

Pengaruh Penggunaan Substitusi Pozolan Dan Penambahan Serat Karet Ban Bekas Kendaraan Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Normal

Imransyah Idroes¹, Fikri Harli², Bunyamin³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda, Banda Aceh, Indonesia

*Koresponden email: fikriharli@gmail.com

Diterima: 08 November 2022

Disetujui: 20 November 2022

Abstract

Used tires are one of the largest contributors to inorganic material wasted, as a result of the rapidly increasing growth of vehicles. The use of waste tires as a substitute material or as an enhancer in a concrete mixture reduces the level of environmental pollution. The quality of the plan on the concrete plan is f_c 17 MPa is the minimum requirement for structural concrete in SNI 2847-2019. This study was conducted on 20 test objects measuring 15 x 30 cm, 15 test objects using 5%, 10%, and 15% used vehicle tire fiber and 10% pozzolana, while for comparison, 5 pieces of normal concrete test objects were used. The method used in this study was to use SNI 03-2491-2002, SNI 2460-2014, SNI 2847-2019, ACI 2.11.1-91, and ASTM C 618-03. The tensile strength of normal concrete is 2.44 MPa and its variations are 2.34 MPa, 2.27 MPa, and 2.23 MPa, respectively. The ratio of the tensile strength of compressive strength to the normal concrete specimens, materials, and designs and their corresponding variations is 13.34%, 19.14%, 19.19%, and 20.52%. As well as the ratio of tensile strength of split and normal concrete of 17 MPa in a row is 13.37%, 13.34%, and 13.09%.

Keywords: *Tensile Strength, Used Vehicle Tires, Pozzolana, f_c 17 MPa, Normal Concrete*

Abstrak

Ban bekas merupakan salah satu penyumbang limbah bahan anorganik terbanyak, sebagai dampak dari pertumbuhan kendaraan yang semakin meningkat pesat. Penggunaan limbah ban bekas sebagai bahan pengganti maupun sebagai bahan penambah dalam suatu campuran beton dapat mengurangi tingkat pencemaran lingkungan. Mutu rencana pada rancangan beton adalah f_c 17 Mpa merupakan syarat minimum beton struktur pada SNI 2847-2019. Penelitian ini dilakukan pada 20 buah benda uji berukuran 15 x 30 cm, 15 buah benda uji menggunakan 5%, 10%, 15% serat ban bekas kendaraan dan 10% pozolan, sedangkan untuk pembandingan digunakan 5 buah benda uji beton normal. Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan SNI 03-2491-2002, SNI 2460-2014, SNI 2847-2019, ACI 2.11.1-91, dan ASTM C 618-03. Kuat tarik belah beton normal adalah 2,44 MPa dan variasinya berturut-turut adalah 2,34 MPa, 2,27 MPa, dan 2,23 MPa. perbandingan kuat tarik belah dari kuat tekan nya dengan spesimen, bahan, dan rancangan beton normal dan variasinya yang sama berturut turut adalah 13,34 %, 19,14 %, 19,19 %, dan 20,52 %. Serta perbandingan kuat tarik belah dan beton normal 17 MPa berturut-turut adalah 13,37 %, 13,34 %, dan 13,09 %.

Kata Kunci: *Kuat Tarik Belah, Ban Bekas Kendaraan, Pozolan, f_c 17 MPa, Beton Normal*

1. Pendahuluan

Ban bekas kendaraan merupakan salah satu penyumbang limbah terbanyak. Hal ini disebabkan karena pertumbuhan kendaraan yang semakin meningkat pesat setiap tahunnya, dengan banyaknya kendaraan bermotor tentu akan menghasilkan limbah ban yang menumpuk yang merupakan bahan anorganik (tidak dapat di uraikan kembali) serta bersifat tahan lama (*persistent*) yang tidak akan pernah membusuk. Apabila limbah ban bekas tersebut dibakar akan menghasilkan gas yang sangat berbahaya yaitu Dioksin dan polusi udara sehingga dapat membahayakan manusia serta merusak lingkungan sekitar.

Selanjutnya, pozolan merupakan material yang mengandung pozolan yang terdiri dari silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang tidak mempunyai sifat pengikat seperti semen[1]. Akan tetapi dengan adanya air senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dengan suhu normal membentuk kalsium hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang bersifat hidraulis yang mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

Pada penelitian kali ini mencakup sejauh mana pengaruh penggunaan pozolan sebagai substitusi pasir halus serta penambahan serat ban bekas kendaraan sebagai tambahan campuran beton terhadap peningkatan mutu tarik belah beton normal dengan variasi pozolan 0%, dan, 10% dari berat pasir halus dan variasi serat ban bekas kendaraan 0%, 5%, 10%, dan 15% sebagai penambah pada campuran beton dengan mutu yang direncanakan yaitu sebesar 17 MPa[2].

Ruang lingkup penelitian ini adalah pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat yaitu pemeriksaan berat volume (*bulk density*), berat jenis (*specific gravity*), penyerapan (*absorption*), analisa saringan (*sieve analysis*), modulus kehalusan (*fineness modulus*), pemeriksaan material[3]. Perencanaan campuran beton (*mix design*) dengan metode ACI 2.11.1-91[4], pelaksanaan dan perawatan beton, pengujian kuat tarik belah beton dan analisis data. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pada penelitian ini jumlah sampel yang digunakan adalah dua puluh (20) buah benda uji. Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Pengujian kuat tarik belah dilakukan dengan memberi beban maksimum kepada benda uji secara lateral dengan menggunakan dua buah penampang[5].

Kuat Tarik Belah pada beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) sebagai berikut:

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1)$$

Dimana:

F_{ct} = kuat tarik belah (MPa atau N/mm^2)

P = beban uji maksimum (N)

L = panjang benda uji (mm)

D = diameter benda uji (mm)

Hasil yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk melihat seberapa besar pengaruh penggunaan serat ban bekas kendaraan dan pozolan yang digunakan sebagai bahan penambah pada campuran beton dalam pengujian kuat tarik belah beton. Hasil akhir dari penelitian ini adalah kuat tarik belah beton yang dibahas dalam bentuk tabel dan grafik.

2. Material dan Metodologi

2.1 Persiapan Material dan Agregat

Pozolan yang digunakan bersumber dari PT. Samana Citra Agung, Krueng raya, Kecamatan Masjid Raya, Kabupaten Aceh besar, lalu dilakukan pengayakan lolos saringan 4,75 mm. Sedangkan limbah ban bekas kendaraan berasal dari CV. Rapi Vulkanisir, Kecamatan Suka Makmur, Kabupaten Aceh Besar yang diolah perusahaan tersebut dengan cara dihancurkan sehingga menjadi serat kemudian serat di ambil dari perusahaan tersebut di ayak lolos saringan 31,5 mm tertahan pada ayakan 9,10 mm untuk mendapatkan serat ban bekas kendaraan sebagai bahan tambah pada campuran beton. Agregat halus dan kasar juga dipersiapkan serta diperiksa sifat fisis nya. Agregat kasar adalah agregat yang semua butirannya yang lolos ayakan 25 mm dan tertinggal di atas ayakan 4,8 mm. Agregat halus adalah agregat isi yang berupa pasir alam hasil disintegrasi alami dari batu-batuan (*natural sand*) atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari alat-alat pemecah batuan (*artificial sand*).

2.2 Rancangan Campuran Beton

Rancangan Campuran Beton menggunakan metode ACI 2.11.1-91 dengan mutu rencana 17 MPa dengan FAS 0,62 menggunakan semen PCC (*Portland Composite Cement*) merek dagang Semen Andalas dengan nilai slump 75-100 mm. Benda uji silinder dengan ukuran diameter 15 cm x 30 cm sebanyak 20 buah benda uji. Pozolan yang akan digunakan sebagai substitusi pasir halus pada campuran beton adalah 0%, dan 10% serta serat ban bekas kendaraan yang digunakan sebagai tambahan dengan persentase 0%, 5% , 10%, 15% dari berat semen.

2.3 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan adalah Mesin *compressive strength tester 100 t*, mesin molen, cetakan benda uji yang berbentuk silinder, oven, cetakan kerucut pasir (*sand cone*) dengan diameter 15 mm, besi penumbuk sepanjang 25 cm, timbangan digital dan manual, ayakan dengan standar ASTM, kerucut Abram (*Abram's cone*), dan plat besi dengan ukuran 45 cm x 45 cm x 45 cm.

2.4 Pengujian Kuat Tarik Belah

Nilai kuat tarik belah diperoleh melalui pengujian tekan beton di laboratorium dengan membebani setiap benda uji secara lateral sampai pada kekuatan maksimumnya. Sifat kuat tarik belah beton relatif rendah, kira-kira 9%-15% dari nilai kuat tarik belah beton. Mutunya sukar untuk diukur dan hasilnya berbeda-beda dari satu percobaan ke bahan percobaan yang lain jika dibandingkan dengan pengujian kuat tarik belah beton. Hasil pengujian kuat tarik belah dengan menggunakan benda uji silinder berukuran 15 cm x 30 cm. Pengujian tekan silinder ini dilakukan setelah beton berumur 28 hari dalam bak perendaman, setelah mencapai umur yang telah direncanakan barulah dilakukan pengujian menggunakan mesin. Pengujian pembebanan dilakukan pada saat benda uji secara lateral. Pengujian dilakukan dengan mesin penguji kuat tarik belah.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pemeriksaan Material dan Mix Design

Data hasil pemeriksaan laboratorium terhadap sifat-sifat fisis agregat yang berasal dari kawasan Jantho, Kabupaten Aceh Besar, meliputi pemeriksaan berat volume, berat jenis, penyerapan, analisa saringan, modulus kehalusan. Pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat merupakan salah satu data pendukung pada penelitian ini. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan beton.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Berat Volume Agregat

No.	Jenis Agregat	Berat Volume (Kg/l)	Batas Ijin (Teori) Troxell (1968)
1	Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)	1,697	
2	Agregat Kasar (<i>Coarse Sand</i>)	1,848	> 1,4 kg/l
3	Kerikil (<i>Coarse Aggregate</i>)	1,736	

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada Tabel 1 maka untuk berat volume pasir halus yaitu sebesar 1,697 kg/l, dan untuk agregat kasar sebesar 1,848 kg/l serta untuk kerikil memiliki berat volume sebesar 1,736 kg/l, sehingga diketahui bahwa kerikil dan pasir yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat sebagai material pembentuk beton dimana berat volume agregat tersebut lebih besar dari 1,4 kg/l. sebagaimana yang disarankan oleh Troxell (1968).

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat

No.	Jenis Agregat	Berat Jenis		Batas Ijin (Teori) (1968)
		SG (SSD)	SG (OD)	
1	Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)	2,75	2,71	
2	Agregat Kasar (<i>Coarse Sand</i>)	2,74	2,70	2,0 – 2,7
3	Kerikil (<i>Coarse Aggregate</i>)	2,83	2,78	2,50 – 2,80

Hasil perhitungan pada Tabel 2 diketahui bahwa untuk berat pasir halus dalam kondisi SSD yaitu sebesar 2,75 dan OD sebesar 2,71, sedangkan untuk berat jenis agregat kasar dalam kondisi SSD yaitu sebesar 2,74 dan dalam kondisi OD sebesar 2,70, serta untuk berat jenis kerikil dalam kondisi SSD sebesar 2,83 dan 2,78 dalam kondisi OD, sehingga dapat dikatakan bahwa berat jenis agregat yang digunakan dalam penelitian pasir halus dan agregat kasar cukup baik untuk material pembentuk beton dan memenuhi syarat yang telah disarankan oleh Troxell (1968), sedangkan kerikil sedikit melebihi dari syarat yang ditentukan.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Absorpsi Agregat

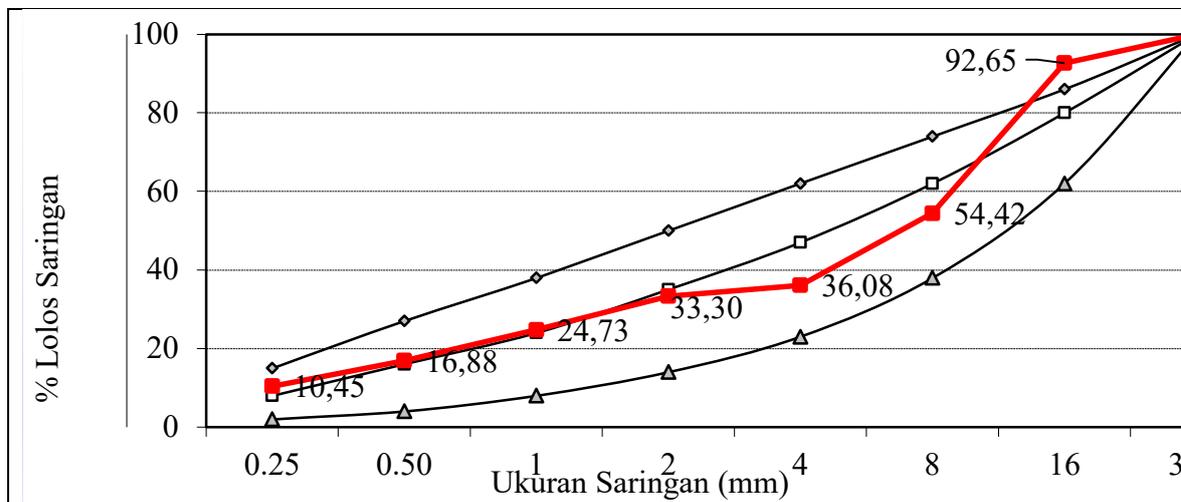
No.	Jenis Agregat	Absorpsi (%)	Batas Ijin (Teori)	
			Troxell (1968)	Orchard (1979)
1	Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)	1,61	0 % - 2%	0,40 % - 1,90 %
2	Agregat Kasar (<i>Coarse Sand</i>)	1,63		
3	Kerikil (<i>Coarse Aggregate</i>)	1,93	0,50% - 1,00%	

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3 diketahui bahwa absorpsi penyerapan untuk pasir halus yaitu sebesar 1,61%, dan agregat kasar sebesar 1,63% serta kerikil sebesar 1,93%, sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini kerikil yang digunakan melebihi ketentuan yang telah disyarat sebagai material pembentuk beton dimana nilai absorpsi agregat berkisar antara 0,40% - 1,90% sebagaimana yang telah disarankan oleh Troxell (1968) dan Orchard (1979).

Tabel 4. Hasil Perhitungan Fine Modulus Pasir Halus

No.	Jenis Agregat	<i>Finess Modulus (FM)</i>
1	Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)	2,34
2	Agregat Kasar (<i>Coarse Sand</i>)	2,91
3	Kerikil (<i>Coarse Aggregate</i>)	6,83

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4 pasir halus dalam penelitian ini memenuhi syarat sebagai material pembentuk beton yang nilai *finess modulus* berkisar antara 2,3-3,1 sebagaimana yang telah disyaratkan atau ditentukan oleh ASTM C-33.



Grafik 1. Gradasi Agregat

Hasil analisis gradasi agregat pasir diperoleh pasir yang digunakan termasuk pada zona II yaitu pasir agak kasar, dimana pasir dalam kondisi ini banyak digunakan sebagai material penyusun beton. Dari analisis gradasi yang telah dilakukan didapat modulus kehalusan butiran dimana persentase komulatif tinggal ayakan berbanding dengan persentase tertinggal ayakan, sehingga didapat modulus kehalusan butiran sebesar 5,70 dapat dilihat pada grafik gradasi pasir rencana pada Grafik 1 bahwa semua pasir halus yang melewati lubang ayakan berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi pasir.

Tabel 5. Sifat Fisis Pozolan Azzani (2010)

Pemeriksaan Sifat Fisis	Hasil Rata-rata Penelitian
Berat jenis pozolan alami	1,92 gr/ml
Daya serap air pozolan alami	10,583%
Modulus kehalusan	3,283%

Tabel 6. Rancangan Campuran Beton 1 m³ dengan metode ACI FAS 0,62

Material	Jumlah yang dibutuhkan	Satuan
Air	193,00	Kg/m ³
Semen	311,00	Kg/m ³
Kerikil	1198,16	Kg/m ³
Pasir Kasar	304,90	Kg/m ³
Pasir Halus	372,65	Kg/m ³
TOTAL	2380,00	Kg/m³

Tabel 7. Hasil test slump benda uji silinder

Persentase Penambahan Serat Ban Bekas (%)	Pozolan (%)	Tinggi Slump (mm)	Workability (±Jumlah air)	Slump Rencana
Beton normal	-	85	-	75 - 100 mm
5	10	85	-	
10	10	80	-	
15	10	80	-	

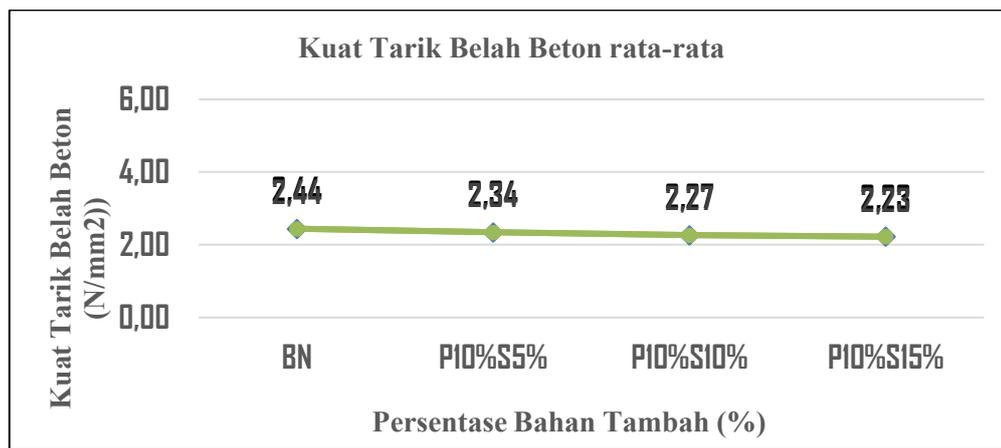
3.2 Pengujian Kuat Tarik Belah

Pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan di laboratorium bahan bangunan Universitas Iskandar Muda Banda Aceh dengan mutu rencana sebesar 17 MPa dengan FAS 0,62. Pozolan yang akan digunakan sebagai substitusi pasir halus pada campuran beton adalah 0%, dan 10% serta serat ban bekas kendaraan yang digunakan sebagai tambahan dengan persentase 0%, 5% , 10%, 15% dengan jumlah spesimen sebanyak 20 buah. Adapun hasil yang di dapat adalah sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Persentase Substitusi dan bahan tambah	Kuat Tarik Belah rata-rata (MPa)
Beton Normal	2,44
P10%S5%	2,34
P10%S10%	2,27
P10%S15%	2,23

Pengujian dilakukan di umur beton 28 hari, dengan hasil beton normal dan variasinya berturut-turut adalah 2,44 MPa, 2,34 MPa, 2,27 MPa, dan 2,23 MPa. Hasil pengujian disajikan dalam grafik adalah sebagai berikut:



Grafik 2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton rata-rata

Tabel 1 menunjukkan bahwa pengujian kuat tarik belah beton normal sebesar 2,44 Mpa, sedangkan hasil yang didapat dari substitusi pozolan terhadap pasir halus sebesar 10% dan penambahan serat ban bekas dengan variasi 5%, 10%, dan 15% terjadi penurunan dengan nilai masing-masing sebesar 2,34 MPa, 2,27 MPa dan 2,24 MPa.

Dalam grafik 1 dapat dilihat terjadi penurunan mutu seiring dengan penambahan persentase serat ban bekas. Serat karet ban bekas ternyata tak menyatu dengan adonan beton segar sehingga ketika proses bereaksi sehingga menimbulkan rongga-rongga dan mengakibatkan penurunan mutu. Sedangkan Pozolan yang digunakan ternyata kurang efektif sebagai substitusi pasir halus sebab mempunyai nilai absorpsi yang tinggi.

3.4 Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Nilai kuat tekan berkisar antara 9-15% dari kuat tekan nya[6]. Pengujian kuat tekan dengan bahan, rancangan beton, variasi campuran, dan jumlah spesimen yang sama juga mengalami penurunan mutu beton antara beton normal dan variasinya berturut –turut adalah 18,29 MPa, 12,23 MPa, 11,82 MPa, dan 10,84 MPa. Hal ini disebabkan karena terlalu besarnya persentase penambahan serat ban bekas kendaraan sehingga mengurangi ikatan (*interlock*) antara campuran beton sehingga mengurangi mutu kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

Tabel 9. Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah dengan spesimen sejenis

Persentase Substitusi dan bahan tambah	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Persentase (%)
BN	18,29	2,44	13,34
P10%S5%	12,23	2,34	19,14
P10%S10%	11,82	2,27	19,19
P10%S15%	10,84	2,23	20,52

Dari tabel 9 diatas menjelaskan bahwa perbandingan kuat tarik belah dari kuat tekan nya dengan spesimen, bahan, dan rancangan beton normal dan variasinya yang sama berturut turut adalah 13,34 %, 19,14 %, 19,19 %, dan 20,52 %. Terdapat kenaikan persentase kuat tarik belah dengan perbandingan spesimen, bahan dan rancangan beton yang sama, pada nilai kuat tekan yang sama. Hal ini disebabkan karena penggunaan serat ban bekas lebih efektif digunakan pada pengujian kuat tarik belah dibandingkan dengan kuat tekannya.

Tabel 10. Persentase Perbandingan Nilai Kuat Tarik belah Beton Terhadap Beton Normal 17 MPa

Persentase Substitusi dan bahan tambah	Kuat Tarik Belah terhadap beton Normal 17 MPa (%)
P10%S5%	13,37
P10%S10%	13,34
P10%S15%	13,09

Dari tabel 10 diatas menjelaskan bahwa perbandingan kuat tarik belah dan beton normal 17 MPa berturut-turut adalah 13,37 %, 13,34 %, dan 13,09 %. Terjadi penurunan yang sejalan dengan peningkatan variasi persentase penambahan serat karet ban bekas dalam rancangan campuran beton. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase penambahan serat ban bekas maka persentase Kuat tarik belah terhadap beton normal akan semakin menurun.

Tabel 11. Rekapitulasi Perbandingan persentase kuat tekan dan kuat tarik belah normal dan variasinya

Persentase Substitusi dan bahan tambah	Kuat Tekan Beton Normal (MPa)	Kuat Tarik Belah Beton Rata – Rata (MPa)	Persentase Perbandingan Kuat Tarik Belah (%)
BN		2,44	14,36
P10% S5%	17	2,34	13,77
P10%S10%		2,27	13,34
P10%S15%		2.23	13,09

Di tabel 11 di dapat bahwa untuk memperhitungkan tegangan tarik belah beton maka perlu di gunakan sebuah pendekatan rumus dalam SNI maka di dapat $f'_{ct} = 0,57-0,68 (\sqrt{f'_c})$. Dengan pengontrol $0,1f'_c < f'_{ct} < 0,2f'_c$ sehingga hasil pengujian didapat $0,1f'_c < 0,57-0,68 < 0,2f'_c$.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dilakukan maka didapat kesimpulan, yaitu:

1. Persentase perbandingan Kuat tekan dan kuat tarik belah dengan spesimen yang sama mempunyai nilai berturut-turut yaitu 13,34 %, 19,14 %, 19,19 %, dan 20,52 %.
2. Persentase perbandingan kuat tarik belah dengan penambahan pozolan 10% sebagai substitusi agregat halus dan serat ban bekas kendaraan sebagai bahan tambah dengan variasi 5%, 10% dan 15% berturut-turut adalah 13,37%, 13,34%, dan 13,09%
3. Penambahan Serat karet ban bekas berpengaruh besar dalam penurunan mutu beton baik kuat tarik belah maupun kuat tekan nya.
4. Peningkatan Kuat Tarik Belah beton sejalan dengan peningkatan Kuat Tekan nya.
5. Berdasarkan SNI di dapat $f'_{ct} = 0,57-0,68 (\sqrt{f'_c})$. Pengontrol tegangan pada kuat tarik belah dengan pendekatan $0,1f'_c < f'_{ct} < 0,2f'_c$ sehingga di dapat $0,1f'_c < 0,57-0,68 < 0,2f'_c$.

5. Saran

Berdasarkan penelitian dan analisis data maka dapat diberikan saran yaitu:

1. Material yang digunakan harus sesuai dengan syarat yang ditentukan ketika memeriksa sifat fisis pada bahan pembentuk beton dan mengetahui nilai absorpsi serta berat jenis bahan pengganti maupun campuran untuk beton.
2. Pemeriksaan Sifat dan kandungan Kimiawi pada penambahan material seperti Pozzolan sangat dianjurkan, sehingga kedepannya mampu meningkatkan mutu beton.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan terhadap serat ban bekas kendaraan dengan material lain untuk memperkuat hasil penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] B. S. Nasional, "Penggunaan abu terbang dalam campuran beton sedikit semen portland," *Dinas Pekerj. Umum dan Perumah. Rakyat*, no. September, 2019.
- [2] SNI 03-2834-2000, "SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal," *Sni 03-2834-2000*, pp. 1–34, 2000.
- [3] American Society for Testing and Materials, "ASTM C33- 03 : Standard Spesification for Concrete Aggregate," *ASTM Stand. B.*, vol. 04, pp. 1–11, 2001.
- [4] ACI Committee 211, "About drawdown drilling parameters design procedure at primary formation exposing by a horizontal wellbore," *Stand. Pract. Sel. Proportions Norm. Heavyweight, Mass Concr. (ACI 211.1-91)*, no. 9, pp. 120–121, 2006.
- [5] SNI 03-2491, "Metode pengujian kuat tarik belah beton," *Badan Standar Nas. Indones.*, p. 14, 2002.
- [6] I. Dipohusodo, "Struktur Beton Betulang," *Unknown*, p. 271, 1993.
- [7] J. W. Troxell, George Earl and Davis, Harmer E and Kelly, "No Title," *Compos. Prop. Concr.*, 1968.
- [8] ASTM C618 - 03, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use West Conshohocken, PA, 2001," *Annu. B. ASTM Stand.*, no. C, pp. 3–6, 2010.
- [9] R. Orchard, Dennis Frank and Curran, A and Hearne, "Concrete technology-Volume 1-Properties of materials," *Irish J. Environ. Sci.*, 1979.
- [10] ASTM C150/C150M, "Astm C 150," *ASTM C 150/ C150M-15 Stand. Specif. Portl. Cem.*, vol. i, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1520/C0150.
- [11] S. A. Nanda, D. Sarana, and M. Z. Yaqin, "Pengaruh Substitusi Pasir Pozzolan Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Pasca Bakar Dengan Dan Tanpa Perendaman," *Teras J.*, vol. 8, no. 2, p. 391, 2019, doi: 10.29103/tj.v8i2.162.
- [12] R. M. Bunyamin, Hendrifa Nesri, "Pengaruh Substitusi cangkakang Tiram sebagai pengganti Sebahagian Semen dan Pasir Halus terhadap Kuat Tarik Belah Beton," vol. 11, no. 2, pp. 272–281, 2021.
- [13] Hermila, D. Djamas, and H. Amir, "Pengaruh Variasi Komposisi Pasir Pozzoland dan Pasir Alam Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Bata Ringan," *Pillar Phys.*, vol. 1, no. April, pp. 65–72, 2014.
- [14] M. Hady, B. Bunyamin, D. Darwin, A. Rahman, and A. Satria, "Pemanfaatan Cangkang Keong Sawah Sebagai Substitusi Sebahagian Semen Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Tek. Sipil dan Teknol. Konstr.*, vol. 8, no. 1, pp. 28–36, 2022.
- [15] K. D. Pratiwi, D. Widya, Z. Djauhari, and M. Olivia, "Kuat Tekan dan Porositas Mortar Sebuk Karet Pada Suhu Tinggi," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 15, no. 1, p. 57, 2019, doi: 10.25077/jrs.15.1.57-65.2019.
- [16] S. I. Yansiku, "Perilaku Kekuatan Beton dengan Partikel Gelas dan Karet Ban Bekas Sebagai Pengganti Pasir Alam," *J. Tek. Sipil dan Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2018, doi: 10.29244/jsil.3.1.1-10.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002," *Bandung Badan Stand. Nas.*, p. 251, 2002.