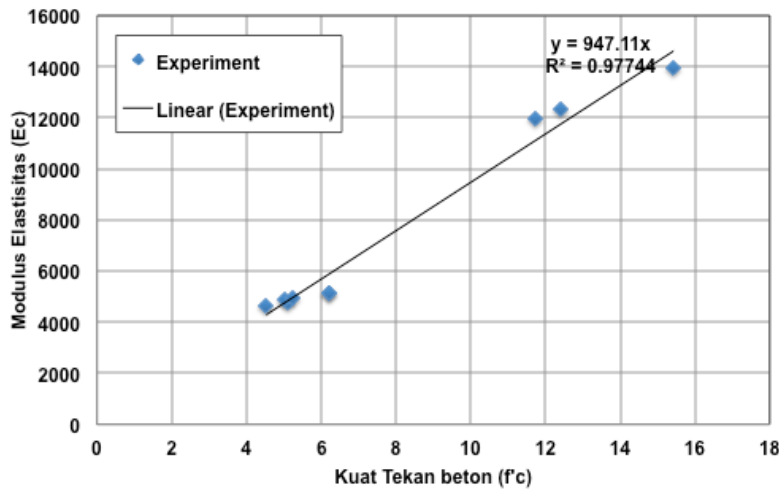
Mutu Rencana (MPa)	Kode Benda Uji	Berat Volume		Kuat Tekan		Modulus Elastisitas		Kuat Tarik	
		Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Rata-Rata (kg/m <sup>3</sup> )	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-Rata (kg/m <sup>3</sup> )	Tarik Belah (MPa)	Rata-Rata (MPa)
20	KT-1	1611,98		6,70		-		-	
	KT-2	1588,23		5,58		-		-	
	KTM-1	1584,85		6,22		5150,44		-	
	KTM-2	1572,48	1575,89	5,09	5,63	4764,38	4852,75	-	0,99
	KTM-3	1594,63		4,53		4643,44		-	
	KTB-1	1536,75		-		-		1,13	
	KTB-2	1539,21		-		-		0,85	
	KTB-3	1579,01		-		-		0,99	
	25	KT-1	1604,18		6,42		-		-
KT-2		1575,32		5,51		-		-	
KTM-1		1585,89		6,22		5149,89		-	
KTM-2		1551,91		5,03		4855,72		-	
KTM-3		1521,88	1564,05	5,22	5,68	4915,69	4973,77	-	1,05
KTB-1		1563,46		-		-		1,25	
KTB-2		1565,27		-		-		0,9	
KTB-3		1544,5		-		-		0,99	
30		KT-1	1708,38		11,30		-		-
	KT-2	1667,82		12,29		-		-	
	KTM-1	1710,63		11,73		11984,62		-	
	KTM-2	1653,27		12,40		12363,76		-	
	KTM-3	1672,86	1691,92	15,43	12,63	13942,88	12763,75	-	1,64
	KTB-1	1710,54		-		-		1,54	
	KTB-2	1705,71		-		-		1,9	
	KTB-3	1706,11		-		-		1,48	

### 3.5 Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada 3 benda uji untuk masing-masing mutu rencana beton. Rekapitulasi hasil uji kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai kuat tarik belah yang dihasilkan bila dikaitkan dengan nilai kuat tekannya maka didapat hasil bahwa nilai kuat tarik belah beton ringan dengan mutu rencana 20 MPa mencapai 17,59% dari kuat tekan yang dihasilkan. Untuk mutu rencana 25 MPa, nilai kuat tarik belahnya mencapai 18,48% dari kuat tekan yang dihasilkan. Sedangkan untuk mutu rencana 30 MPa, nilai kuat tarik belahnya mencapai 12,98% dari nilai kuat tekan yang dihasilkan.

### 3.6 Hubungan antara kuat tekan dengan modulus elastisitas beton LECA

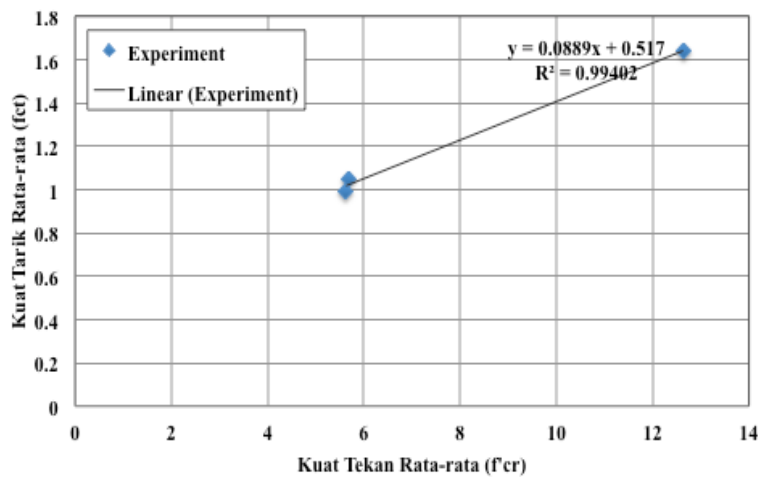
Modulus elastisitas beton juga merupakan salah satu parameter yang dapat dihubungkan dengan kuat tekan beton. Gambar 3 merupakan hubungan antara kedua parameter beton tersebut yang diperoleh dari hasil pengujian. Dengan menggunakan regresi linear, maka diperoleh hubungan antara kedua parameter tersebut dalam bentuk persamaan  $E_c = 947.11 f'_c$  dengan nilai R sebesar 0.9774. Ini menunjukkan bahwa regresi linear sangat dekat dengan data hasil pengujian.



Gambar 3. Hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas beton

### 3.7 Hubungan antara kuat tekan dengan kuat tarik beton LECA

Kuat tarik beton dapat dihubungkan dengan kuat tekan beton. Gambar 4 menunjukkan hubungan kedua parameter tersebut. Dengan menggunakan regresi linear diperoleh hubungan  $f_{ct} = 0.0889 f'_c + 0.517$  dengan nilai kovarian sebesar 0.99402. Melihat nilai R yang diperoleh menunjukkan persamaan regresi yang dipakai sangat dekat dengan data yang ada.



Gambar 4. Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik beton

## 4 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai *slump* yang dihasilkan pada beton ringan dengan agregat kasar LECA semakin menurun dengan adanya peningkatan mutu rencana yaitu 155 mm, 145 mm, dan 120 mm, berturut-turut untuk mutu rencana 20,25, dan 30 MPa.
- Nilai berat volume beton dengan agregat kasar LECA untuk mutu rencana 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa berkisar antara 1564-1692 kg/m<sup>3</sup>, dimana memenuhi syarat berat volume untuk beton ringan menurut SNI 2847:2013 yaitu sebesar 1140-1840 kg/m<sup>3</sup>.

- c. Nilai kuat tekan beton ringan yang dihasilkan belum mampu mencapai kuat tekan yang direncanakan. Nilai tersebut hanya mampu mencapai 22-42% dari mutu yang direncanakan, sehingga beton yang dihasilkan dikategorikan beton ringan non struktural.
- d. Nilai kuat tarik belah yang dihasilkan oleh mutu rencana 20, 25, dan 30 MPa adalah 0,99, 1,05, dan 1,64 MPa. Nilai kuat tarik belah tersebut mencapai 12 - 18% dari kuat tekan yang dihasilkan.
- e. Meningkatnya nilai kuat tekan pada mutu 20, 25, dan 30 MPa juga menyebabkan meningkatnya nilai modulus elastisitas.
- f. Dengan menggunakan regresi linear, diperoleh hubungan antara kuat tarik belah dengan kuat beton dapat dinyatakan  $f_{ct} = 0,0889 f'_c + 0,517$  dengan  $R = 0,99402$ . Sedangkan hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas beton dapat dinyatakan dengan persamaan  $E_c = 947,11 f'_c$  dengan nilai  $R = 0,9774$ .

#### **UCAPA TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya karya ilmiah ini. Penelitian ini dibiayai dari dana PNPB Fakultas Teknik, Universitas Udayana melalui Hibah Unggulan Program Studi (HUPS) tahun 2017.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim. 2015. Expanded Clay Aggregate. [https://en.wikipedia.org/wiki/Expanded\\_clay\\_aggregate](https://en.wikipedia.org/wiki/Expanded_clay_aggregate). Diakses tanggal 1/10/2016
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-2461-2002 : *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*. Jakarta : Departemen pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 2847:2013 : *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Departemen pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. SNI 03-3449-2002 : *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*. Bandung : Yayasan LPMB.
- Rudy. 2016. *Data Teknis*. Hidrofriend, Semarang.
- Wati, N. M. Y. 2016. *Pengaruh Variasi Kadar Lightweight Expanded Clay Aggregate (LECA) Terhadap Karakteristik Beton Serat Bagu*. (Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, 2016).