MODEL PERSAMAAN KUAT TARIK BELAH DAN KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMER DENGAN BERBAGAI SUHU PERAWATAN

Muhammad Nafhan Isfahani[1], Jonbi[2]

[1,2] **Program studi Teknik Sipil Universitas Tama Jagakarsa, Jakarta Selatan**

*E-mail: nafhan13@gmail.com

Abstract

The quality of concrete is shown by how big the value of the compressive strength is even though concrete is a material that is not strong enough to withstand tensile strength, for that it is necessary to do research on the relationship model of the compressive strength of concrete with split tensile strength with various treatment temperatures, which previous researchers have not done. The purpose of this study was to obtain the percentage increase in compressive strength, split tensile strength and a mathematical model (regression correlation) of split tensile strength behavior on the compressive strength of geopolymer concrete with room temperature treatment temperatures, 60°C, 90°C for 24 hours. This research was conducted experimentally in the laboratory. The results of this study obtained that the average increase in the compressive strength of concrete from room temperature to treatment at temperature 60 is: 32.7% from temperature 60 to treatment temperature 90 is 22.5%. The average increase in split tensile strength of concrete from room temperature to treatment at temperature 60 is 34.4% from temperature 60 to treatment temperature 90 is 4.7%. Model Equation of tensile strength with compressive strength of geopolymer concrete aged 28 days treated at room temperature is shown by the equation fr = 0.708 fc0.5. Treatment at 60° temperature is shown by the equation fr = 0.808 fc0.5 . Treatment temperature of 90° is shown by the equation.

Keywords: Split tensile strength, compressive strength of geopolymer concrete.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan tol yang akhir akhir ini menunjukan peningkatan yang sangat pesat, sebagian besar menggunakan perkerasan kaku yang material utamanya berupa beton dari semen Portland, disamping itu pembangunan pusat pemukiman, hotel dan apartemen membutuhkan semen portlang yang sangat tinggi, untuk itu kebutuhan akan semen portland akan meningkat tajam. Dipredikisi pada hingga tahun 2030, kebutuhan dan persediaan semen portland seluruh dunia hanya mampu memenuhi 67,42% kebutuhan. Bahan bersifat semen atau bahan pozzolan menjadiopsi untuk mereduksi kebutuhan semen portland 20-30% dari kebutuhan normal, namun tetap saja hal itu hanya mampu mengubah ke angka pemenuhan 83,29% kebutuhan

(PortlandCement Association, 2013). Disebutkan di atas bahwa bahan pozzolan mampu menjadi material subtitusi parsial 20-30% semen portland dikarenakan bahan pozzolan memiliki kandungan Si dan Al yang tinggi sehingga dapat bereaksi dengan sisa hidrasi semen portland yaitu CaO untuk menghasilkan gel C-S-H sekunder sebagai bahan pengikat tambahan (ACI 232R-96). Salah satu jenis bahan pozzolan yang paling banyak tersedia dan dimanfaatkan ialah abu terbang (Fly Ash) dengan jumlah 2260 juta ton per tahun atau 12 kali lipat dari jumlah ketersediaan semen portland (Global Mining Invesment Confrence, 2010).

Dibidang teknik sipil, beton geopolimer diartikan sebagai suatu campuran beton yang terdiri dari pasta geopolimer (sebagai bahan pengikat) dan aggregat kasar dan halus sebagai bahan pengisi. Umumnya, pembuatan binder geopolimer menggunakan metode pencampuran basah, yaitu menggabungkan bahan pozzolan dan larutan alkali aktivator dengan komposisi perbandingan molaritas kimia tertentu.

Geopolimer ialah material yang merupakan hasil dari sintesa dari Silika (Si) dan Alumina (Al) yang akan membentuk senyawa aluminosilicate (Davidovits, 2005). Kekuatan tekan yang dihasilkan oleh beton geopolimer tidak kalah tinggi dibandingkan beton normal, namun berbeda dengan kuat tekan beton normal yang dipengaruhi water to cement ratio (w/c) dan umur beton tersebut, beton geopolimer lebih dipengaruhi oleh proses curing (Hardjito, 2004). Selain itu perbandingan konsentrasi suatu aktivator juga akan menghasilkan kuat tekan yang berbeda (Hardjito, 2004) Walaupun curing dianjurkan untuk menaikkan kuat tekan beton, namun menurut (Hasbullah, 2015), beton geopolimer yang dirawat pada suhu biasa akan mempunyai perilaku daktilitas yang lebih baik. Penelitian yang dilakukan oleh Ekaputri dan Triwulan (2013), menunjukkan bahwa semakin tinggi molaritas dari activator (NaOH), maka semakin kuat pula kuat tekan dari geopolimer tersebut. Kuat tekan dari beton geopolimer dengan molaritas 14M dapat mencapai 51.3 Mpa. Disamping itu peningkatan kuat tekan beton bisa dipengaruhi dengan semakin tingginya suhu perawatan, kuat tekan 21.79 Mpa perawatan suhu ruangan meningkat menjadi 32.65 Mpa dengan suhu perawatan 60^{o}C meningkat lagi menjadi 42.32 Mpa saat suhu perawatan 90^{o}C. Fiki & Sumajouw (2018). Selain kuat tekan Sifat mekanik bahan seperti, kuat tarik belah, merupakan faktor terpenting untuk perancangan, sifat mekanik beton geopolymer menurut Diaz et al (2011) berat jenis 1890 - 2371 kg/m3, kuat tekan 10,34 – 80,37Mpa, modulus elatisitas 6812 – 42878 Mpa.

Kekuatan beton atau kualitas beton ditunjukan dengan sebera besar nilai kuat tekan padahal beton merupakan material yang tidak kuat menahan kekuatan tarik, untuk itu perlu dilakukan penelitian model hubungan kuat tekan beton dengan kuat Tarik belah dengan berbagai suhu perawatan,yang oleh peneliti terdahulu belum dilakukan. Tujuan dari penelitian ini untuk mem peroleh prosentase kenaikan kuat tekan beton geopolimer rata rata dengan berbagai suhu perawatan prosentase kenaikan kuat tarik belah dengan berbagai suhu perawatan model matematis (regresi korelasi) prilaku kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton geopolymer dengan suhu perawatan suhu ruangan, suhu 60^{o}C, 90^{o}C selama 24 jam.

Signifikasi Penelitian, model hubungan kuat Tarik belah dengan kuat tekan beton geopolymer terbatas pada suhu perawatan tertentu, penelitian terkait model hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton dengan berbagai suhu perawatan sangat perlu dilakukan.

Beton Geopolymer

Geopolimer ialah material yang merupakan hasil dari sintesa dari Silika (Si) dan Alumina (Al) yang akan membentuk senyawa aluminosilicate (Davidovits, 2005). Kekuatan tekan yang dihasilkan oleh beton geopolimer tidak kalah tinggi dibandingkan beton normal, namun berbeda dengan kuat tekan beton normal yang dipengaruhi water to cement ratio (w/c) dan umur beton tersebut, beton geopolimer lebih dipengaruhi oleh proses curing (Hardjito, 2004). Selain itu perbandingan konsentrasi suatu aktivator juga akan menghasilkan kuat tekan yang berbeda (Hardjito, 2004) Walaupun curing dianjurkan untuk menaikkan kuat tekan beton, namun menurut (Hasbullah, 2015), beton geopolimer yang dirawat pada suhu biasa akan mempunyai perilaku daktilitas yang lebih baik. Penelitian yang dilakukan oleh Ekaputri dan Triwulan (2013), menunjukkan bahwa semakin tinggi molaritas dari activator (NaOH), maka semakin kuat pula kuat tekan dari geopolimer tersebut. Kuat tekan dari beton geopolimer dengan molaritas 14M dapat mencapai 51.3 Mpa.

Bahan Pembentukan Geopolymer

Dalam beton geopolimer, semen portland tidak digunakan dan seluruhnya diganti dengan bahan-bahan pengganti yang bersifat pozolan dan yang tinggi kandungan silica dan alumina. Material dasar geopolimer ada yang berasal dari mineral alam seperti kaolin, tanah liat dan bahan lainnya dan ada yang merupakan limbah industri seperti fly ash, silica fume, granulated blast furnace slag, abu sekam pagi dan lain lain. Silika dan alumina yang terdapat pada material dasar tersebut

bereaksi dengan aktivator alkali sebagai aktivator untuk membentuk geopolimer pasta dan mengikat aggregate kasar dan halus, untuk membentuk beton geopolimer. Semua material yang tinggi kandungan silika dan alumina bisa digunakan untuk material dasar geopolimer.

Material Dasar Fly Ash

Fly ash merupakan limbah dari pembakaran batu bara. Limbah ini biasanya ditimbun dalam pembuangan di dekat lokasi pembangkit listrik. Sebagian larut ke dalam tanah atau tumpah ke daerah sekitar fasilitas tersebut. Kandungan metal berat dalam fly ash seperti boron dapat mengkontaminasi air tanah (Ekaputri dkk. 2010; Ekaputri 2011). Sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkingan, seperti pencemaran udara, perairan dan penurunan kualitas ekosistem, disamping itu mengolah limbah tersebut menjadi produk-produk yang bernilai tambah. Sehingga pemakaian fly ash sebagai bahan dasar geopolimer akan membantu mengatasi masalah limbah ini.

Sifat fisik, kimia dan mekanik geopolimer sangat dipengaruhi oleh sifat dan karakteristik material fly ash(Fernandez-Jimenez dan Palomo 200). Sedangkan sifat dan karakteristik fly ash itu sendiri dipengaruhi oleh batu bara yang digunakan, temperatur dan lama pembakaran batubara, tipe dan sistem pengumpulan fly ash (Ekaputri dkk. 2013). Metode pembakaran batubara yang umumnya dipakai pada PLTU adalah PCC (pulverized coal combustions). Temperatur pembakaran pada metode PCC adalah sekitar 1300-1700 derajat celcius dan fly ash yang dihasilkan berbentu spherical, amorphous phase tinggi dan sangat reaktif, ukuran partikel sangat halus sekitar 1-2001. Sedangkan pada metode FBC (fluidized bed combustions) temperatur pembakaran hanya sekitar 800-900 derajat celcius sehingga fly ash berbentuk tidak beraturan, ukuran partikel 1-300 dan tinggi kandungan crystalline phase (Chindaprasirt dan Rattanaak 2010; Chinaprasirt dkk. 2014; Boonserm dkk.2012; Chindaprasirt dkk. 2011) ASTM C618-02 mengklarifikasikan fly ash dan material alam berbahan dasar pozzolan dalam 3 kelas yaitu kelas N, F dan C. Kelas N adalah pozzolan alam atau pozzolan yang telah dikalsinasi untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan seperti abu gunung berapi dan kaolin. Fly ash kelas F merupakan fly ash yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis anthracite atau bitumen. Fly ash ini bersifat pozzolan. Sedangkan fly ash kelas C hasil pembakaran batu bara dari jenis lignite atau sub bitumen. Flu ash yang termasuk dalam kelas ini mempunyai sifat pozzolan dan sifat cementitious. LOI merupakan kehilangan berat fly ash akibat proses

pembakaran. Hilangnya berat tersebut akibat oleh kehilangan kelembaban, karbon, suflur dan lain lain. Karakteristik fisik fly ash yang mempengaruhi reaktifitas fly ash adalah kehalusan atau fineness partikel. ASTM C681-02 mensyaratkan berat fly ash yang tertahan pada saringan no 325 terhadap berat total maksimal 34%. Semakin tinggi persentase partikel yang tertahan pada saringan no 325 makin kasar butiral partikel fly ash dan sebaliknya makin rendah persentase yang tertahan pada saringan makin halus partikel fly ash. Hal ini menunjukan bahwa makin halus ukuran butiran makin tinggi kuat tekan. Karena luaspermukaan butiran yang kecil lebih tinggi dari butiran yang besar dan butiran yang besar akan mengurani kelecakan adukan dan mengakibatkan menurunnya kuat tekan. Sehingga dapat dikatan bahwa ukuran butiran fly ash merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer. Menurut Fernandez-Jimenez dan Palomo (2003) menysaratkan agar mendapatkan properties geopolomer yang optimum, fly ash kelas F harus mempunyai LOI lebih kecil dari 5%, Iron Oxide kurang dari 10%, kandungan silika antara 40-50% dan 80-90 dari partikel harus lebihkecil dari 451 serta rendah kandungan CaO.

Aktivator alkali

Aktivator alkali diperlukan pada proses terjadinya reaksi geopolimerisasi dengan fly ash. Tipe dan konsentrasi aktivator alkali yang digunakan untuk mengaktifasi material dasar sangat penting dalam perkembangan reaksi. Beberapa peneliti menggunakan aktivator alkali yang berbahan dasar sodium yaitu sodium hidraoksida (NaOH) dan sodium silikat atau yang berbahan dasar potasium yaitu potasium hidraoksida (KOH) dan potasium silikat. Menurut Palomo (1999) menggunakan empat macam aktivator alkali yang hasilnya menunjukan bahwa penambahan sodium silikat dan ptsium silikat pada aktivator alkali menghasilkan kuat tekan pada umur 24jam lebih tinggi yaitu masing masing sekitar 57,5% dan 170,4% jika dibandingkan dengan hanya menggunakan sodium hidraoksida atau hanya potasium hidraoksida.

Hal yang sama juga ditunjukan pada penelitian yang dilakukan oleh Fernandez-Jimenez dkk (2006) yang membandingkan kuat tekan beton geopolimer dengan hanya menggunakan larutan NaOH (8M) dan mencampurkan 85% NaOH (12,5M) dengan 15% sodium silikat. Hasilnya menunjukan bawa penmbahan sodium silikat yang dicampur dengan sodium hidraoksida sebagai aktivator alkali menghasilkan kuat tekan beton geopolimer yang lebih tinggi jika dibanding dengan

hanya menggunakan larutan NaOH. Hal ini menunjukan bahwa reaksi yang terjadi lebih cepat jika menggunakan aktivator yang mengandung sodium atau potasium silikat hika dibandingkan dengan hanya menggunakan sodium atau potasium hidraoksida sehingga akibatnya perkembangan kekuatan mekaniknya lebih cepat (palomo dkk. 1999). Penambahan silikat pada larutan KOH menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan penambahan silikat pada larutan NaOH. Namun perlu diperhatikan bahwa konsentrasi larutan NaOH adalah 12M sedangkan larutan KOH adalah 18M. Sehingga total rasio pada aktivator alkali NAOH dan Na2SiO3 adalah 1,23 sedangkan total rasioSiO2/K2O pada aktivator alkali campuran antara KOH dan Na2SiO3 hanya 0,63

Biasanya sodium hidraoksida berbentuk flakes dengan purity berkisar antara 90-98%. Sehingga untuk mendapatkan larutan sodium hidraoksida, sodium hidraoksoda flakes tersebut dilarutkan dengan aquades. Aquades digunakan untuk menghindari material yang tidak diinginkan ada di dalam air PDAM. Pembuatan larutan NaOH mengeluarkan panas, berdasarkan hasil penelitian awal, temperatur larutan NaOH saat dibuat berkisar antara 90-100 derajat celcius dengan temperatur ruang saat pembuatan 27-29 dan kelembaban ruangan 65-75%. Larutan NaOH ini harus didinginkan kemudian tutup rapat agar tidak terjadi kristalisasi sodium carbonate. Terjadinya kristalisasi sodium carbonate dapat menyebabkan berkurangnya kuat tekan beton sekitar 20-40% dan mengurangi workability campuran (Simatupang 2013). Setelah larutan NaOH dingin (temperatur sekitar 10 derajat celcius) baru dicampurkan dengan sodium silikat. Kembali terjadi kenaikan temperatur tapi tidak signifikan pada pembuatan larutan NaOH. Setelah itu aktivator alkali siap untuk dipergunakan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini berupa penelitian ekperimental yang dilakukan di laboratorium untuk memperoleh data yang diperlukan sesuai dengan standart pengujian SNI maupun ASTM. Untuk mencapai tujuan itu semua metodologi penelitian ini disusun terdiri dari 4 (empat) tahapan kegiatan. Tahap pertama kajian pustaka untuk mengetahui komposisi perancangan campuran, kuat tarik belah dan kuat tekan beton geopolimer; Tahap kedua penentuan jumlah bahan susun beton geopolymer; Tahap ketiga, pembuatan benda uji silinder ukuran 10x20 cm sebanyak: Suhu Perawatan ruangan: 18, Suhu perawatan 60: 18 dan Suhu Perawatan 90: 18; Tahap keempat, dilakukan uji kuat

tekan dan kuat tarik belah beton umur 28 hari.

Perhitungan Bahan Susun Beton Geopolimer

Tabel 1 Perhitungan bahan susun beton geopolimer tiap m^3

digunakan Aktifator Alkali (AAL) : 170, NH 12 M, NS/NH : 2,5

W akifator alkali (kg/m3 beton) 170

Rasio AAL/FA	0,4	0,5	0,6
FA (kg/m3) = W AAL/Rasio AAL/FA	425	340	283
W NaOH (kg/m3)= W AAL/(1+2,5)	49	49	49
W Na2SiO3 (kg/m3) = W AAL - W NaOH	121	121	121
BJ FA (kg/m3)	2030		
BJ NaOH (kg/m3)	1277		
BJ Na2SiO3 (kg/m3)	1675		
BJ Pasir	2535		
Bj batu pecah	2597		
Vol : W/Bj FA(tiap 1m3)	0,209	0,167	0,140
Vol : W/BjNaOH (tiap 1m3)	0,038	0,038	0,038
Vol : W/BjNa2SiO3 (tiap 1m3)	0,072	0,072	0,072
VolW/Bj Pasir (tiap 1m3)	0,264	0,281	0,292
Vol : W/Bjbatu pecah (tiap 1m3)	0,396	0,421	0,438
W Pasir	669	712	740
W batu pecah	1.029	1.094	1.138
Bj Beton	2.293	2.316	2.331

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil yang diperoleh dari setiap pengujian yang dilakukan pada material penyusun dan beton geopolimer. Pengujian yuang dilakukan antara lain uji karateristik material, kuat tekan beton, balok, pola retak yang terjadi, hubungan beban dan lendutan.

Pengujian Aggregate Kasar dan Halus

Tabel 3.1 Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127-88)

Percobaan	1	2
	gram	gram
Berat Kerikil di udara (w1)	2500	2500
Berat Kerikil di Air (w2)	1535	1540
Berat Jenis = w1/(w1-w2)	2,591	2,604
	rata2	2,597

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan berat jenis batu pecah rata-rata sebesar 2,597 gram/cm3. Berdasarkan ASTM C 128-88 Reapp. 01 berat jenis batu pecah yang disyaratkan sebesar 2.4 – 2.7 gram/cm3. Jadi, batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

Tabel 3.2 Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 566-97)

Percobaan	1	2
	gram	gram
Berat Batu pecah asli (w1)	3000	3000
Berat Batu Pecah Oven (w2)	2920	2915
Kelembaban (%)=((w1-w2)/w2)*100%	2,7	2,9
	rata2	2,8

Dari percobaan didapatkan bahwa rata rata kelembaban batu pecah sebesar 2,8%

Tabel 3.3 Kadar air resapan Batu Pecah (ASTM C 127-01)

Percobaan	1	2
	gram	gram
Berat kerikil SSD	3000	3000
Berat kerikil oven (w)	2920	2940
Kadar air resapan (%) = ((3000 – w) / w)) x 100%	2,7	2,0
	rata2	2,4

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar air resapan rata-rata sebesar 2,4%. Berdasarkan ASTM C 127-88-93 batas kadar air resapan yang

diperbolehkan adalah 1% sampai dengan 2%. Jadi batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

Tabel 3.4 Kadar lumpur Batu Pecah (ASTM C 117, -03)

Percobaan	1	2
	gram	gram
Berat kering sebelum dicuci (w1)	1000	1000
Berat kering setelah dicuci (w2)	980	970
Kadar lumpur (%) = ((w1 – w2) / w1)) x 100%	2,0	3,1
	rata2	2,6

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar lumpur batu pecah rata-rata sebesar ((2%+3,1%)/2) = 2,55% sedangkan batas kadar lumpur yang disyaratkan adalah tidak boleh lebih dari 1%. Sehingga agar batu pecah dapat dipakai sebagai agregat pada beton, maka batu pecah harus dicuci beberapa kali sampai kadar lumpurnya kurang dari 1%.

Tabel 3.5 Keausan Batu Pecah (ASTM C 131, -03)

Percobaan	1
	gram
Berat sebelum diabrasi (w1)	5000
Berat setelah diabrasi (w2)	4070
Keausan (%) = ((w1 – w2) / w1)) x 100%	22,9

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan tingkat keausan agregat kasar sebesar 22,9%. Berdasarkan ASTM C 131-89 agregat yang baik harus mempunyai tingkat keausan kurang dari 35%. Jadi, batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

Tabel 3.6 Berat Jenis Pasir (ASTM C 128)

Percobaan	1	2
	gram	gram
Berat labu + pasir + air (w1)	1560	1560
Berat pasir SSD	500	500
Berat labu + air (w2)	1265	1250
Berat jenis pasir (gr/cm3) = 500 / (500 + w2 – w1)	2,439	2,632
	rata2	2,54

Berdasarkan ASTM C 128-78 berat jenis pasir yang disyaratkan adalah antara 2.4 sampai dengan 2.7. Dari hasil percobaan didapatkan hasil berat jenis sebesar 2.54. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

Tabel 3.7 Kadar Air Resapan Pasir (ASTM C 128, -01)

Percobaan	1	2
	gram	gram
Berat pasir SSD	500	500
Berat pasir oven (w1)	350	320
Kadar air resapan (%) = ((500 – w1) / w1)) x 100%	1,43	1,56
	rata2	1,50

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar air resapan rata-rata sebesar 1,5%. Berdasarkan ASTM C 128-93 batas kadar air resapan yang diperbolehkan antara 1% sampai 4%. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

Tabel 3.8 Kadar lumpur Pasir sebelum dicuci (ASTM C 117, -03)

Percobaan	1	2
	gram	gram
Berat kering sebelum dicuci (w_1)	500	500
Berat kering setelah dicuci (w_2)	420	435
Kadar lumpur (%) = ((w_1 – w_2) / w_1))x 100%	19,0	14,9
	rata2	17,0

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar lumpur pasir rata-rata sebesar = 17,0 Berdasarkan ASTM C 33 batas maksimum kebersihan pasir terhadap material yang lebih halus dari ayakan no. 200 (75 mm) untuk klasifikasi beton umum adalah 5% dari total sampel percobaan. Jadi pasir yang digunakan tidak memenuhi persyaratan.

Tabel 3.9 Kadar lumpur Pasir setelah dicuci

Percobaan	1	2
	gram	gram
Berat kering sebelum dicuci (w_1)	500	500
Berat kering setelah dicuci (w_2)	475	485
Kadar lumpur (%) = (($w_1 - w_2$) / w_1))x 100%	5,3	3,1
	rata2	4,2

Tabel 3.10 Pengujian Saringan Pasir (ASTM C 136, -01)

Diameter saringan	A (berat Pasir diatas masing masing saringan)	B (berat kumulatif Pasir diatas masing masing saringan)	C (Prosentase kumulatif Pasir diatas masing masing saringan)	D (Prosentase kumulatif Pasir Lolos dari masing masing saringan)
mm	gr	gr	%	%
38,1	0	0	0,0	100,0
19	0	0	0,0	100,0
9,5	0	0	0,0	100,0
4,75	0	0	0,0	100,0
2,36	230	230	23,0	77,0
1,18	325	555	55,5	44,5
0,6	190	745	74,5	25,5
0,3	110	855	85,5	14,5
0,15	120	975	97,5	2,5
pan	25	1000	100,0	0,0
berat total	1000			

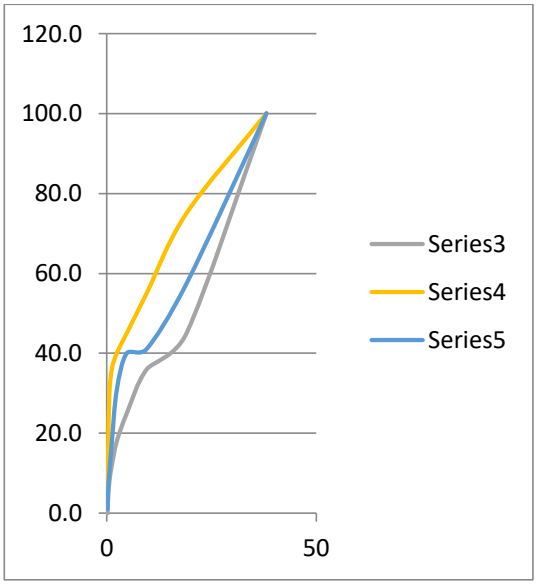
Tabel 3.11 Pengujian Saringan Batu pecah

Diameter saringan	A (berat kumulatif Split diatas masing masing saringan)	B (berat kumulatif Split diatas masing masing saringan)	C (Prosentase kumulatif Split diatas masing masing saringan)	D (Prosentase kumulatif Split Lolos dari masing masing saringan)
mm	gr	gr	%	%
38,1	0	0	0,0	100,0
19	1420	1420	71,0	29,0
9,5	545	1965	98,3	1,8
4,75	35	2000	100,0	0,0
2,36	0	2000	100,0	0,0
1,18	0	2000	100,0	0,0
0,6	0	2000	100,0	0,0
0,3	0	2000	100,0	0,0
0,15	0	2000	100,0	0,0
pan	0	2000	100,0	0,0
berat total	**2000**			

Berdasarkan ASTM C 136-01 agregat yang baik harus memenuhi zona lengkung ayakan. Dari Tabel 4.11 didapatkan grafik lengkung ayakan batu pecah pada Gambar 3.2 yang menunjukkan material yang digunakan memenuhi persyaratan.

Tabel 3.12 Perancangan Perbandingfan Pasir batu pecah standart British

Diameter saringan	D (Prosentase kumulatif Pasir Lolos dari masing masing saringan)	D (Prosentase kumulatif Split Lolos dari masing masing saringan)	Standart British		40,0 %
			batas bawah	batas atas	
mm	%	%	%	%	Pasir …%
38,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
19	100,0	29,0	45,0	75,0	57,4
9,5	100,0	1,8	36,0	55,0	41,1
4,75	100,0	0,0	25,0	45,0	40,0
2,36	77,0	0,0	18,0	40,0	30,8
1,18	44,5	0,0	12,0	36,0	17,8
0,6	25,5	0,0	8,0	30,0	10,2
0,3	14,5	0,0	4,0	16,0	5,8
0,15	2,5	0,0	0,0	5,0	1,0
Pasir		40,0%			
Agg Kasar/Split		60,0%			



Gambar 3.1 Gradasi Aggregate campuran (Pasir dan batu Pecah)

Perhitungan Bahan Susun Beton Geopolimer

Tabel 3.13 Perhitungan bahan susun beton geopolimer tiap m3

digunakan Aktifator Alkali (AAL) : 170, NH 12 M, NS/NH : 2,5

W akifator alkali (kg/m3 beton)	170		
Rasio AAL/FA	0,4	0,5	0,6
FA (kg/m3) = W AAL/Rasio AAL/FA	425	340	283
W NaOH (kg/m3)= W AAL/(1+2,5)	49	49	49
W Na2SiO3 (kg/m3) = W AAL - W NaOH	121	121	121
BJ FA (kg/m3)	2030		
BJ NaOH (kg/m3)	1277		
BJ Na2SiO3 (kg/m3)	1675		
BJ Pasir	2535		
Bj batu pecah	2597		
Vol : W/Bj FA(tiap 1m3)	0,209	0,167	0,140
Vol : W/BjNaOH (tiap 1m3)	0,038	0,038	0,038
Vol : W/BjNa2SiO3 (tiap 1m3)	0,072	0,072	0,072
VolW/Bj Pasir (tiap 1m3)	0,264	0,281	0,292
Vol : W/Bjbatu pecah (tiap 1m3)	0,396	0,421	0,438
W Pasir	669	712	740
W batu pecah	1.029	1.094	1.138
Bj Beton	2.293	2.316	2.331

Tabel 3.14 Kebutuhan bahan susun beton geopolimer tiap silinder 10x20

Silinder 10x20 cm (1/4⊓ Ø^2) = ¼.3,14.10^2 cm^3 = 0,00157 m^3

FA (kg/m3)	0,667	0,534	0,445
W NaOH (kg/m3)	0,076	0,076	0,076
W Na2SiO3 (kg/m3)	0,191	0,191	0,191
W agg halus	1,051	1,118	1,162
W Agg kasar	1,615	1,718	1,786

Tabel 3.15 Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan Ruangan

No	Kode	AAL/FA	Pi (Alat tes desak) kg	A: 0,25 ŋ. Φ^2 = 0,25.3,14.10^2 cm2	fci : P/A (kg/cm2)	fc rata2 (kg/cm2)
1	Gtr 1	0,4	21000	78,5	268	229
2	Gtr 2	0,4	18000	78,5	229	
3	Gtr 3	0,4	15000	78,5	191	
4	Gtr 4	0,5	16000	78,5	204	195
5	Gtr 5	0,5	13000	78,5	166	
6	Gtr 6	0,5	17000	78,5	217	

7	Gtr 7	0,6	14000	78,5	178	
8	Gtr 8	0,6	11000	78,5	140	157
9	Gtr 9	0,6	12000	78,5	153	

Kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,4 perawatan suhu ruangan sebesar 229 kg/cm2. Kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,5 perawatan suhu ruangan sebesar 195kg/cm2. Dan kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,6 perawatan suhu ruangan sebesar 157kg/cm2.

Tabel 3.16 Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan 60^o

No	Kode	AAL/FA	Pi (Alat tes desak) kg	A: 0,25 ŋ. = Φ^2 0,25.3,14.10^ 2 cm2	fci : P/A (kg/cm2)	fc rata2 (kg/cm2)
1	Gt61	0,4	24000	78,5	306	
2	Gt62	0,4	25000	78,5	318	301
3	Gt63	0,4	22000	78,5	280	
4	Gt64	0,5	21000	78,5	268	
5	Gt65	0,5	19000	78,5	242	263
6	Gt66	0,5	22000	78,5	280	
7	Gt67	0,6	17000	78,5	217	
8	Gt68	0,6	14000	78,5	178	208
9	Gt69	0,6	18000	78,5	229	

Kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,4 perawatan suhu 60^o sebesar 301kg/cm2. Kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,5 perawatan suhu 60^o sebesar 263kg/cm2. Dan kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,6 perawatan suhu 60^o sebesar 208kg/cm2.

Tabel 3.17 Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan 90^o

No	Kode	AAL/FA	Pi (Alat tes desak) kg	A: 0,25 ŋ. = Φ^2 0,25.3,14.10^ 2 cm2	fci : P/A (kg/cm2)	fc rata2 (kg/cm2)
1	Gt91	0,4	27000	78,5	344	
2	Gt92	0,4	30000	78,5	382	365
3	Gt93	0,4	29000	78,5	369	
4	Gt94	0,5	25000	78,5	318	
5	Gt95	0,5	24000	78,5	306	327
6	Gt96	0,5	28000	78,5	357	
7	Gt97	0,6	18000	78,5	229	
8	Gt98	0,6	22000	78,5	280	251
9	Gt99	0,6	19000	78,5	242	

Kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,4 perawatan suhu 90^o sebesar 365kg/cm2. Kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,5 perawatan suhu 90^o sebesar 327kg/cm2. Dan kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,6 perawatan suhu 90^o sebesar 251kg/cm2.

Kenaikan kuat tekan beton berdasarkan suhu perawatan :

1) untuk AAL/FA 0,4 Suhu perawatan ruangan : fc 229 kg/cm2, suhu perawatan 60 : fc 301 kg/cm2dan suhu perawatan 90 fc 365 kg

2) untuk AAL/FA 0,5 Suhu perawatan ruangan : fc 195 kg/cm2, suhu perawatan 60 : fc 263 kg/cm2dan suhu perawatan 90 fc 327 kg/
3) untuk AAL/FA 0,6 Suhu perawatan ruangan : fc 157 kg/cm2, suhu perawatan 60 : fc 208 kg/cm2dan suhu perawatan 90 fc 251 kg/
4) Rata rata kenaikan kuat tekan beton dari suhu ruangan ke perawatan suhu 60 sebesar : 32,7% dari suhu 60 ke perawatan suhu 90 sebesa: 22,5%

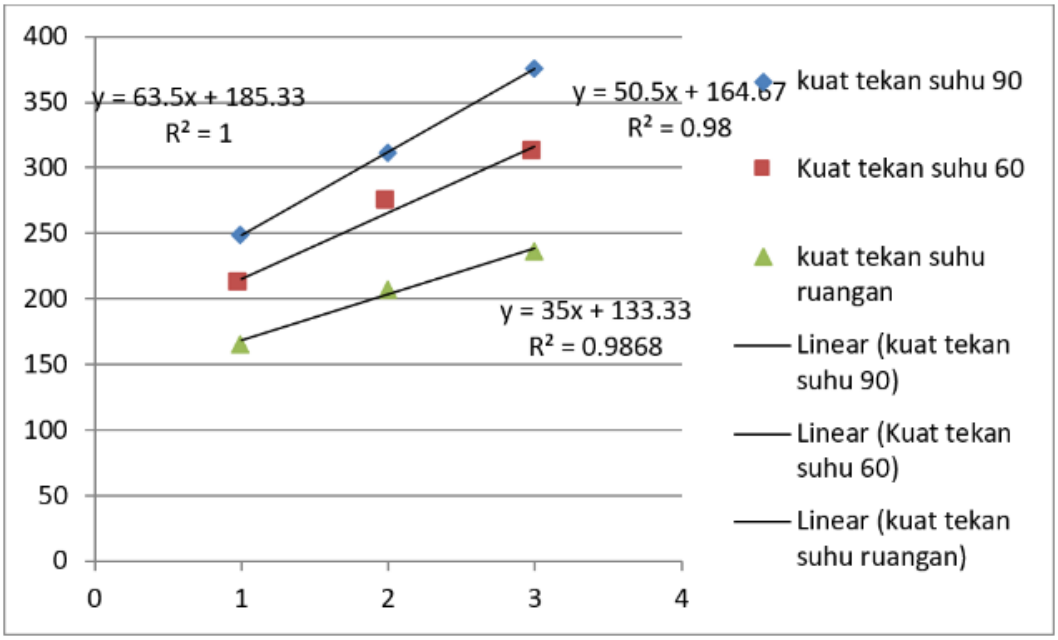
Tabel 3.18 Kenaikan Kuat Tekan Berdasar-kan Suhu Perawatan

No	AAL/FA	fcrg	fc60	fc90
1	0,4	249	312	376
2	0,5	211	274	312
3	0,6	166	208	236

Tabel 3.19 Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan Ruangan

No	Kode	AAL/FA	Pi (Alat tes desak) kg	2 Pi (kg)	A: π. L . Φ = 3,14.20.10	fr : P/A (kg/cm2)	fr rata2 (Kg/cm2)
1	Gtrr 1	0,4	3600	7.200	628	11,5	10,2
2	Gtrr 2	0,4	3200	6.400	628	10,2	
3	Gtrr 3	0,4	2800	5.600	628	8,9	
4	Gtrr 4	0,5	3200	6.400	628	10,2	9,8
5	Gtrr 5	0,5	2800	5.600	628	8,9	
6	Gtrr 6	0,5	3200	6.400	628	10,2	
7	Gtrr 7	0,6	2800	5.600	628	8,9	8,7
8	Gtrr 8	0,6	2800	5.600	628	8,9	
9	Gtrr 9	0,6	2600	5.200	628	8,3	

Kuat tarik belah rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,4 perawatan suhu ruangan sebesar 10,2kg/cm2.



Gambar 3.2 Kenaikan kuat tekan tekan beton berdasarkan variasi suhu perawatan

Kuat tarik belah rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,5 perawatan suhu ruangan sebesar 9,8kg/cm2. Dan Kuat tarik belah rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,6 perawatan suhu ruangan sebesar 8,7kg/cm2.

Tabel 3.20 Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan 60^o

No	Kode	AAL/FA	Pi (Alat tes desak) kg	2 Pi (kg)	A: ŋ. L . Φ = 3,14.20.10	fr : P/A (kg/cm2)	fr rata2 (Kg/cm2)
1	Gtr 61	0,4	4400	8.800	628	14,0	14,0
2	Gtr 62	0,4	4500	9.000	628	14,3	
3	Gtr 63	0,4	4300	8.600	628	13,7	
4	Gtr 64	0,4	4100	8.200	628	13,1	13,0
5	Gtr 65	0,4	3900	7.800	628	12,4	
6	Gtr 66	0,4	4200	8.400	628	13,4	
7	Gtr 67	0,4	3700	7.400	628	11,8	11,6
8	Gtr 68	0,4	3400	6.800	628	10,8	
9	Gtr 69	0,4	3800	7.600	628	12,1	

Kuat tarik belah rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,4 perawatan suhu 60^o sebesar 14kg/cm2. Kuat tarik belah rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,5 perawatan suhu 60^o sebesar 13kg/cm2. Dan kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,6 perawatan suhu 60^o sebesar 11,6kg/cm2.

Tabel 3.21 Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan 90^o

No	Kode	AAL/FA	Pi (Alat tes desak) kg	2 Pi (kg)	A: ŋ. L . Φ = 3,14.20.10 (cm2)	fr : P/A (kg/cm2)	fr rata2 (Kg/cm2)
1	Gtr91	0,4	4400	8.800	628	14,0	14,6
2	Gtr92	0,4	4800	9.600	628	15,3	
3	Gtr93	0,4	4600	9.200	628	14,6	
4	Gtr94	0,5	4400	8.800	628	14,0	14,0
5	Gtr95	0,5	4000	8.000	628	12,7	
6	Gtr96	0,5	4800	9.600	628	15,3	
7	Gtr97	0,6	3600	7.200	628	11,5	11,9
8	Gtr98	0,6	4000	8.000	628	12,7	
9	Gtr99	0,6	3600	7.200	628	11,5	

Kuat tarik belah rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,4 perawatan suhu 90^o sebesar 14,6kg/cm2. Kuat tarik belah rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,5 perawatan suhu 90^o sebesar 14kg/cm2. Dan kuat tekan rata-rata beton geopolimer dengan rasio aktivator alkali Fly Ash 0,6 perawatan suhu 90^o sebesar 11,9kg/cm2

Kenaikan kuat tarik belah beton berdasarkan suhu perawatan :

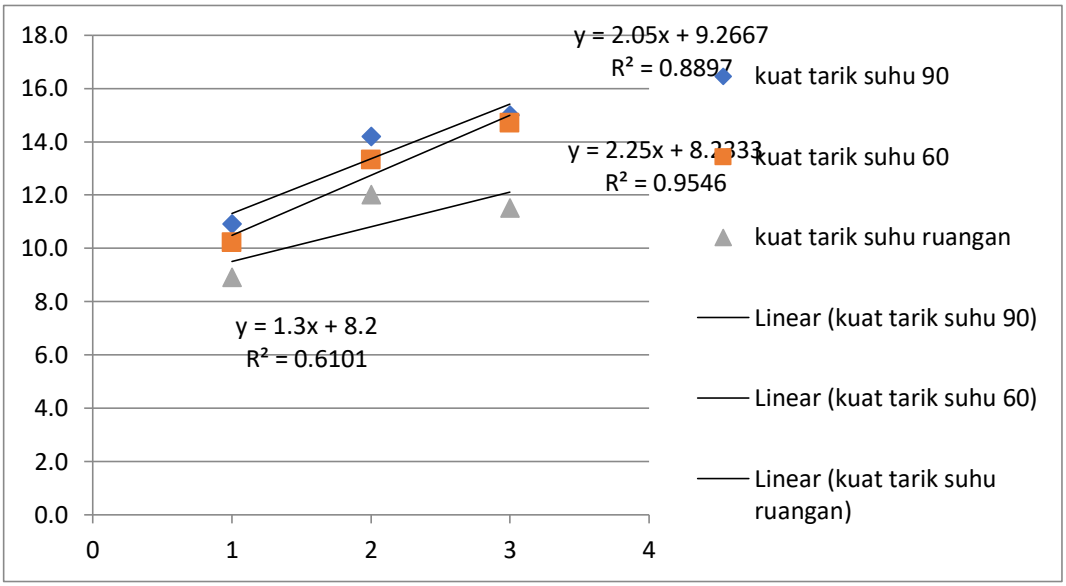
1) untuk AAL/FA 0,4 Suhu perawatan ruangan : fr 10,2 kg/cm2, suhu perawatan 60 : fr 14 kg/cm2dan suhu perawatan 90 fr 14,6 kg/cm2
2) untuk AAL/FA 0,5 Suhu perawatan ruangan : fr 9,8 kg/cm2, suhu

perawatan 60 : fr 13 kg/cm2dan suhu perawatan 90 fc 14 kg/

3) untuk AAL/FA 0,6 Suhu perawatan ruangan : fr 8,7 kg/cm2, suhu perawatan 60 : fr 11,6 kg/cm2dan suhu perawatan 90 fr 11,9 kg/
4) Rata rata kenaikan kuat tarik belah beton dari suhu ruangan ke perawatan suhu 60 sebesar : 34,4% dari suhu 60 ke perawatan suhu 90 sebesa: 4,7%

Tabel 3.22 kenaikan kuat tarik belah berdasarkan variasi suhu perawatan

No	AAL/FA	frr	fr60	fr90
1	0,4	10,9	14,2	15,0
2	0,5	10,2	13,3	14,7
3	0,6	8,9	12,0	11,5



Gambar 4.3 kenaikan kuat tarik belah berdasarkan variasi suhu perawatan

Tabel 3.23 Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan Ruangan

No	AAL/FA	fc' (kg/cm2)	fr (kg/cm2)
1	0,4	268	11,5
2	0,4	229	10,2
3	0,4	191	8,9
4	0,5	204	10,2
5	0,5	166	8,9
6	0,5	217	10,2
7	0,6	178	8,9
8	0,6	140	8,9
9	0,6	153	8,3

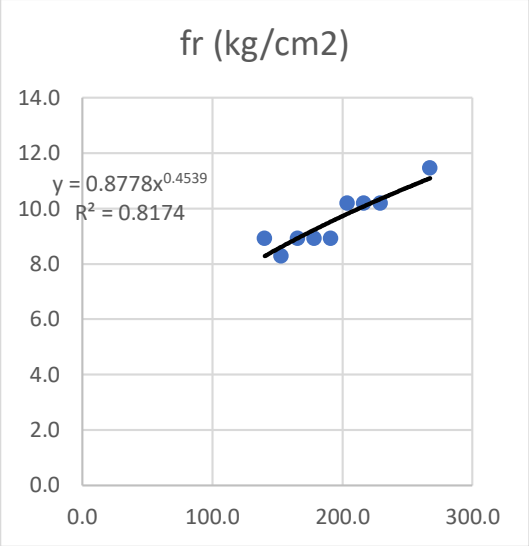
Analisis Model hubungan kuat tarik belah dan kuat tekan beton geopolimer dilakukan 2 cara

1) Dengan menghitung rata-rata kuat tekan dan tarik belah sebagaimana yang dilakukan ACI (American Concrete Institute).
2) Dengan menggunakan regresi power sebagaimana dilakukan oleh peneliti lain yang memiliki nilai angka korelasi tinggi, yang menunjukan hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah

kuat. Cara pembuatan regresi dilakukan dengan alat bantu excel dengan langkah : diblock bagian tabel hubungan kuat tekan dan kuat tarik belah, selanjutnya klik insert dan pilih menu Scatter, klik bagian grafik, selanjutnya klik kanan dan cari menu add trendline dan klik menu tersebut, cari menu power dan centang menu display R dan display Equation.

Hasil perhitungan kuat tekan dan kuat tarik belah rata-rata sebagaimana dilakukan ACI sebagai berikut :

1) Suhu perawatan ruangan untuk AAL/FA 0,4 diperoleh fr = 0,044 fc
2) Suhu perawatan ruangan untuk AAL/FA 0,5 diperoleh fr = 0,050 fc
3) Suhu perawatan ruangan untuk AAL/FA 0,6 diperoleh fr = 0,055 fc
4) Suhu perawatan 60 untuk AAL/FA 0,4 diperoleh fr = 0,046 fc
5) Suhu perawatan 60 untuk AAL/FA 0,5 diperoleh fr = 0,049 fc
6) Suhu perawatan 60 untuk AAL/FA 0,6 diperoleh fr = 0,055 fc
7) Suhu perawatan 90 untuk AAL/FA 0,4 diperoleh fr = 0,040 fc
8) Suhu perawatan 90 untuk AAL/FA 0,5 diperoleh fr = 0,042 fc
9) Suhu perawatan 90 untuk AAL/FA 0,6diperoleh fr = 0,047 fc

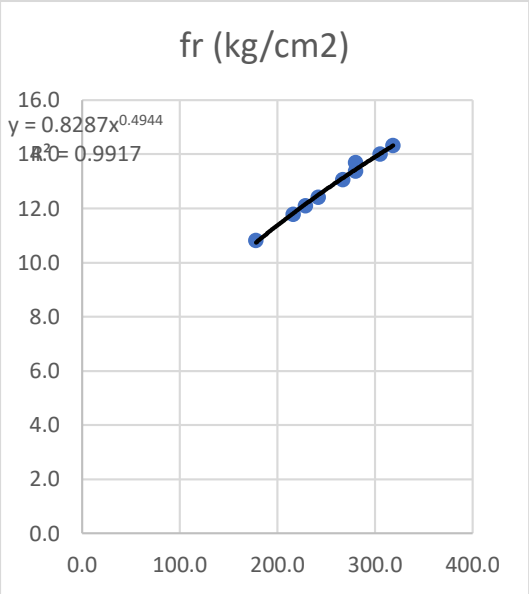


Gambar 4.4 Model Persamaan Kuat Tarik belah dan kuat tekan beton geopolimer umur 28 suhu perawatan ruangan

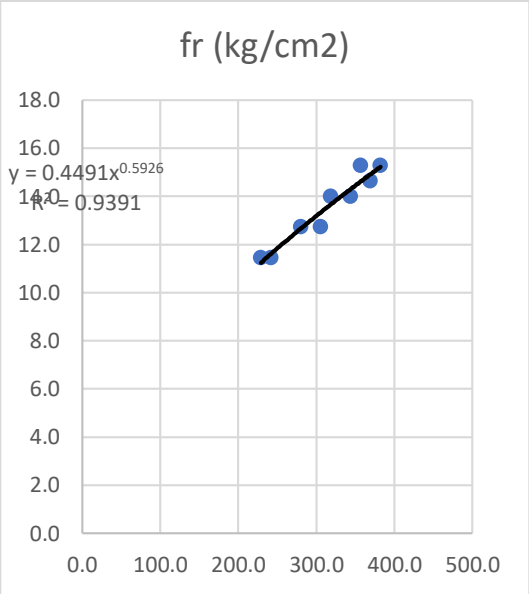
Model persamaan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton geopolimer umur 28 hari perawatan suhu ruangan hasil regresi power dengan alat bantu exel ditunjukan dengan persamaan fr = 0,8778 $fc^{0,4539}$, angka korelasi 0,8399 yang menunjukan hubungan yang sangat kuat antara kuat Tarik belah dengan kuat tekan beton. Persamaan fr = 0,8778 $fc'^{0,4539}$ identik dengan persamaan dalam bentuk kuadrat : fr = 0,708 $fc^{0,5}$

Tabel 3.24 Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan 60°

No	AAL/FA	fc' (kg/cm2)	fr (kg/cm2)
1	0,4	305,7	14,0
2	0,4	318,5	14,3
3	0,4	280,3	13,7
4	0,5	267,5	13,1
5	0,5	242,0	12,4
6	0,5	280,3	13,4
7	0,6	216,6	11,8
8	0,6	178,3	10,8
9	0,6	229,3	12,1



Gambar 3.3 model hubungan Kuat Tarik belah dan kuat tekan beton geopolimer umur 28 suhu perawatan 60



Gambar 4.4 Model Persamaan Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan 90

Model persamaan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton geopolimer umur 28 hari perawatan suhu 60^{o} hasil regresi power dengan alat bantu exel ditunjukan dengan persamaan fr = 0,8287 fc'^{0,4955} , angka korelasi 0,991 yang menunjukan hubungan yang sangat kuat antara kuat Tarik belah dengan kuat tekan beton Persamaan fr = 0,8778 fc'^{0,4539} identik dengan persamaan dalam bentuk kuadrat : fr = 0,808 fc^{0,5}

Tabel 3.25 Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan Beton Geopolimer Umur 28 Suhu Perawatan 90^{o}

No	AAL/FA	fc' (kg/cm2)	fr (kg/cm2)
1	0,4	343,9	14,0
2	0,4	382,2	15,3
3	0,4	369,4	14,6
4	0,5	318,5	14,0
5	0,5	305,7	12,7
6	0,5	356,7	15,3
7	0,6	229,3	11,5
8	0,6	280,3	12,7
9	0,6	242,0	11,5

Model persamaan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton geopolimer umur 28 hari perawatan suhu 90^{o} hasil regresi power dengan alat bantu exel ditunjukan dengan persamaan fr = 0,4491 fc'^{0,5926} , angka korelasi 0,9339 yang menunjukan persamaan yang sangat kuat antara kuat Tarik belah dengan kuat tekan beton. Persamaan fr = 0,8778 fc'^{0,4539} identik dengan persamaan dalam bentuk kuadrat : [[‘ . Hal ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh ACI 363.R-92, kekuatan tarik belah untuk beton normal sebesar = 0.5 $\sqrt{fc'}$ sampai 0.6 $\sqrt{fc'}$ MPa. Hasil penelitian Dewira Rante Pangloly dkk(2018) kuat tarik belah beton geopolimer = 0.5 $\sqrt{fc'}$ sampai 0.6 $\sqrt{fc'}$ MPa. Menurut Geertruida Eveline Untu

dkk(2015) kuat tarik belah beton semen sebesar 0,52 $\sqrt{fc'}$ sampai 0.55 $\sqrt{fc'}$ MPa dan 0,09 sampai 0,12 fc. Muhammad Fakhru Rozi (2020) kuat tarik beton geopolimer sebesar 0,23 fc. Daniel Mandala Putra (2015) kuat tarik belah beton semen ringan sebesar 0,496 MPa sampai 0,664 MPa untuk beton normal sebesar 0,332 MPa sampai 0,496 MPa untuk beton ringan.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian model persamaan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton geopolimer dengan variasi suhu perawatan dapat disimpulan sebagai berikut :

1) Rata rata kenaikan kuat tekan beton dari suhu ruangan ke perawatan suhu 60 sebesar : 32,7% dari suhu 60 ke perawatan suhu 90 sebesa: 22,5%
2) Rata rata kenaikan kuat tarik belah beton dari suhu ruangan ke perawatan suhu 60 sebesar : 34,4% dari suhu 60 ke perawatan suhu 90 sebesa: 4,7%
3) Model persamaan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton geopolimer umur 28 hari perawatan suhu ruangan ditunjukan dengan persamaan fr = 0,708 $fc^{0,5}$ Perawatan suhu 60^o ditunjukan dengan persamaan fr = 0,808 $fc^{0,5}$. Perawatan suhu 90^o ditunjukan dengan persamaan

4.2 Saran

Dari hasil penelitian model persamaan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton geopolimer dengan variasi suhu perawatan dapat disarankan sebagai berikut :

1) Perlunya pemilihan bahan yang sesuai standart
2) Perlunya dilakukan lebih lanjut tentang beberapa komposisi bahan susun beton geopolimer dan pengaruhnya terhadap kekuatan betonnya, misalnya kadar aktifator alkali.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Achmad, Djedjen(2015). *Efek Kadar Lumpur Terhadap Kekuatan Beton Geopolimer*. Jakarta: Politeknologi Vol.14 No.1

[2] Ekaputri, Januarti Jaya.dkk(2007). *Sifat Mekanika Beton Geopolimer Berbahan Dasar FlyAsh Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif.* Jurnal Pondasi, Vol13 No2 Desember 2007 ISSN 0853-814X.

[3] Ekaputri, Januarti Jaya.dkk(2007). *Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer*. ISSN 0853-2982

[4] Luhar, Salmabanu(2015). *Durability Studies of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Rajasthan: ISSN: 2248-

9622, Vol. 5, Issue 8, (Part - 4) August 2015

[5] Phoo-ngernkham T, Phiangphimai C, Damrongwiriyanupap N, Hanjit Phoo-ngernkham T, Phiangphimai C, Damrongwiriyanupap N, Hanjitsuwan S,

[6] Thumrongvut J, Chindaprasirt P. (2018) A mix design procedure for alkali-activated high-calcium fly ash concrete cured at ambient temperature. Ann Mater Sci Eng 2018; 2018:1–13.

[7] Pratikto & Susilowati, Anni(2013). *Beton Instan Tanpa Semen dan Tanpa Pemadatan manual*. Depok: Politeknologi Vol.12 No.3 JANUARI 2013

[8] Provis JL, Deventer JSJV(2014). Alkali activated materials. Netherlands: Springer;

[9] Puput Risdanareni, Triwulan, Januarti,(2014) : Pengaruh Molaritas Aktivator Alkalin Terhadap Kuat Mekanik Beton Geopolymer dengan Tras Sebahai Bahan Pengisi, Seminar Nasional X, Teknik Sipil ITS Surabaya