



Perbandingan Kuat Lentur Dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Geopolimer

M. Resky Febriansyah^{#a}, Reky S. Windah^{#b}, Servie O. Dapas^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^areskyfebriansyah26@gmail.com, ^brekywindah@gmail.com, ^cq

Abstrak

Beton Geopolimer adalah beton terobosan terbaru tanpa adanya penggunaan semen pada campurannya yang pada saat ini sedang dikembangkan untuk mendapatkan hasil terbaik dalam penerapannya di lapangan. Proses pengikatan beton geopolimer terjadi dikarenakan adanya silica dan alumina pada *Fly Ash* yang jika dicampurkan dengan cairan alkalin activator dan superplatisizer akan membentuk pasta geopolimer. Benda uji yang digunakan adalah beton geopolimer dengan perbedaan dimensi benda uji untuk kuat Tarik belah dan Tarik lentur. Waktu pengujian benda uji dilakukan setelah beton geopolimer berumur 28 hari dengan jenis perawatan temperatur ruangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik lentur dan kuat Tarik belah pada ukuran yang lebi kecil menunjukkan nilai kuat Tarik yang lebih tinggi. Nilai rata-rata kuat tarik belah pada ukuran silinder 100 x 200 mm yang memperoleh nilai kuat tarik belah rata rata dari 1,935 dan pada ukuran silinder 150 x 300 mm yang memperoleh nilai kuat tarik belah rata rata dari 1,79. Nilai rata-rata kuat tarik lentur pada ukuran balok 100 x 100 x 400 mm yang memperoleh nilai kuat tarik lentur rata rata dari 1,80 MPa dan pada ukuran balok 150 x 150 x 600 mm yang memperoleh nilai kuat tarik lentur rata rata dari 2,70 MPa.

Kata kunci: geopolimer, fly ash, kuat tarik lentur, kuat tarik belah, suhu ruang

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi beton semakin meluas dengan meningkatnya berbagai pilihan kombinasi campuran material sebagai pengganti semen Portland, pasir dan agregat kasar guna menghasilkan kekuatan dan kemampuan layan yang memadai bagi struktur bangunan. Namun di sisi lain dampaknya terhadap lingkungan sebagai akibat dari tingginya emisi karbon dalam proses produksi semen, yang memiliki kontribusi sebesar 9.5% terhadap emisi karbondioksida global. Namun semakin banyak pembangunan yang dilakukan maka semakin banyak pula semen yang diperlukan, dalam hal ini tanpa kita sadari pada saat produksi semen terjadi pelepasan gas karbondioksida (CO₂) ke udara yang sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi yang dapat merusak lingkungan hidup kita diantaranya pemanasan global.

Abu terbang merupakan salah satu material hasil sampingan (*by product*) industri yang dapat digunakan untuk membuat bahan pengikat (*binders*) pada beton geopolimer. Hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan untuk memperbaiki kinerja beton. Material ini tersedia sangat banyak tapi penggunaannya untuk pembuatan beton masih sangat terbatas. Pada tahun 1988 perkiraan produksi abu terbang melebihi 390 juta ton setiap tahunnya, tapi pemanfaatannya masih kurang dari 15% (Malhotra, 1999). Sedangkan Apabila Abu terbang ini dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran pada air, tanah, dan udara karena walaupun dalam jumlah sedikit, abu terbang mengandung beberapa elemen beracun seperti *arsenik, vanadium, antimony, boron*

dan *chromium*.

Salah satu kelebihan dari material ini adalah dapat mengurangi emisi gas karbon dioksida yang merupakan salah satu gas rumah kaca ke atmosfer jika material ini digunakan untuk mengganti penggunaan semen portland. Penggunaan teknologi geopolimer dapat mengurangi sekitar 80% emisi gas karbondioksida ke atmosfer yang disebabkan oleh industri semen dan agregat (Davidovits, 1999). Material *fly ash* dalam pembuatan beton dapat saja bereaksi secara kimia dengan cairan alkalin pada temperature tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen.

Apabila kita meninjau sifat mekanik dari beton, dapat diketahui bahwa beton mempunyai nilai kuat tarik yang lebih rendah dari kuat tekan. Meskipun nilainya relatif lebih rendah, namun kuat tarik beton dapat mengurangi retak yang dapat terjadi pada beton. Dengan begitu, korosi pada tulangan baja yang disebabkan oleh air dapat dicegah. Penelitian ini akan menguji pengaruh penambahan material geopolimer berbasis *fly ash*, pada sifat mekanik beton, yaitu kuat tarik belah dan tarik lentur beton konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah maka dapat dirumuskan permasalahan, yaitu bagaimana perbandingan antara nilai tarik belah dan tarik lentur pada beton geopolimer.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana nilai besar hubungan antara nilai tarik belah dan tarik lentur pada beton geopolimer.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian sesuai dengan tujuan penelitian, maka dalam penelitian ini diperlukan adanya batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Bahan pembentuk beton sebagai berikut
 - a. Abu Terbang (*Fly Ash*) dari PLTU Amurang.
 - b. Cairan Alkalin yaitu kombinasi cairan sodium silikat dan sodium hidroksida.
 - c. Superplastisizer digunakan Viscocrete-10 dengan merk dagang Sika®
 - d. Agregat halus yang dipakai yaitu pasir dari daerah Girian
 - e. Agregat kasar yang dipakai yaitu kerikil dari Lansot Kemah.
2. Air yang digunakan berasal dari sumur bor laboratorium Rekayasa Material, Fakultas Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.
3. Benda uji yang dipakai adalah silinder (100 x 200) mm dan (150 x 300) mm, balok (100 x 100 x 400) mm dan balok (150 x 150 x 600) mm.
4. Pengujian dilakukan saat beton berumur 28 hari
5. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai kuat tarik belah dan lentur pada beton geopolimer.
6. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan diperoleh dari penelitian ini diantaranya:

1. Memperoleh informasi mengenai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur pada beton geopolimer dengan pemanfaatan dan *fly ash*
2. Hasil penelitian ini akan menjadi salah satu sumber informasi mengenai pembuatan beton Geopolimer
3. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat mengurangi pelepasan gas karbondioksida (CO₂) ke udara sehingga mengurangi pemanasan global
4. Dengan hasil penelitian yang positif diharapkan kedepannya dapat membantu mengurangi masalah volume limbah pembakaran batu bara yaitu abu terbang (*fly ash*).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Beton Geopolimer

Terminologi *geopolimer* pertama kali digunakan oleh Profesor Davidovits pada tahun 1978 (Davidovits, 1988) untuk menjelaskan tentang mineral polymer yang dihasilkan melalui *geochemistry*. *Geopolimer* adalah bahan material yang ramah lingkungan dan bisa dikembangkan sebagai alternatif pengganti semen. Bahan dasar yang utama untuk pembuatan beton *geopolimer* yaitu bahan yang banyak mengandung silicon dan aluminium. Unsur tersebut terdapat banyak pada material buangan hasil industri, seperti abu terbang (*fly ash*) sisa pembakaran batu bara. Untuk melarutkan unsur silicon dan aluminium, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi digunakan larutan yang bersifat alkalis. Bahan material geopolimer tersebut bila digabungkan dengan agregat batuan, akan menghasilkan beton *geopolimer* tanpa menggunakan semen lagi.

Kelebihan beton geopolimer :

1. Tahan terhadap api
2. Tahan terhadap lingkungan korosif
3. Dapat mengurangi polusi udara

Kekurangan beton geopolimer:

Beton geopolimer selain memiliki kelebihan, adapun kekurangan yang dimiliki oleh beton geopolimer :

1. Pembuatan beton geopolimer lebih rumit dibandingkan beton semen, karena membutuhkan *alkaline activator*
2. Belum ada rancangan campuran yang pasti
3. Jenis material yang digunakan lebih banyak dari pada beton konvensional.

2.2 Material Pembentuk Beton Geopolimer

1. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kurang lebih menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 1996).

- a. Agregat Kasar:
- b. Agregat Halus

2. Fly Ash

Abu terbang adalah salah satu limbah yang dihasilkan dalam pembakaran batubara berbentuk partikel-partikel halus. Menurut PP No. 85 Tahun 1999 abu terbang masuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. Kurda, Silvestre, and Brito (2018) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa penggunaan abu terbang berdampak pada pengurangan terjadinya pencemaran lingkungan. Gas emisi CO₂ dapat diturunkan dari 18% menjadi 57% dengan meningkatkan kadar abu terbang dalam beton dari 24% hingga 70%.

3. Cairan Alkalin

Cairan alkalin yang digunakan adalah kombinasi dari sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃) untuk membantu terjadinya reaksi kimia dengan aluminium dan silika yang terdapat pada abu terbang. Sodium hidroksida yang digunakan sebagai *alkalin activator*.

4. Superplastisizer

Superplastisizer merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk meningkatkan *workability* dari beton geopolimer segar (Hardjito & Rangan, 2005). Penggunaan *superplasticizer* mulai dikembangkan di Jepang dan di Jerman pada awal tahun 1960-an.

2.3 Kuat Tarik Belah Beton

Kekuatan tarik beton relatif rendah, kira-kira 10%-15% dari kekuatan tekan beton, kadang-kadang 20%. Kekuatan ini lebih sukar untuk diukur dan hasilnya berbeda-beda dari satu bahan percobaan ke bahan percobaan yang lain dibandingkan untuk silinder-silinder tekan (Ferguson, 1986:11). Kekuatan tarik belah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (SNI 03-2491-

2002) :

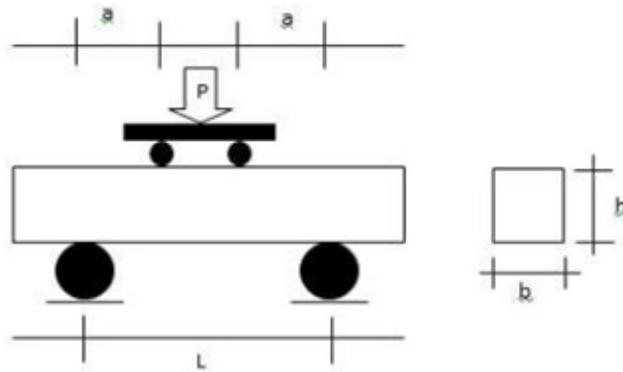
$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1)$$

dimana :

- f_{ct} = Kuat tarik belah beton (MPa)
 P = Beban uji maksimum (N)
 L = Panjang benda uji (mm)
 D = Diameter benda uji (mm)
 π = Phi (22/7)

2.4 Kuat Lentur Beton

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 03-4431-1997).



Gambar 1. Sistem Pembebanan Dua Titik

Berikut rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan kuat tarik lentur beton:

- a) Untuk pengujian dimana bidang patah terletak didaerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$f_r = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (2)$$

- b) Untuk pengujian dimana benda uji mengalami patah di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan, maka kuat tarik lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$f_r = \frac{3Pa}{bh^2} \quad (3)$$

Dengan keterangan:

- f_r = kuat tarik lentur benda uji (MPa)
 P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembaca dalam ton sampai 3 angka di belakang koma)
 L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
 b = notasa (mm)
 h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
 a = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar

3. Alur Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan menurut alur pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Komposisi Campuran

Komposisi campuran beton pada penelitian ini pada penelitian D. Hardjito dan B. V. Rangan (2005) “*Development and Properties of Low Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*”. Dari trial mix dilakukan, maka didapat komposisi campuran yang telah dimodifikasi.

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton Geopolimer

Material	Berat (kg/m ³)
Agregat Kasar (Batu Pecah)	1294
Agregat Halus (Pasir besi)	554
Fly Ash (FA)	476
Sodium Hidroksida (NaOH) 14 M	120
Sodium Silikat (Na ₂ SiO ₃)	300
Superplasticizer	12

4.2 Pemeriksaan Kuat Tekan Beton Geopolimer

Tabel 2. Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Silinder 150 x 300 mm

Silinder	Berat (kg)	Kuat tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	12,2	19,17	18,67
2	12	17,7	
3	12,2	18,31	
4	12,25	19,5	

Sumber: Hasil Penelitian

4.3 Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer

4.4.1 Kuat tarik belah silinder 100 x 200 mm

Tabel 3. Nilai Rata Rata Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer dengan Silinder 100 x 200 mm

Silinder	Berat	Kuat Tarik Belah	Kuat Tarik Belah Rata-rata
	(Kg)	(MPa)	(MPa)
1	3,49	1,84	1,935
2	3,52	1,91	
3	3,45	2,02	
4	3,5	1,97	

Sumber: Hasil Penelitian

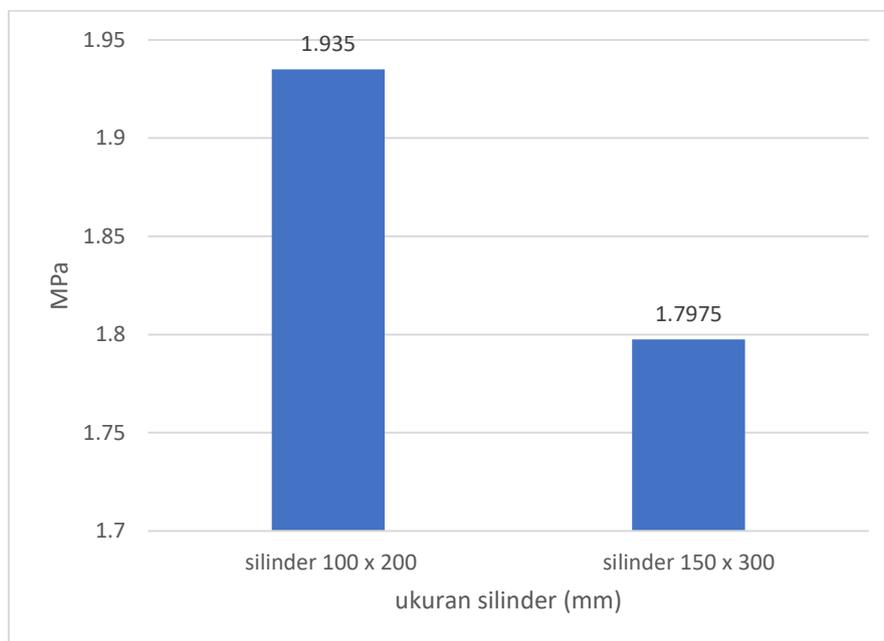
4.4.2 Kuat tarik belah silinder 150 x 300 mm

Berdasarkan Pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai kuat tarik lentur beton geopolimer pada umur 28 hari ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Rata-Rata Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer dengan Silinder 150 x 300 mm

Silinder	Berat	Kuat Tarik Belah	Kuat Tarik Belah Rata-rata
	(Kg)	(MPa)	(MPa)
1	11,85	1,71	1,797
2	12,25	1,92	
3	12,2	1,74	
4	12,2	1,82	

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 3. Grafik Nilai Rata-Rata Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer

Grafik hubungan antara dimensi benda uji balok dan nilai kuat tarik belah beton geopolimer menunjukkan nilai yang berbeda di setiap ukuran dimensi benda uji balok. Pada dimensi silinder 100 x 200 menunjukkan nilai kuat tarik belah 1,97 MPa. Sedangkan pada dimensi silinder 150 x 300 menunjukkan nilai kuat tarik belah 1,79 MPa. Apabila melihat grafik di atas, terjadi penurunan kuat tarik belah sebesar 7,1 % dari 1,97 MPa menjadi 1,79 MPa. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa seiring bertambahnya ukuran beton geopolimer, maka beton mengalami penurunan kekuatan tarik belah.

4.5 Pemeriksaan Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer

4.5.1 Kuat tarik lentur balok 100 x 100 x 400 mm

Tabel 5. Nilai Rata Rata Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer dengan Balok 100 x 100 x 400 mm

Balok	Berat (kg)	Kuat Tarik Lentur (MPa)	Kuat Tarik Lentur Rata-rata (MPa)
1	9,55	3,15	2,97
2	9,6	3,03	
3	9,5	2,73	
4	9,6	2,97	

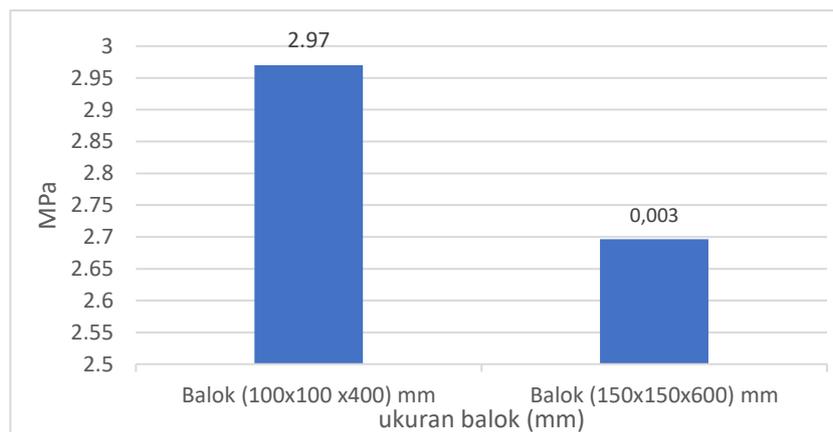
Sumber: Hasil Penelitian

4.5.2 Kuat tarik lentur balok 150 x 150 x 600 mm

Tabel 6. Nilai Rata Rata Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer dengan Balok 150 x 150 x 600 mm

Balok	Berat (kg)	Kuat Tarik Lentur (MPa)	Kuat Tarik Lentur Rata-rata (MPa)
1	30,75	2,55	2,69
2	30,8	2,73	
3	31,75	2,71	
4	32,35	2,80	

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4. Grafik Nilai Rata-Rata Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer

Grafik hubungan antara dimensi benda uji balok dan nilai kuat tarik belah beton geopolimer menunjukkan nilai yang berbeda di setiap ukuran dimensi benda uji balok. Pada dimensi Balok 100 x 100 x 400 mm menunjukkan nilai kuat tarik lentur 2,97 MPa. Sedangkan pada dimensi balok 150 x 150 x 600 mm menunjukkan nilai kuat tarik lentur 2,69 MPa. Apabila melihat grafik di atas, terjadi penurunan kuat tarik lentur sebesar 9,2 % dari 2,97 MPa menjadi 2,69 MPa. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa seiring bertambahnya ukuran beton geopolimer, maka beton mengalami penurunan kekuatan tarik lentur.

4.6 Hubungan Kuat Tarik dan Tekan Beton Geopolimer

Selain melihat perbedaan antara kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton, peneliti juga membandingkan nilai kuat tarik tersebut dengan kuat tekan beton. Adapun hasil perbandingannya ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Terhadap Akar Kuadrat Kuat Tekan

No.	Ukuran Benda Uji	Umur (Hari)	fct (MPa)	fc (MPa)	Perbandingan	
					$\sqrt{f_c}$	$f_{ct}/\sqrt{f_c}$
1	Silinder 100 x 200	28	1,94	19,60	4,428	0,437
2	Silinder 150 x 300	28	1,80	18,67	4,321	0,416

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh nilai hubungan nilai kuat tarik belah terhadap akar kuadrat kuat tekan pada perawatan temperature ruangan berada pada interval $0,416(\sqrt{f_c})-0,437(\sqrt{f_c})$.

Tabel 8. Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur Terhadap Akar Kuadrat Kuat Tekan

No.	Ukuran Benda Uji	Umur (Hari)	fr (MPa)	fc (MPa)	Perbandingan	
					$\sqrt{f_c}$	$f_r/\sqrt{f_c}$
1	balok 100 x 100 x 400	28	2,97	19,60	4,428	0,671
2	balok 150 x 150 x 600	28	2,70	18,67	4,321	0,624

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 8 diperoleh nilai hubungan nilai kuat tarik lentur terhadap akar kuadrat kuat tekan pada perawatan temperature ruangan berada pada interval $0,624(\sqrt{f_c})-0,671(\sqrt{f_c})$.

4.7 Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer

Tabel 9. Nilai Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Silinder 100 x 200 mm dan Slinder 150 x 300 mm

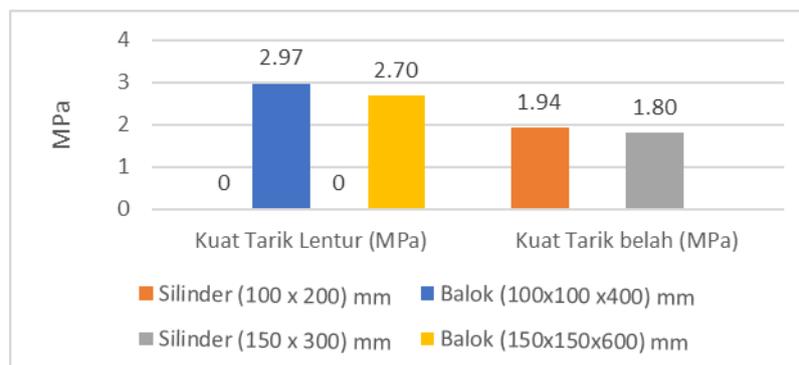
No.	Kuat Tarik belah (MPa)		Kuat Tarik belah (MPa)	
	Silinder (100 x 200) mm		Silinder (150 x 300) mm	
	fct	Rata- rata	fct	Rata- rata
1	1.84	1.94	1.71	1.80
2	1.91		1.92	
3	2.02		1.74	
4	1.97		1.82	

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 10. Nilai Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer Balok 100 x 100 x 400 mm dan Balok 150 x 150 x 600 mm

No.	Kuat Tarik Lentur (MPa)		Kuat Tarik Lentur (MPa)	
	Balok (100x100x400) mm		Balok (150x150x600) mm	
	fr	Rata- rata	fr	Rata- rata
1	3.15	2.97	2.55	2.70
2	3.03		2.73	
3	2.73		2.71	
4	2.97		2.80	

Sumber: Hasil Penelitian

**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Letur

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan terjadinya penurunan kuat tarik pada beton geopolimer baik kuat tarik belah maupun kuat tarik lentur. Pada pengujian tarik belah mengalami penurunan sebesar 7,1 % dari 1,97 MPa menjadi 1,79 MPa sedangkan pada pengujian kuat tarik lentur sebesar 9,2 % dari 2,97 MPa menjadi 2,70 MPa. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui terjadi penurunan nilai kuat tarik saat ukuran benda uji bertambah.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penititan dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Berat volume rata-rata beton gopolimer yang didapat antara 2221,8– 2390,6 kg/m³ yang bisa di kategorikan sebagai beton normal.
2. Hasil pengujian tarik lentur beton geopolimer dipengaruhi oleh dimensi penampang yaitu semakin besar penampang, semakin kecil nilai kuat tarik yang di hasilkan.
3. Nilai pengujian Kuat tarik beton geopolimer pada pengujian kuat tarik belah lebih kecil dibandingkan dengan nilai kuat tarik lentur.
4. Perbandingan kuat Tarik belah dan kuat Tarik lentur antar dimensi memiliki trend yang sama yaitu mengalami penurunan nilai kuat tarik ketika ukuran benda uji bertambah

Referensi

- Arthur Theodorus Kaligis, *Variasi Dimensi Benda Uji Terhadap Kuat Tarik Lentur Beton Mutu Tinggi Sipil Statik* Vol.6 No.1, Januari 2016 (424-433) ISSN: 2087-9334, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi
- Davidovits, J. (1988) *Geopolymer Chemistry and Properties*
- Davidovits, J. 1999. *Chemistry of Geopolimer System*.
- Hardjito, D., Rangan B. V.,2005. *Development and properties of Low-calcium fly ash-based Geopolimer concrete*,Research Report GC 1 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia.
- Paat, *Kuat Tarik Lentur Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash)*, Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.5, Juli 2014 (269-276) ISSN: 2337-6732, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi
- Renaldo, *Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Variasi Ukuran Benda Uji*, Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.7, November 2014 (337-343) ISSN: 2337-6732, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi
- Rendy, *Kuat Tarik LeturBeton GeopolimerDengan Temperature Ruangan*, Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.1 Januari 2019 (67-72) ISSN: 2337-6732, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi
- Ronny E. Pandaleke, Reky S.Windah, *Perbandingan Uji Kuat Tarik Langusng Dan Uji Kuat Tarik Belah Beton*, Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.10 Desember 2017 (649-66) ISSN: 2337-6732, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi
- Tjokrodumuljo, K., 2010, *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Teknik Sipil keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan ,Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta