

HUBUNGAN KUAT TARIK BELAH DENGAN KUAT TEKAN BETON RINGAN DENGAN *CRUMB RUBBER* DAN PECAHAN GENTENG

Daniel Mandala Putra¹, Darma Widjaja²

Abstract

The aim of this study was to determine and investigate the relationship split tensile strength with lightweight concrete with compressive strength of crumb rubber and tile fragments. Tile fragments used as coarse aggregate replacement partially or completely with the variation of the levels of 25%, 50% and 75%. Coarse aggregate used for crushed stone and stone does not cracked. While the crumb rubber used as a substitute for sand as a whole. Cement water factor set at 0.28. Test object created is cylindrical test specimens measuring 150mm in diameter and 300mm high. Samples of the test specimen made as many as 36 pieces. Treatment is done by immersing the test specimen concrete for 28 days. Testing the tensile strength and compressive strength sides conducted when the specimen reaches the age of 28 days. Results from the study showed that the lightweight concrete can be made using crumb rubber and fractional roof tiles in cement water factor of 0.28. Results of the average value of compressive strength testing of concrete mix of crumb rubber and fractional variation gentengan crushed stone tile 75% and 25% is 18.533 MPa. Heavy concrete content of crumb rubber is 1750 kg/m³-1850 kg/m³. These test results show that the compressive strength of concrete qualify as lightweight structural concrete compressive strength which is 17.24 MPa. While the results of the average value of the tensile strength testing of concrete sides crumb rubber variation broken stone tiles 75% and 25% was 2 MPa. The test results showed that the tensile strength of concrete sides qualify split tensile strength of structural lightweight concrete which is 2 MPa. The use of crumb rubber to give the effect of a decrease in density, reduction in compressive strength and tensile strength divided. The use of crumb rubber on concrete mix is very useful for reducing unused rubber waste and conserve natural rock as it reduces the need to mine natural aggregate

Keywords: crumb rubber, compressive strength, tensile strength, tiles fragments

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menyelidiki hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton ringan dengan *crumb rubber* dan pecahan genteng. Pecahan genteng digunakan sebagai pengganti agregat kasar sebagian atau seluruhnya dengan variasi kadar 25%, 50%, dan 75%. Untuk agregat kasar digunakan batu pecah dan batu tidak pecah. Sedangkan *crumb rubber* digunakan sebagai pengganti pasir secara keseluruhan. Faktor air semen ditetapkan pada nilai 0,28. Benda uji yang dibuat adalah benda uji silinder berukuran diameter 150mm dan tinggi 300mm. Sampel benda uji dibuat sebanyak 36 buah. Perawatan benda uji dilakukan dengan merendam beton selama 28 hari. Pengujian kuat tarik belah dan kuat tekan dilakukan ketika umur benda uji mencapai 28 hari. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa beton ringan dapat dibuat dengan menggunakan *crumb rubber* dan pecahan genteng pada faktor air semen 0,28. Hasil nilai rata-rata pengujian kuat tekan beton campuran *crumb rubber* dan pecahan gentengan variasi batu pecah 75 % dan genteng 25% adalah 18,533 MPa. Berat isi beton *crumb rubber* adalah 1750 kg/m³-1850 kg/m³. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton masuk kriteria kuat tekan beton ringan struktural yakni 17,24 MPa. Sedangkan hasil nilai rata-rata pengujian kuat tarik belah beton *crumb rubber* variasi batu pecah 75 % dan genteng 25% adalah 2 MPa. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton masuk kriteria kuat tarik belah beton ringan struktural yakni 2 MPa. Penggunaan *crumb rubber* memberi pengaruh pada penurunan berat jenis, penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah. Penggunaan *crumb rubber* pada campuran beton sangat berguna untuk mengurangi limbah karet yang tidak terpakai dan melestarikan batuan alam karena mengurangi kebutuhan untuk menambang agregat alami.

Kata Kunci : *crumb rubber, kuat tekan, kuat tarik belah, pecahan genteng*

1. LATAR BELAKANG

Kuat tarik belah merupakan salah satu parameter kekuatan beton. Pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengukur nilai kuat tarik belah beton adalah hanya dengan melakukan pengujian kuat tarik belah secara

eksperimental di laboratorium dikarenakan nilai kuat tekan beton dengan kuat tarik belahnya tidak berbanding lurus (Tri Mulyono 2005). Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton digunakan untuk mencari

¹ email: nielz_bluestar@yahoo.com

² email: Darmaw137@yahoo.co.id

nilai hubungan kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton. Ukuran nilai hubungan kuat tarik belah terhadap kuat tekan untuk beton ringan adalah $f_{ct} = 0,332\sqrt{f_c}$ MPa- $f_{ct} = 0,496\sqrt{f_c}$ MPa (Nilson. 2007).

Pengujian kuat tarik belah bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton yang menggunakan agregat ringan (SNI 03-2491-2002) dan untuk mengetahui kekuatan ikatan semen terhadap *crumb rubber* dan pecahan genteng pada campuran beton. Jika *crumb rubber* dapat dimanfaatkan sebagai agregat ringan, maka pembuatan beton ringan *crumb rubber* dapat menjadi usaha untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah karet dan untuk melestarikan batuan alam.

BETON

Beton merupakan suatu bahan campuran dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Kardiyono Tjokrodimulyo, 2007).

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing – masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari. (Tri Mulyono, 2005)

Keunggulan lain yang dimiliki beton dibandingkan dengan material lainnya adalah mempunyai kuat tekan dan stabilitas volume yang baik dan biaya perawatannya relatif lebih murah. Selain itu, material beton lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan, tidak mudah terbakar, dan lebih tahan terhadap suhu tinggi, sehingga banyak digunakan sebagai pelindung struktur baja terhadap pengaruh kebakaran pada bangunan gedung. (Syarif Hidayat, 2009) Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas (Tri Mulyono, 2005). Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya.

Pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas, dimana batang tulangan baja bertugas memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan. komponen struktur beton bertulangan baja atau lazim disebut beton bertulang saja. (Istimawan Dipohusodo, 1996).

BETON RINGAN

Beton ringan adalah beton yang dihasilkan oleh agregat ringan. Agregat ringan adalah agregat yang memiliki berat jenis rendah. Beton ringan memiliki berat jenis antara 1400 kg/m^3 - 1850 kg/m^3 , sedangkan beton normal memiliki berat jenis antara 2200 kg/m^3 - 2400 kg/m^3 . Berat jenis beton yang lebih ringan dapat menguntungkan karena dapat mengurangi beban mati (*dead load*) yang dipikul oleh pondasi sehingga dimensi pondasi yang digunakan lebih kecil.

Berdasarkan SNI 03 - 2847 - 2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m^3 . Pada dasarnya beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori udara ke dalam campuran betonnya.

Menurut SNI 03-2834-2000, pembuatan beton ringan dapat dilakukan dengan cara melakukan penggantian pada agregat kasar dan agregat halus dengan agregat ringan yang memiliki berat jenis lebih ringan daripada agregat normal seperti batu pecah dan pasir. Penggantian agregat lebih ringan dapat membuat berat jenis campuran beton yang dibuat lebih ringan dari berat jenis beton normal.

Dari sifat-sifat tersebut beton ringan cocok digunakan pada elemen-elemen struktur yang tidak terlalu mementingkan kekuatan sebagai syarat utama. Beton ringan memiliki dua jenis, yaitu "*all-lightweight concrete*" dan "*sand-lightweight concrete*". "*All-lightweight concrete*" terdiri dari *lightweight coarse and fine aggregate*, sedangkan "*sand-lightweight concrete*" terdiri dari agregat kasar ringan dan *natural sand* (James G. Macgregor, 1997).

Persyaratan Beton ringan memenuhi persyaratan menurut ACI 318-02 antara lain sebagai berikut:

- 1) Beton harus menghasilkan kuat tekan rata-rata, dan memenuhi kriteria keawetan. Kekuatan tekan beton yang dihasilkan tidak boleh kurang daripada 17,5 MPa.
- 2) Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji berbentuk silinder.
- 3) Pengujian kuat tekan beton dilakukan beton berumur 28 hari.
- 4) Pengujian kuat Tarik belah harus dilakukan sesuai dengan ASTM C 330, "Specification for Lightweight Aggregates for Structural concrete" untuk menentukan hubungan antara kuat tarik belah dan kuat tekan.
- 5) Uji kuat tarik belah beton tidak boleh digunakan sebagai dasar penerimaan beton dilapangan.

Menurut Gambir 1986, beton ringan memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- 1) Beton normal memiliki berat jenis sekitar 2400 kg/m^3 sedangkan beton ringan memiliki berat jenis sekitar $800-1800 \text{ kg/m}^3$.
- 2) Beton ringan bukan penghantar panas yang baik. Nilai isolasi yang dimiliki beton ringan sebesar 3 kali sampai 6 kali bata atau sekitar 10 kali dari beton biasa.
- 3) Beton ringan memiliki sifat cukup baik yang dapat tahan terhadap api. Sifat beton ringan yang cukup baik dalam menghambat panas sehingga apabila terjadi kebakaran, struktur dapat terlindungi.
- 4) Beton ringan kurang baik meredam suara dikarenakan rongga dalam beton ringan kurang padat daripada beton normal.
- 5) Pengerjaan beton ringan tidak sulit seperti beton normal. Apabila terjadi kerusakan, beton ringan dapat diperbaiki tanpa merusak bagian struktur lain. Sedangkan pada beton normal harus dilakukan pemotongan atau pengeboran.
- 6) Beton ringan tidak kedap air sehingga beton ringan tidak dapat mencegah terjadinya karat pada besi tulangan.

- 7) Beton ringan dapat mudah dikerjakan di pabrik sehingga memudahkan dalam perancangan struktur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sifat-Sifat *Crumb Rubber*

Crumb rubber merupakan hasil pengolahan sisa-sisa limbah industri karet dan ban kendaraan bekas yang sudah tidak layak pakai. Setiap tahun limbah karet bertambah seiringan bertambahnya jumlah kendaraan setiap tahunnya yang berdampak pada pencemaran lingkungan. Pengolahan limbah karet dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan melakukan vulkanisir dan dengan menggilingnya menjadi *crumb rubber*.

Crumb rubber yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang memiliki ukuran maksimum tiga milimeter dengan berat jenis berkisar antara $0,7 \text{ g/cm}^3$ sampai dengan $1,1 \text{ g/cm}^3$.

Malek K. Batayneh et. al. (2007) menghasilkan temuan bahwa penggunaan *crumb rubber* akan mengurangi berat jenis campuran beton sehingga beton dapat mencapai kategori beton ringan.

Amjad A. Yasin (2012) meneliti tentang pengaruh penggunaan *crumb rubber* berukuran 25 milimeter sebagai agregat kasar ringan pada campuran beton memberikan hasil bahwa penggunaan *crumb rubber* sebagai agregat kasar akan mengurangi kekuatan tekan dari beton dan campuran yang dibuat memiliki *workability* yang lebih rendah dari campuran beton normal.

J.N. Eiras et al. (2014) meneliti penggunaan *crumb rubber* sebagai campuran beton dapat meningkatkan ketahanan pada perambatan panas dan suara sehingga beton yang menggunakan *crumb rubber* sangat cocok diaplikasikan pada elemen struktur yang mementingkan isolasi. Penggunaan *crumb rubber* pada campuran beton akan membuat penurunan pada kekuatan beton yaitu kuat tekan dan kuat lenturnya.

S. Talukdar et. Al. (2011) meneliti tentang pengembangan penggunaan bahan sisa yaitu potongan karet pada campuran beton. Dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa campuran beton yang mengandung karet mengalami penurunan pada nilai kuat tekan dan diduga disebabkan oleh rongga udara yang ada di permukaan karet sehingga

ikatan antara karet dan mortar tidak terikat dengan baik.

Penelitian oleh Dirga W (2014) tentang beton *crumb rubber* memberikan kesimpulan bahwa beton ringan *crumb rubber* memiliki nilai kuat tekan antara 4,56 Mpa hingga 21,29 Mpa dari berbagai campuran variasi agregat kasar dan faktor air semen.

Hariyadi dan Isya Ashari (2009) menghasilkan temuan bahwa kuat tarik belah dari beton yang menggunakan karet sebagai agregat mengalami penurunan. Namun penggunaan serat mampu meningkatkan modulus runtuh jika dibandingkan dengan beton normal serta meningkatkan ketahanan terhadap beban kejut dibandingkan dengan beton normal.

N.J.Azmi et. al. (2008) menghasilkan temuan bahwa beton dengan *crumb rubber* mengalami penurunan kuat tekan dan modulus elastisitas dibandingkan dengan beton normal. Namun penggunaan *crumb rubber* meningkatkan *workability*.

Komposisi Campuran Beton *Crumb Rubber*

Komposisi rencana campuran beton ringan *crumb rubber* sama dengan komposisi beton normal karena material utama yang digunakan sama seperti beton normal yaitu semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Perbedaannya terletak pada bahan penggunaan agregat ringan yang menggunakan *crumb rubber* sebagai pengganti pasir dan pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar sebagian.

Tabel 1. Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3)

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	jenis agregat	---	---	---	---
10	batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	batu pecah	180	205	230	250
20	batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	batu pecah	170	190	210	225
40	batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI-03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Beton Normal

Rencana campuran beton *crumb rubber* dan pecahan genteng dengan variasi agregat batu pecah dan batu tidak pecah direncanakan berdasarkan tabel perkiraan kadar air bebas ditentukan jumlah air yang dibutuhkan. Untuk batu tak dipecahkan membutuhkan air 195

kg/m^3 dan batu pecah membutuhkan air 225 kg/m^3 dengan nilai slump 60-180 mm. Jumlah semen ditentukan dengan membagi jumlah kadar air dengan faktor air semen yang ditetapkan sebesar 0,28. Setelah ditentukan berat isi air dan semen yang dibutuhkan dalam pencampuran beton. Selanjutnya menentukan agregat kasar dan agregat ringan yang dibutuhkan dengan cara berat isi beton yang direncanakan sebesar 1850 kg/m^3 dikurangi dengan berat isi air dan semen. Berat isi perbandingan jumlah agregat halus dan agregat kasar yang digunakan ditentukan 35 : 65. Berikut komposisi rencana campuran beton ringan *crumb rubber* yang digunakan dalam penelitian dengan ketentuan berat jenis maksimal beton ringan 1850 kg/m^3 :

Untuk batu tidak pecah

- Air 195 kg/m^3
- Semen 697 kg/m^3
- Agregat kasar (genteng + batu) 623 kg/m^3
- Agregat halus (*crumb rubber*) 335 kg/m^3

-----+
Total 1850 kg/m^3

Untuk batu pecah

- Air 225 kg/m^3
- Semen 804 kg/m^3
- Agregat kasar (genteng+batu) 534 kg/m^3
- Agregat halus (*crumb rubber*) 287 kg/m^3

-----+
Total 1850 kg/m^3

Pada perhitungan rencana campuran beton, material campuran beton dlebihkan sebanyak 20% - 30% dari perhitungan rencana campuran beton. Hal tersebut dilakukan, agar jumlah beton yang dibutuhkan tidak kurang akibat bahan material yang terbuang pada saat proses pencampuran atau pengecoran beton. Berikut jumlah material dari berbagai variasi campuran beton dengan *crumb rubber* dan pecahan genteng :

Tabel 2. Material Campuran Beton Batu Pecah 25 % Genteng 75 %

Bahan	Berat per sampel per m3 (kg)	Berat per 1 benda uji (kg)	Berat per 6 benda uji (kg)
Semen	804	4,26	25,56
Air	225	1,19	7,15
Crumb Rubber	287	1,52	9,14
Batu Pecah	133	0,71	4,24
Genteng	400	2,12	12,72
Jumlah	1850	9,80	58,82

Tabel 3. Material Campuran Beton Batu Pecah 50 % Genteng 50 %

Bahan	Berat per sampel per m3 (kg)	Berat per 1 benda uji (kg)	Berat per 6 benda uji (kg)
Semen	804	4,26	25,56
Air	225	1,19	7,15
Crumb Rubber	287	1,52	9,14
Batu Pecah	267	1,41	8,48
Genteng	267	1,41	8,48
Jumlah	1850	9,80	58,82

Tabel 4. Material Campuran Beton Batu Pecah 75 % Genteng 25 %

Bahan	Berat per sampel per m3 (kg)	Berat per 1 benda uji (kg)	Berat per 6 benda uji (kg)
Semen	804	4,26	25,56
Air	225	1,19	7,15
Crumb Rubber	287	1,52	9,14
Batu Pecah	400	2,12	12,72
Genteng	133	0,71	4,24
Jumlah	1850	9,80	58,82

Tabel 5. Material Campuran Beton Batu Tidak Pecah 25 % Genteng 75 %

Bahan	Berat per sampel per m3 (kg)	Berat per 1 benda uji (kg)	Berat per 6 benda uji (kg)
Semen	70	0,37	2,21
Air	195	1,03	6,20
Crumb Rubber	555	2,94	17,64
Batu Tak Pecah	258	1,37	8,19
Genteng	773	4,10	24,57
Jumlah	1850	9,80	58,82

Tabel 6. Material Campuran Beton Batu Tidak Pecah 50 % Genteng 50 %

Bahan	Berat per sampel per m3 (kg)	Berat per 1 benda uji (kg)	Berat per 6 benda uji (kg)
Semen	70	0,37	2,21
Air	195	1,03	6,20
Crumb Rubber	555	2,94	17,64
Batu Tak Pecah	515	2,73	16,38
Genteng	515	2,73	16,38
Jumlah	1850	9,80	58,82

Tabel 7. Material Campuran Beton Batu Tidak Pecah 75 % Genteng 25 %

Bahan	Berat per sampel per m3 (kg)	Berat per 1 benda uji (kg)	Berat per 6 benda uji (kg)
Semen	70	0,37	2,21
Air	195	1,03	6,20
Crumb Rubber	555	2,94	17,64
Batu Tak Pecah	773	4,10	24,57
Genteng	258	1,37	8,19
Jumlah	1850	9,80	58,82

Kuat Tarik Belah Beton *Crumb Rubber*

Dapat diketahui bahwa beton memiliki kelemahan secara struktural yaitu memiliki kuat tarik yang rendah dimana besar kuat Tarik belah memiliki perbandingan sekitar 9% - 15% dari kuat tekannya. nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. (Istimawan Dipohusodo,1996).

Kecilnya nilai kuat tarik yang dihasilkan oleh beton yang menjadi kelemahan terbesar dari beton. Sehingga untuk menaikkan kuat tarik belah pada beton dapat dilakukan dengan menambahkan tulangan agar beton dapat mampu menahan gaya tarik.

Pengujian kuat tarik belah menggunakan benda uji yang berbentuk silinder yang berukuran diameter 15cm dan tinggi 30 cm diletakan secara mendatar di atas meja penguji tekan. Kemudian benda uji diberi beban dari atas merata sepanjang benda uji. Apabila benda uji sudah tidak dapat menahan beban lagi, maka benda uji akan terbelah menjadi dua.

Berdasarkan SNI 03-2491-2002, kuat tarik belah dapat dihitung dengan rumus:

$$F_{ct} = \frac{2P}{LD}$$

Dengan pengertian :

F_{ct} = kuat tarik belah (MPa)

P = beban uji maksimum dalam newton (N) yang didapat dari mesin penguji tekan

L = panjang benda uji (mm)

D = diameter benda uji (mm)

Kuat Tarik Belah Beton *Crumb Rubber*

Beton mutu baik adalah jika beton tersebut memiliki nilai kuat tekan tinggi. Dengan kata lain mutu beton dapat ditinjau hanya dari kuat tekannya saja (Tjokrodimulyo,2007), Kekuatan tekan beton akan meningkat seiring dengan naiknya umur beton jadi dapat dikatakan bahwa kuat tekan merupakan salah satu parameter mutu beton. Kekuatan beton meningkat secara cepat sampai pada umur 28

hari. Kekuatan tekan yang dihasilkan oleh beton akan mempengaruhi mutu beton tersebut. Kekuatan tekan beton ditentukan dari komposisi perbandingan semen, agregat kasar dan halus, dan air.

Berdasarkan SK.SNI.M-10-1991-03 tentang metode pengujian kuat tekan Uniaxial batu bahwa nilai kekuatan tekan dari beton didapat dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang dibebani dengan gaya tekan sampai benda uji hancur.

Menurut Standar Nasional Indonesia 03.1974.1990, perhitungan kuat tekan beton dilakukan dengan rumus :

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana :

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm²)

Dengan rumus diatas maka dapat disimpulkan kuat tekan adalah besaran beban persatuan luas penampang yang dapat dipikul oleh benda uji sampai benda uji hancur dan tidak dapat memikul pertambahan beban lagi sehingga menghasilkan nilai kekuatan beban maksimum yang dapat dipikul benda uji tersebut.

Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton *Crumb Rubber*

Kuat tekan (f_{c'}) dan kuat tarik belah (f_{ct}) pada beton dengan campuran *crumb rubber* dapat dihubungkan dengan persamaan :

$$F_{ct} = a\sqrt{f_{c'}}$$

Harga koefisien a pada hubungan f_{c'} dan f_{ct} dapat ditentukan dengan membuat *curve fitting* dengan menggunakan metode *leasts squares approximation* [8]. Berikut pengolahan data dengan metode tersebut:

Diketahui persamaan :

$$\begin{aligned} Y_i &= f_{ct} \\ X_i &= f_c' \\ F_{ct} &= a\sqrt{f_c'} \\ Y_i &= a\sqrt{X_i} \\ E_1 &= Y_i - y_i \end{aligned}$$

3. METODOLOGI

Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Teknik Sipil Ukrida. Dalam penelitian ini, pendekatan yang akan digunakan adalah pendekatan eksperimental, Sesuai dengan saran Neville (13) rencana campuran disusun berdasarkan tata cara perencanaan campuran untuk beton normal.

Prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

1) Tahap persiapan.

Dalam tahap ini disiapkan seluruh material yang akan digunakan dalam membuat campuran beton ringan dengan *crumb rubber*. Material yang disiapkan antara lain batu tidak dipecah, batu pecah, pecahan genteng yang sudah dihaluskan dengan mesin *los angeles* sebanyak 100 putaran, *crumb rubber*, dan semen. Agregat yang akan dipakai diuji terlebih dahulu dengan prosedur yang sesuai dengan standar untuk mengetahui spesifikasi dari masing-masing agregat. Pengujian agregat yang akan dilakukan adalah pengujian berat jenis dan penyerapan, analisa saringan, keausan agregat, kadar air, dan berat isi padat dan isi lepas.

2) Tahap pembuatan benda uji

Tahap ini meliputi pembuatan benda uji dari setiap variasi yang direncanakan dan pengukuran nilai *slump* dari masing-masing campuran. Benda uji beton yang dibuat kemudian direndam sampai usia 28 hari untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah.

3) Tahap pengujian

Setelah usia beton mencapai 28 hari, pada benda uji beton diukur berat isi lalu dilakukan proses *capping* untuk meratakan permukaan benda uji dan kemudian diuji kekuatan tekan dan kuat tarik belahnya sesuai dengan standar yang ada.

4) Tahap pengolahan data

Seluruh data yang telah didapat kemudian direkapitulasi dan diolah dalam bentuk tabel dan kurva untuk memudahkan dalam melihat hasil saat dilakukan pembahasan.

Setiap pengujian pada penelitian ini mengikuti Standar Nasional Indonesia tentang pengujian yang bersangkutan, yaitu:

- 1) Pengujian bahan mengikuti SNI 03-1750-1990 Mutu dan Cara Uji Agregat Beton.
- 2) Pengujian ukuran agregat mengikuti SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat halus dan Kasar.
- 3) Pengujian berat isi padat dan isi lepas mengikuti SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat isi dan Rongga Udara Dalam Agregat.
- 4) Pengujian uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar mengikuti SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.
- 5) Pengujian keausan agregat mengikuti SNI 2417:2008 Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles.
- 6) Pengujian nilai slump mengikuti SNI 03-1972-1990 Metode Pengujian Nilai Slump Beton.
- 7) Pengujian kuat tekan mengikuti SNI 03-1974-1990 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.
- 8) Pengujian kuat tarik belah mengikuti SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi dari seluruh variasi benda uji diperoleh dari setiap benda uji beton. Pengujian berat isi dilakukan untuk

mengetahui beton *crumb rubber* dan pecahan genteng memenuhi persyaratan berat isi beton ringan yaitu berada di bawah 1.850 kg/m^3

Tabel 8. Pengujian Berat isi

Campuran	NO	Berat Isi (kg/m^3)	Terhadap Berat Isi
			max 1850
(BTP 01) Batu tak pecah 25% Genteng 75%	1	1,744,751	<
	2	1,757,018	<
	3	1,765,511	<
	4	1,753,244	<
	5	1,757,962	<
	6	1,749,469	<
Rata-rata		1,754,659	<
(BTP 02) Batu tak pecah 50% Genteng 50%	1	1,814,579	<
	2	1,809,861	<
	3	1807,03	<
	4	1,802,312	<
	5	1,819,297	<
Rata-rata		1,810,616	<
(BTP 03) Batu tak pecah 75% Genteng 25%	1	1,813,635	<
	2	1,837,226	<
	3	1,826,846	<
	4	1848,36	<
	5	1,838,169	<
	6	1,832,791	<
Rata-rata		1,832,838	<
(BP 01) Batu pecah 25% Genteng 75%	1	1,757,396	<
	2	1,760,226	<
	3	1,776,268	<
	4	1,766,266	<
	5	1,772,871	<
	6	1,765,888	<
	7	1,777,778	<
Rata-rata		1,768,099	<
(BP 03) Batu pecah 50% Genteng 50%	1	1,832,885	<
	2	1,828,544	<
	3	1,837,037	<
	4	1,843,265	<
	5	1,813,635	<
	6	1,832,508	<
	7	1,824,015	<
Rata-rata		1830,27	<
(BP 02) Batu tak pecah 75% Genteng 25%	1	1,842,887	<
	2	1,852,135	<
	3	1,852,324	<
	4	1852,89	<
	5	1,847,039	<
	6	1,838,736	<
Rata-rata		1,847,668	<

Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Crumb Rubber

Menurut Istimawan Dipohusodo (1994), kuat tekan dan kuat tarik belah dari berbagai variasi tarik belah memiliki perbandingan sekitar 9% - 15% dari kuat tekannya. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah diperoleh hasil sebagai berikut

Tabel 9. Perbandingan antara kuat Tekan dan Kuat Tarik

No	Campuran	Hasil rata-rata (MPa)	
		Kuat tekan	Tarik belah
1	Batu tak pecah 25% Genteng 75%	14,540	1,837
2	Batu tak pecah 50% Genteng 50%	13,416	1,508
3	Batu tak pecah 75% Genteng 25%	15,886	1,704
4	Batu Pecah 25% Genteng 75%	16,533	1,875
5	Batu pecah 50% Genteng 50%	18,400	1,800
6	Batu pecah 75% Genteng 25%	18,533	2,000

Menurut SNI 03-2461-2002 tentang spesifikasi agregat ringan dengan untuk beton ringan struktural, persyaratan nilai rata-rata kuat tarik belah beton ringan minimal 2,0 MPa. Dari berbagai variasi campuran beton dengan campuran *crumb rubber* yang diteliti, hanya satu campuran beton dengan campuran *crumb rubber* yang memenuhi persyaratan pengujian

kuat tarik belah yaitu campuran batu pecah 75% dan genteng 25% dengan faktor air semen 0,28. hasil pengujian kuat tekan didapat nilai kuat tekan yang memiliki nilai maksimum 18,5 MPa dan nilai minimum 14,5 MPa. Dengan persyaratan kuat beton ringan minimal 17,24 MPa menurut SNI.

Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton

Data X_i didapat dari hasil pengujian kuat tekan dan Y_i didapat dari hasil pengujian kuat tarik belah yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 10. Data X_i dan Y_i dari hasil pengujian

No.	X_i (MPa)	Y_i (MPa)
1	0	0
2	14,540	1,837
3	13,416	1,508
4	15,886	1,704
5	16,533	1,875
6	18,400	1,800
7	18,533	2,000

Jadi perhitungan 6 data hasil pengujian dengan metode *curve fitting* :

$$E_0^2 = Y_0^2 + a^2 X_0 - 2Y_0 \cdot a \sqrt{X_0}$$

$$E_1^2 = Y_1^2 + a^2 X_1 - 2Y_1 \cdot a \sqrt{X_1}$$

$$E_2^2 = Y_2^2 + a^2 X_2 - 2Y_2 \cdot a \sqrt{X_2}$$

$$E_3^2 = Y_3^2 + a^2 X_3 - 2Y_3 \cdot a \sqrt{X_3}$$

$$E_4^2 = Y_4^2 + a^2 X_4 - 2Y_4 \cdot a \sqrt{X_4}$$

$$E_5^2 = Y_5^2 + a^2 X_5 - 2Y_5 \cdot a \sqrt{X_5}$$

$$E_6^2 = Y_6^2 + a^2 X_6 - 2Y_6 \cdot a \sqrt{X_6}$$

-----+

$$S = E_i^2 = \sum_{i=0}^6 (Y_i^2 + a^2 X_i - 2 Y_i a \sqrt{X_i})$$

Supaya S minimum diturunkan menjadi:

$$\frac{ds}{da} = 0$$

$$\sum_{i=0}^6 (2aX_i - 2Y_i\sqrt{X_i}) = 0$$

$$\sum_{i=0}^6 (aX_i - Y_i\sqrt{X_i}) =$$

Koefisien persamaan kuat tarik belah beton *crumb rubber*:

$$(aX_0 - Y_0\sqrt{X_0}) + (aX_1 - Y_1\sqrt{X_1}) + (aX_2 - Y_2\sqrt{X_2}) + (aX_3 - Y_3\sqrt{X_3}) + (aX_4 - Y_4\sqrt{X_4}) + (aX_5 - Y_5\sqrt{X_5}) + (aX_6 - Y_6\sqrt{X_6}) = 0$$

$$[(a(0) - (0)\sqrt{0}) + (a(14,540) - (1,837)\sqrt{14,540}) + (a(13,416) - (1,508)\sqrt{13,416}) + (a(15,886) - (1,704)\sqrt{15,886}) + (a(16,533) - (1,875)\sqrt{16,533}) + (a(18,400) - (1,8)\sqrt{18,400}) + (a(18,533) - (2)\sqrt{18,533})] \text{ MPa} = 0$$

$$(97,308 a - 43,2749) \text{ MPa} = 0$$

$$a = 0,445 \text{ MPa}$$

Persamaan f_c' dan f_{ct} beton *crumb rubber*:

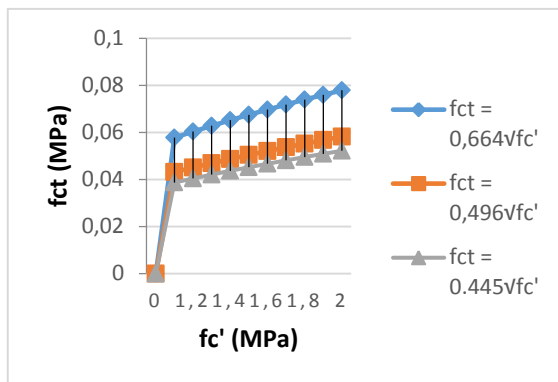
$$f_{ct} = 0,445\sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$$

Setelah persamaan hubungan kuat tekan (f_c') dan kuat tarik belah (f_{ct}) didapat dengan menggunakan metode *lesst squares approximation*. Hasil input f_c' pada persamaan f_c' dan f_{ct} beton campuran *crumb rubber* di plot terhadap f_c' dan f_{ct} beton normal dan beton ringan untuk mengetahui keberadaan grafik beton dengan campuran *crumb rubber*

terhadap f_c' dan f_{ct} beton normal dan beton ringan menurut ACI. Nilai f_c' dan f_{ct} beton normal dan beton ringan dapat dihubungkan dengan persamaan 0,496 MPa sampai 0,664 MPa untuk beton normal dan 0,332 MPa sampai 0,496 MPa untuk beton ringan yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

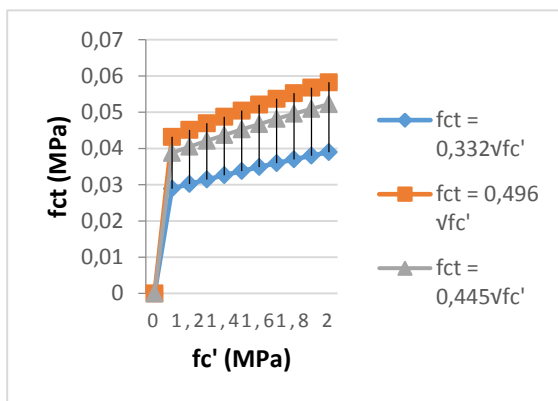
Tabel 11. Sumber: *Design of Concrete Structures (2007)*

	Normal- Weight		Light-weight	
	psi	MPa	psi	MPa
<i>Direct tensile strength</i>	3 to 5	0,249 to 0,415	2 to 3	0,166 to 0,249
<i>Split-cylinder strength</i>	6 to 8	0,496 to 0,664	4 to 6	0,332 to 0,496
<i>Modulus of rupture</i>	8 to 12	0,664 to 0,996	6 to 8	0,496 to 0,664



Gambar 1. Grafik perbandingan fct beton *crumb rubber* dengan fct beton normal menurut Nilson

Pada gambar diatas, merupakan plot fct hasil pengujian beton *crumb rubber* dengan fct beton ringan yang berdasarkan pada tabel 4.31. Pada gambar 4.11, terlihat plot fct beton *crumb rubber* berada di bawah fct beton ringan menurut Nilson.



Gambar 2. Grafik Perbandingan fct beton *crumb rubber* dengan fct beton ringan menurut Nilson

Pada gambar diatas, merupakan plot fct hasil pengujian beton *crumb rubber* dengan fct beton ringan yang berdasarkan pada tabel 4.31. Pada gambar 4.12, terlihat plot fct beton *crumb rubber* berada di antara fct beton ringan menurut Nilson.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah didapat dan pembahasan dari pengujian yang

dilakukan, maka pembuatan beton ringan dengan *crumb rubber* dapat ditarik simpulan bahwa penggunaan *crumb rubber* dapat digunakan untuk membuat beton dengan kategori beton ringan struktural dengan campuran 25% genteng, 75% batu pecah, dan faktor air semen 0,28 agar kriteria kuat tekan dan kuat tarik belah dapat tercapai, serta diperoleh temuan-temuan sebagai berikut:

- 1) Penggunaan *crumb rubber* dapat meningkatkan *workability* dari campuran beton yang dibuat yaitu dengan faktor air 0,28 menghasilkan nilai slump sebesar 6,5 cm -7,5 cm.
- 2) Beton dengan campuran *crumb rubber* dan pecahan genteng menghasilkan kuat tekan dari 13,2 MPa sampai 19,2 MPa.
- 3) Beton dengan campuran *crumb rubber* dan pecahan genteng menghasilkan kuat tarik belah dari 1,5 MPa sampai 2,1 MPa.
- 4) Perbandingan hasil penurunan kuat tekan beton dengan *crumb rubber* dan campuran genteng yang menggunakan batu tidak pecah sebesar 6%-15% dari yang menggunakan batu pecah.
- 5) Hubungan kuat tarik belah (fct) dan kuat tekan fc' beton dengan campuran *crumb rubber* didapat dengan persamaan $fct = 0,445\sqrt{fc'}$ MPa.
- 6) Beton dengan campuran *crumb rubber* dan pecahan genteng menghasilkan hubungan kuat tekan dan kuat tarik belah dari beton ringan menurut Nilson yaitu 0,332 MPa sampai 0,496 MPa.
- 7) Campuran beton *crumb rubber* dan pecahan genteng yang memenuhi persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah sebagai beton ringan struktural adalah variasi batu pecah 75% dan pecahan genteng 25% dengan nilai kuat tekan 18,533 MPa dan nilai kuat tarik belah 2,0 MPa.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, N.J. et al. "Engineering Properties of Concrete Containing Recycled Tire Rubber". *International Conference on Construction and Building Technology* (2008)
- Batayneh, M.K., et al. "Promoting The Use Of Crumb Rubber Concrete in Developing Countries". *Elsevier Waste Management* (2007)
- Darwin, D., Dolan C.W., dan Nilson, A.H. "Design of Concrete Structures". *The McGraw-Hill Companies*. (2012)
- Dipohusodo, Istimawan. "*Struktur Beton Bertulang*". PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.(1996)
- Eiras, J.N., et al. "Physical and Mechanical Properties of Foamed Portland Cement Composite Containing Crumb Rubber from Worn Tires". *Universitat Politecnica de Valencia Institutional Repository* (2014)
- Farmington, H., Michigan. "Building Code Requirements for Structural Concrete (318-02) and Commentary (318R-02)". *American Concrete Institute* (2002)
- Gambir, M.L." Concrete Technology". Tata Mc Grow Hill Publishing Company Limited. New Delhi (1986)
- Gerald, C.F. "Applied Numerical Analysis". *Addison-Wesley Publishing Company*. (2007)
- Hariyadi, dan Asyari, Isya. "Pengaruh Penggunaan Serat Limbah Karet Roda Sebagai Bahan Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah, Impact, dan Modulus Runtuh". *Jurnal Teknik Rekayasa* (2009)
- Hidayat, S ." Semen; Jenis dan Aplikasinya Cetakan I'. Penerbit PT. Kawan Pustaka, Jakarta.(2009)
- Karolina, R., dan Pasaribu, J.S. "Analisis Penggunaan Berbagai Merk Semen Portland Tipe 1 Untuk Pembuatan Beton F'C 20 MPa Dengan Menggunakan Agregat Dari Binjai". Universitas Sumatra Utara. (2007)
- Macgregor, J.G."Reinforced Concrete Mechanics and Design". University of Michigan.(2007)
- Mulyono, T. "Teknologi Beton". Yogyakarta. ANDI. (2005)
- Neville, A.M. *Concrete Technology: 2nd Edition*. Pearson Education Limited: United Kingdom, 2010.
- Putra, D.M., dan Suryatenggara, L. "Praktikum Teknologi Beton". Universitas Krida Wacana. (2013)
- Standar Nasional Indonesia 03-1968-1990. "Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (1990)
- Standar Nasional Indonesia 03-1750-1990. "Mutu dan Cara Uji Agregat Beton". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (1990)
- Standar Nasional Indonesia 03-1970-1990. "Metode Pengujian Berat Isi dan Penyerapan Air Agregat Halus". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (1990)
- Standar Nasional Indonesia 03-1971-1990. "Metode Pengujian Kadar Air Agregat". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (1990)

- Standar Nasional Indonesia 03-1972-1990. "Cara Pengujian Nilai Slump". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (1990)
- Standar Nasional Indonesia 03-1974-1990. "Metode Pengujian Kuat Tekan Beton". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (1990)
- Standar Nasional Indonesia 03-4804-1998. "Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (1998)
- Standar Nasional Indonesia 03-2834-2000. "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (2000)
- Standar Nasional Indonesia SNI 03-2461-2002. "Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (2002)
- Standar Nasional Indonesia SNI 03 - 2847 - 2002. "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Pada Bangunan Gedung". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (2002)
- Standar Nasional Indonesia 03-2491-2002. "Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (1990)
- Standar Nasional Indonesia 03-3449-2002. "Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (2002)
- Standar Nasional Indonesia 1969:2008. "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (2008)
- Standar Nasional Indonesia 1970:2008. "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (2008)
- Standar Nasional Indonesia 2417:2008. "Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles". Badan Standarisasi Nasional Indonesia (2008)
- Standar Nasional Indonesia M-10-1991-03." metode pengujian kuat tekan Uniaxial batu"Badan Standarisasi Nasional (1991)
- Standar Nasional Indonesia T-15-1991-03."Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung" Departemen Pekerjaan Umum (1991)
- Talukdar, S., et al. "Development of a Lightweight Low-Carbon Footprint Concrete Containing Recycled Waste Materials". *University of British Columbia Institutional Repository* (2011)
- Tuan, T.M," Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02)" American Concrete Institute(2003)
- Tjokrodinuljo, K., "*Teknologi Beton* (Bahan Kuliah)". Yogyakarta: Penerbit Andi, (2007)
- Widjaja, D., dan Wijaya, D. " Pembuatan Beton Ringan Dengan *Crumb Rubber*". Universitas Krida Wacana. (2014).
- Yasin, Amjad A. "Using Shredded Tires as an Aggregate in Concrete". *Al-Balqa Applied University Institutional Repository* (2012)