

KUAT TARIK BELAH BETON *GEOPOLYMER* BERBASIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)

Andre Kusuma Putra

Steenie E. Wallah, Servie O. Dapas

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: ankusuma15@gmail.com

ABSTRAK

Beton yang tersusun dari komposisi utama agregat kasar, agregat halus, air, dan Semen Portland (SP) menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur, namun dalam proses produksi Semen Portland terjadi pelepasan karbon dioksida (CO_2) yang cukup besar ke atmosfer yang dapat merusak lingkungan, untuk itu diperlukan material lainnya sebagai pengganti Semen Portland untuk digunakan pada pembuatan beton. Beton Geopolymer merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi masalah penggunaan semen yang kurang ramah lingkungan dalam proses produksinya. Dalam penelitian ini beton geopolymer dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat, dan sebagai pengganti digunakan abu terbang (fly ash) yang mengandung silika dan alumina yang akan bereaksi dengan cairan alkalin untuk menghasilkan bahan pengikat (binder).

Pada penelitian ini kuat tarik beton pada umur tujuh hari diuji melalui tes kuat tarik belah. Material yang digunakan adalah abu terbang (fly ash) asal PLTU Amurang, sodium silikat, sodium hidroksida dengan konsentrasi 8M, dan Superplastisizer Viscocrete-10. Benda uji yang digunakan adalah silinder ukuran 10/20 cm, dengan metode curing menggunakan oven dengan variasi curing time 4, 8, 12, dan 24 jam masing-masing 6 sampel.

Nilai maksimum rata-rata kuat tarik belah beton geopolymer berbasis fly ash dalam penelitian ini sebesar 1,685 MPa didapatkan pada variasi curing time 24 jam menggunakan oven dengan umur saat tes 7 hari. Dan jika dibandingkan dengan kuat tekannya menghasilkan nilai $f_t = 0,322 \sqrt{f'_c}$. Dari variasi curing time tersebut dapat dilihat bahwa semakin lama curing time maka semakin besar kuat tarik yang dihasilkan.

Kata kunci: beton geopolymer, fly ash, beton ramah lingkungan, kuat tarik belah, curing time

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Saat ini beton menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur seperti gedung, jembatan, serta sarana dan prasarana lainnya, hal ini karena bahan pembuatannya yang mudah didapat, harganya relatif murah, dan teknologi pembuatannya relatif sederhana.

Secara umum beton dikenal sebagai material yang tersusun dari komposisi utama agregat kasar, agregat halus, air, dan Semen Portland (SP). Dalam proses produksi Semen Portland terjadi pelepasan karbon dioksida (CO_2) yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca, produksi satu ton portland mengakibatkan terjadinya pelepasan karbon dioksida (CO_2) sebesar satu ton ke atmosfer. Untuk mengatasi efek buruk yang merusak lingkungan ini, maka diperlukan material lainnya

sebagai pengganti Semen Portland untuk digunakan pada pembuatan beton.

Usaha untuk mendapatkan beton ramah lingkungan ialah melalui pengembangan beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat polymer atau dikenal dengan *geopolymer* yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam atau material hasil produk sampingan industri seperti abu terbang yang kaya akan kandungan silika dan alumina (Davidovits, 1999).

Abu terbang merupakan salah satu material hasil sampingan (*by product*) industri yang dapat digunakan untuk membuat bahan pengikat (*binders*) pada beton *geopolymer*. 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 cara agar material hasil produksi sampingan tersebut tidak mengkontaminasi lingkungan adalah dengan menggunakan material tersebut sebagai bahan pengganti sebagian Semen Portland, atau mengganti Semen Portland secara keseluruhan dalam membuat beton.

Jika dilihat dari sifat mekaniknya, material beton memiliki kelemahan yaitu mempunyai kuat tarik yang relatif lebih rendah dari kuat tekannya. Dimana kuat tariknya hanya $\pm 10-15\%$ terhadap kuat tekannya. Pada komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan membantu kelemahan yaitu menahan gaya tarik. Walaupun kuat tarik beton tidak digunakan dalam perencanaan beton bertulang, namun kuat tarik beton berperan dalam meminimalisasi retak-retak pada beton sehingga tidak terjadi korosi pada tulangan baja yang disebabkan oleh air yang masuk.

Rumusan Masalah

Berdasarkan hal tersebut penulis ingin mengadakan penelitian terhadap pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan pembuatan beton geopolymer dan dapat mengetahui kuat tarik beton yang dihasilkan dari beton geopolymer berbasis abu terbang (*fly ash*) ini.

Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material pembentuk beton *geopolymer* :
 - a. Abu terbang (*fly ash*) dari PLTU Amurang.
 - b. Cairan Alkalin yaitu kombinasi cairan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) konsentrasi 8M dengan purity 98%
 - c. Superplastisizer digunakan *Viscocrete-10* dengan merk dagang Sika[®].
 - d. Agregat halus yang dipakai yaitu pasir berasal dari Girian
 - e. Agregat kasar dipakai batu pecah berasal dari Tateli.

f. Air yang digunakan adalah air yang berasal dari Sumur Fakultas Teknik UNSRAT.

2. Benda uji : Silinder 100/200 mm
3. Perawatan benda uji: Menggunakan oven dengan curing temperature 60°C dan curing time dengan variasi selama 4,8,12 dan 24 jam
4. Pengujian yang akan dilakukan : Pengujian kuat tarik belah (*Splitting tensile strenght test*) pada umur 7 hari

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah mendapatkan nilai kuat tarik beton *geopolymer* berbasis abu terbang (*fly ash*) dengan variasi curing time 4, 8, 12 dan 24 jam dengan pengujian tarik belah (*Splitting tensile strenght test*).

Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat bagi perkembangan teknologi beton, antara lain sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini akan menjadi salah satu sumber informasi tentang pembuatan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (*fly ash*).
2. Penelitian ini dapat menjadi acuan untuk penelitian dan pengembangan pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan dasar pembuatan beton geopolimer.

LANDASAN TEORI

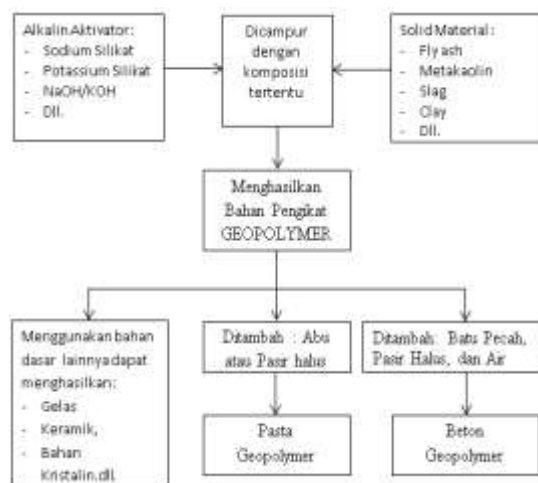
Beton Geopolimer

Terminologi *geopolymer* pertama kali digunakan oleh Profesor Davidovits pada tahun 1978 (Davidovits, 1988) untuk menjelaskan tentang mineral polymer yang dihasilkan melalui *geochemistry*. *Geopolymer* adalah bentuk anorganik alumina-silika yang disintesa melalui material banyak mengandung Silika (Si) dan alumina (Al) yang berasal dari alam atau dari material hasil sampingan industri. Komposisi kimia material *geopolymer* serupa dengan Zeolit, tetapi memiliki mikrostruktur amorphous (Davidovits, 1999). Selama proses sintesa, atom silika dan alumina menyatu dan membentuk blok yang secara kimia memiliki struktur yang mirip dengan batuan alam.

Prefiks "geo" mengacu pada material pengikat berasal dari alam seperti batuan dan material lainnya. Material sejenis telah diteliti

oleh Glukhovskiy (1950an) yang lebih dikenal dengan Semen tanah (Soil Cement). Berbagai penelitian menggunakan nama berbeda untuk material yang memiliki kesamaan secara fisik. Perbedaan nama lebih disebabkan oleh jenis material dasar yang digunakan dan bukan pada jenis reaksi kimia. Geopolymer pada awalnya lebih dikenal berdasarkan reaksi kimia, sebagai *alkaline-activated binders*, dengan beberapa terminologi yang sesuai dengan penggunaan material ini seperti *low temperature inorganic polymer glasses*, *alkali-bonded ceramic*, *chemically bounded ceramic*, atau *alkali-activated ash*. Dalam perkembangan selanjutnya, apapun bahan dasar pembentuk material ini, terminologi *geopolymer* sudah sangat luas digunakan untuk merujuk pada material ini.

Bahan pengikat geopolymer adalah sistem anorganik 2-komponen yang terdiri atas: Komponen solid yang memiliki SiO_2 dan Al_2O_3 dalam jumlah yang cukup untuk bisa bersenyawa (seperti abu tebang, pozzolon, slag dll). Cairan alkalin sebagai komponen aktivator yang memiliki alkali hidroksida, silika, alumina, carbon dan sulfat atau kombinasi keduanya. Pada saat komponen solid dan komponen aktivator dicampur, maka terjadi proses pengerasan yang disebabkan oleh terbentuknya *aluminosilicate network* yang bervariasi antara amorphous dan crystalline. Gambar dibawah ini mengilustrasikan proses terbentuknya geopolymer untuk berbagai aplikasi.



Gambar 1. Proses terbentuknya Geopolymer

Beton *Geopolymer* dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat, dan sebagai pengganti digunakan abu terbang yang kaya akan Silikon (Si) dan Alumina (Al) yang dapat bereaksi dengan cairan alkalin untuk

menghasilkan bahan pengikat (*binder*). Silika dan Alumina yang terdapat dalam abu terbang akan bereaksi dengan bantuan cairan sodium hidroksida dan sodiu silikat untuk mengikat agregat, pasir dan material lainnya menjadi beton *geopolymer*. Informasi tentang beton jenis ini masih sangat terbatas mengingat studi dan laporan hasil penelitian belum banyak dipublikasikan.

Material Penyusun

Material polimer anorganik alkali aluminosilikat dapat disintesis (dibuat) dari prekursor yang mengandung alumina dan silika berkonsentrasi tinggi. Prekursor adalah bahan utama dalam pembentuk polimer. Prekursor tersebut dapat berupa mineral alami ataupun limbah industri. Unsur-unsur kimia di dalam prekursor bila dicampur dengan larutan alkali sebagai aktivator, akan menghasilkan material pasta geopolimer dengan kekuatan mengikat seperti pasta semen. Prekursor dan aktivator akan bersintesa membentuk material padat melalui proses polimerisasi, dimana proses polimerisasinya yang terjadi adalah disolusi dan diikuti dengan proses polikondensasi.

Proses sintesis tersebut terbagi atas proses aktivasi bahan alumina-silika oleh ion alkali dan proses *curing* untuk mendorong terjadinya polimerisasi dari monomer alumina-silika menjadi struktur jaringan molekul tiga-dimensi. Kesempurnaan dari polimerisasi, sedemikian hingga stuktur dan properti dari polimer anorganik telah tersintesis, tergantung pada proses aktivasi dan proses ikat.

Prekursor

Bahan mentah (*raw materials*) atau prekursor, yang digunakan untuk membentuk geopolimer dapat berupa mineral aluminosilikat alami seperti lempung atau limbah industri. Tanah lempung perlu dikalsinasi (*calcined*) pada suhu sekitar 650°C sebagai pengolahan awal untuk sintesis geopolimer. Karena jumlahnya yang berlimpah, lempung telah digunakan di banyak negara sebagai bahan baku membuat bata, gerabah, keramik, perkerasan jalan dan lainnya. Limbah industri yang memiliki banyak kandungan alumina dan silika dapat digunakan sebagai prekursor. Limbah industri yang termasuk ke dalam klasifikasi ini diantaranya adalah *blast furnace slag*, abu terbang (*fly ash*), serbuk granit dan lumpur merah (*red mud*). Dalam penelitian ini akan digunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai material prekursor.

Sebagian besar komposisi kimia dari abu terbang tergantung tipe batu bara. Menurut ASTM C618-86, terdapat dua jenis abu terbang, kelas F dan C. Kelas F dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis *antrasit* dan *bituminous*, sedangkan kelas C dari batu bara jenis *lignite* dan *subbituminous*. Kelas C memiliki kadar kapur tinggi.

Aktivator

Aktivator dibutuhkan untuk reaksi polimerisasi monomer alumina dan silika. Alkali mengaktifkan prekursor dengan mendisolusikan mereka ke dalam monomer $[SiO_4]$ dan $[AlO_4]$. Selama proses curing, monomer-monomer tadi terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga-dimensi yang berikatan silang. Ion alkali bertindak sebagai penetrasi muatan (*charge balancer*) untuk tiap molekul tetrahedron $[AlO_4]$.

Alkalin aktivator yang paling umum digunakan dalam *geopolymer* adalah kombinasi dari natrium hidroksida atau kalium hidroksida dan natrium silikat atau kalium silikat (Davidovits, 1999; Palomo, Grutzeck, dkk., 1999; Barbosa, MacKenzie, dkk. 2000; Xu dan van Deventer, 2000; Swanepoel dan Strydom, 2002; Xu dan van Deventer, 2002). Penggunaan dari alkalin aktivator ini biasanya hanya salah satu dari dua kombinasi tersebut (Palomo, Grutzeck, dkk. 1999; Teixeira-Pinto, Fernandes, dkk. 2002). Larutan sodium silikat (*waterglass*) adalah aktivator yang secara umum digunakan karena mudah didapat dan ekonomis. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan digunakan sodium silikat dan sodium hidroksida. Penambahan aktivator sodium hidroksida bertujuan untuk menambah ion Na^+ pada proses polimerisasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Pemeriksaan Abu Terbang (*Fly Ash*)

Sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya prekursor yang digunakan adalah *fly ash*, dalam penelitian ini *fly ash* yang digunakan merupakan produk sampingan hasil pembakaran batu bara pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

Fly ash yang diambil di PLTU Amurang selanjutnya dibawa untuk diperiksa di Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Manado.

Perencanaan *Mix Design*.

Karena sampai saat ini belum terdapat standar mengenai desain campuran (*mix design*)

beton geopolimer, Maka diadakan *trial mix* dengan desain mix awal mengacu pada penelitian Hardjito dan Rangan (2005), "*Development and properties of low-calcium fly Ash-based geopolymer concrete*" yang kemudian akan dimodifikasi dengan melakukan *trial mixing*.

Pencampuran Beton (*Mixing*)

Proses pencampuran dilakukan setelah melakukan proses desain, dimana komposisi berat tiap bahan beton telah ditentukan sesuai dengan kriteria yang diinginkan menurut standar desain beton konvensional. Proses pencampuran meliputi rangkaian kegiatan berikut ini :

- Mencampur agregat kasar dan agregat halus dalam keadaan Kering permukaan (SSD) beserta *fly ash* di dalam *concrete mixer*.
- Membuat larutan aktivator alkali dalam wadah. Larutan aktivator alkali merupakan campuran dari cairan silika dan cairan hidroksida 8M (cairan hidroksida yang dipakai dibuat minimal 24 jam sebelum pemakaian) yang dicampur sampai homogen selama kurang lebih 15 menit.
- Mencampur *superplasticizer* dan air selama 90 detik dalam wadah, kemudian campurkan kedalam larutan aktivator yang sudah homogen.
- Masukkan semua cairan yang sudah dicampurkan ke dalam *concrete mixer* dan aduk semua material yang sudah dimasukkan sampai mendapatkan kondisi homogen (*fresh concrete*) kurang lebih 20 menit.
- Melakukan tes slump untuk mengetahui besar nilai slump yang didapat.

Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Berbeda dengan material semen yang menghasilkan panas hidrasi tinggi, material geopolimer membutuhkan energi aktivasi tambahan untuk mempercepat proses polimerisasi. Hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan kurang tinggi.

Agar proses perkerasan berlangsung cepat, benda uji yang telah dicetak dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $60^{\circ} C$, lama pengovenan divariasikan dari 4, 8, 12 sampai 24 jam, Setelah itu sampel uji dibiarkan pada suhu kamar.

Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik dengan cara uji tarik belah (*splitting test*) dengan mengambil standar pengujian berdasarkan ASTM C 496 – 90 di lakukan pada saat beton berumur 7 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian *Fly Ash* (Abu Terbang)

Hasil tes dari Balai Riset dan Standardisasi Industri Manado untuk *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini, yang berasal dari PLTU Amurang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan komposisi kimia *fly ash*.

No	Parameter	Hasil Analisis (%)	Metode Analisis
1.	SiO ₂	36,23	Gravimetrik
2.	Al ₂ O ₃	6,25	S.S.A
3.	Fe ₂ O ₃	4,34	S.S.A
4.	CaO	2,85	S.S.A
5.	Na ₂ O	0,93	S.S.A
6.	K ₂ O	0,14	S.S.A
7.	MgO	0,49	S.S.A
8.	P ₂ O ₅	0,06	Spektrofotometer
9.	air	0,52	Oven

Berdasarkan hasil pengujian, *fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Amurang ini didominasi oleh unsur silika – besi – dan alumina. Dengan kandungan CaO 2,85 % < 5% maka sesuai dengan *ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3*, maka *fly ash* termasuk dalam kelas F.

Komposisi Campuran Material

Komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengacu dari hasil penelitian Hardjito, D. dan Rangan, B. V. (2005) yang kemudian dimodifikasi untuk mendapatkan komposisi optimal karena adanya perbedaan bahan material yang digunakan. Setelah dilakukan beberapa kali trial mix didapatkan komposisi campuran seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Proporsi campuran beton geopolimer yang digunakan

Material	Berat (Kg/m ³)	Persentasi (%)	
Batu Pecah	1294	47,2	67,4 (Kombinasi Agregat)
Pasir Halus	554	20,2	
Abu Terbang	476	17,4	
Cairan Sodium Hidroksida	96 (8 m)	3,5	30 (Binders)
Cairan Sodium Silikat	240	8,7	
Superplasticizer	12,2	0,4	
Tambahan Air	71,4	2,6	2,6 (air)

Pemeriksaan Nilai Slump

Nilai slump diukur pada setiap pengecoran. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Slump campuran

Pengecoran	Nilai Slump (mm)
1.	60 mm
2.	65 mm
Rata-rata	62,5 mm

Berat Volume Beton

Tabel 4. Berat volume rata-rata pada umur 7 hari.

Variasi oven	Jumlah benda uji	Berat rata-rata benda uji (kg)	Berat volume rata-rata (kg/m ³)
4 jam	6	3,24	2061,946
8 jam	6	3,22	2046,616
12 jam	6	3,25	2067,526
24 jam	6	3,3	2096,488

Dengan melihat persyaratan berat volume beton menurut SNI dan ACI, maka beton tergolong dalam kategori beton normal.

Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton dengan variasi curing time diperlihatkan pada Tabel 5 sampai dengan Tabel 8.

Tabel 5. Kuat tarik belah beton geopolimer variasi oven 4 jam, umur 7 hari.

No	Berat (kg)	Kuat tarik belah	
		KN	MPa
1.	3,31	47	1,5
2.	3,25	41,3	1,32
3.	3,24	43,5	1,39
4.	3,21	37,4	1,19
5.	3,23	42,6	1,36
6.	3,21	41,2	1,31
Rata-rata			1,343

Tabel 6. Kuat tarik belah beton geopolimer variasi oven 8 jam, umur 7 hari.

No	Berat (kg)	Kuat tarik belah	
		KN	MPa
1.	3,06	37,6	1,2
2.	3,25	44,7	1,42
3.	3,2	49,2	1,57
4.	3,22	45,6	1,45
5.	3,27	49,5	1,58
6.	3,29	45,9	1,46
Rata-rata			1,446

Tabel 7. Kuat tarik belah beton geopolymer variasi oven 12 jam, umur 7 hari.

No	Berat (kg)	Kuat tarik belah	
		KN	MPa
1.	3,3	46,3	1,47
2.	3,24	51,2	1,63
3.	3,22	52,1	1,66
4.	3,26	44,7	1,42
5.	3,21	49,4	1,57
6.	3,24	46,8	1,49
Rata-rata			1,542

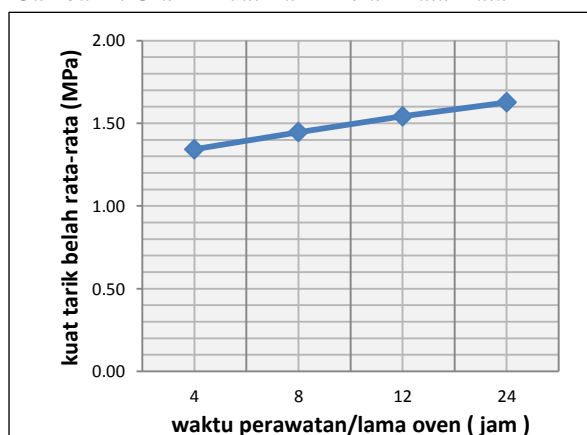
Tabel 8. Kuat tarik belah beton geopolymer variasi oven 24 jam, umur 7 hari.

No	Berat (kg)	Kuat tarik belah	
		KN	MPa
1.	3,35	56,6	1,8
2.	3,3	53,4	1,7
3.	3,3	47,1	1,66
4.	3,23	52,9	1,68
5.	3,28	48,8	1,65
6.	3,3	47,7	1,61
Rata-rata			1,685

Tabel 9. Kuat Tarik Belah Rata-Rata Beton Geopolymer umur 7 hari.

NO	Variasi Lama Oven (jam)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)	Persentase kenaikan kuat tarik dari variasi sebelumnya (%)
1.	4	1,343	
2.	8	1,446	7,71
3.	12	1,542	6,61
4.	24	1,685	9,29

Gambar 2. Grafik Kuat Tarik Belah Rata-Rata



Pada Gambar 2. dapat dilihat lama oven 24 jam menghasilkan kuat tarik paling maksimal.

Kuat Tarik Belah Beton dibandingkan Dengan Kuat Tekan.

Hasil Pengujian kuat tarik belah selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan oleh Riger Manuahe 2014 mengenai Kuat Tekan Beton *Geopolymer* Berbahan Dasar Abu Terbang (*fly ash*). Dalam penelitian tersebut komposisi campuran yang digunakan sama dengan penelitian ini.

Tabel 10. Perbandingan Kuat Tarik Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolymer

No	Variasi oven (jam)	Kuat tarik belah (MPa)	Kuat tekan (MPa)	Perbandingan	
				(%)	ACI
1	4	1,343	22,17	6,06	$0,285\sqrt{f'_c}$
2	8	1,446	22,83	6,33	$0,303\sqrt{f'_c}$
3	12	1,542	23,41	6,59	$0,319\sqrt{f'_c}$
4	24	1,685	27,46	6,14	$0,322\sqrt{f'_c}$

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan klasifikasi berat jenis beton, hasil pemeriksaan berat volume beton termasuk beton berbobot normal.
2. Nilai kuat tarik belah pada beton geopolymer mengalami peningkatan seiring penambahan curing time, dimana Nilai Maksimum kuat tarik belah beton geopolymer berada pada variasi *curing time* selama 24 jam sebesar 1,685 MPa.
3. Nilai Kuat tarik belah beton geopolymer yang dihasilkan dalam penelitian ini 6% dari kuat tekannya

Saran

1. Sebaiknya dilakukan tes XRF (X-ray fluorescence) untuk mendapatkan persentase komposisi unsur-unsur kimia *fly ash* dari PLTU Amurang yang lebih akurat.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan variasi mix desain, variasi molaritas variasi umur atau variasi metode curing yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 232.2R-03 (2003), *Use of Fly Ash in Concrete*. Dilaporkan oleh ACI Committee 232, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI
- Davidovits, J., 1999. *Chemistry of geopolymer system, terminology*. In Proceedings of geopolymer system, terminology." In proceedings of Geopolymer '99 International Conferences, France
- Hardjito, D. and Rangan, B. V. 2005). *Development and properties of low-calcium Fly Ash-based geopolymer Concrete*, Research Report GC 1 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia
- Hartanto, Daniel A., 2007. "Pembuatan Beton Geopolimer dengan Menggunakan Sisa Beton Semen" (Bachelor Thesis, Universitas Indonesia, Depok)
- Manuahe Riger, 2014. *Kuat tekan beton geopolymer berbahan dasar abu terbang (fly ash)*. Skripsi Program S1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Mulyono Tri, 2005. *Teknologi Beton*. Yogyakarta
- Palomo et. al., 1999. *Alkali-activated Fly Ash Cement for Future*, (Cement and Concrete Research, 29(8) : 1323-1329, 1999)
- Rousstia, Kresnadya Desha. 2008. *Perilaku Balok Beton Bertulang Geopolimer Akibat Pembebanan Dinamis Dengan Pile Integrity Test*. Skripsi Program S1 Teknik Sipil Universitas Indonesia. Depok.
- Sumajouw, D. M. J., Dapas, S. O. 2012. *Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*. Tim penerbit JTS FT UNSRAT. Manado