

Ketahanan Beton Geopolimer Berbasis *Fly Ash* terhadap Sulfat dan Klorida

**RAFLI ANDARU IKOMUDIN¹, BERNARDINUS HERBUDIMAN²,
RULLI RANASTRA IRAWAN³**

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

³Peneliti, Pusat Penelitian Pengembangan Jalan dan Jembatan, Bandung
e-mail: rafli.andaru@yahoo.com

ABSTRAK

Ketahanan beton dalam lingkungan yang korosif sangat diperlukan, beton geopolimer memiliki ketahanan yang lebih baik dari beton biasa. Beton geopolimer dalam penelitian ini menggunakan campuran fly ash Suralaya 1 dan Suralaya 2 sebagai material pengganti semen. Penelitian dilakukan untuk mengetahui ketahanan beton geopolimer berbasis fly ash terhadap zat kimia berupa asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi sebesar 10%. Parameter yang diamati adalah kuat tekan, cepat rambat gelombang dan pH yang dilakukan pada umur beton 7, 14, 21 dan 28 hari. Benda uji kuat tekan dan pH menggunakan kubus 5 cm × 5 cm × 5 cm sebanyak 3 buah dan benda uji cepat rambat gelombang menggunakan silinder berukuran 10 cm × 20 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi larutan sebesar 10% yang digunakan untuk perendaman beton geopolimer berbasis fly ash terlalu tinggi sehingga ketahanan beton geopolimer tersebut mengalami penurunan yang signifikan baik dari segi kekuatan, kepadatan, kandungan dan kondisi fisik.

Kata kunci: beton geopolimer, fly ash, kuat tekan, ketahanan

ABSTRACT

Resistance concrete in corrosive environments is necessary, geopolimer concrete have better resistance than ordinary concrete. Geopolymer concrete in this study using mixing fly ash Suralaya 1 and Suralaya 2 as a cement replacement material. The study was conducted to determine the resistance of geopolimer concrete based on fly ash use chemicals such as sulfuric acid (H_2SO_4) and hydrochloric acid (HCl) at a concentration of 10%. The observed parameter is compressive strength, fast propagation and pH that was made on the concrete 7, 14, 21 and 28 days. The test specimen compressive strength and pH using a cube of 5 cm × 5 cm × 5 cm 3 pieces and fast propagation of the test specimen using cylinder measuring 10 cm × 20 cm. The results of the study showing that the concentration of 10% were used for soaking of fly ash-based geopolimer concrete is too high so that the resistance of geopolimer concrete is experiencing a significant decline both in terms of strength, density, content and physical condition.

Keywords: geopolimer concrete, fly ash, compressive strength, resistance

1. PENDAHULUAN

Beton geopolimer merupakan polimer anorganik dengan susunan atom Si dan Al sehingga memiliki kekuatan dan ketahanan yang sangat baik. Beton geopolimer lebih sering disebut dengan beton ramah lingkungan karena tidak menggunakan semen sebagai material pembentuk beton, penggunaan semen sebagai material pembentuk beton hingga kini masih sangat populer digunakan padahal emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen sangat merusak lingkungan karena menyebabkan pemanasan global dan masalah lain dari penggunaan semen sebagai material pembentuk beton adalah keawetan atau ketahanan beton itu sendiri.

Ketahanan beton geopolimer didefinisikan sebagai kemampuan beton untuk bertahan terhadap serangan yang bersifat merusak dan menurunkan mutu beton. Ketahanan beton dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain perawatan atau *curing*, karena dengan melakukan perawatan atau *curing* akan menjaga keadaan beton tetap lembab setelah dilakukan pekerjaan *finishing* cor dan menjaga beton agar tidak terjadi keretakan.

Tujuan penelitian ketahanan beton geopolimer terhadap serangan sulfat dan klorida adalah:

1. mengetahui ketahanan beton geopolimer yang berbasis *fly ash* sebagai bahan pengganti semen jika berada pada lingkungan yang korosif;
2. mengetahui sifat mekanis pada beton geopolimer berbasis *fly ash* yang terdiri dari kuat tekan, cepat rambat gelombang dan perubahan pH.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Geopolimer

Geopolimer didefinisikan sebagai bahan yang digunakan sebagai alternatif pengganti semen agar lebih ramah terhadap lingkungan, karena material yang digunakan tersusun dari sintesa bahan-bahan alam non organik melalui proses polimerisasi, dari pengertian geopolimer diatas dapat diartikan bahwa beton geopolimer adalah beton ramah lingkungan yang mengganti semen yang berfungsi sebagai pengikat dengan bahan yang ramah lingkungan. Davidovits (1997) mengemukakan bahwa beton geopolimer yaitu sebuah senyawa alumino silikat anorganik yang disintesis dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam padi (*rice husk ash*) dan lain-lain, yang banyak mengandung silika dan aluminium.

2.2 Material Pembuatan Beton Geopolimer

Untuk mendapatkan kualitas beton yang baik ditentukan oleh kualitas dari material yang digunakan dalam pembuatan beton tersebut. Material dasar pembentuk beton geopolimer adalah sebagai berikut:

2.2.1 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat menempati sebanyak 70% volume beton. Menurut Silvia Sukirman (2012) agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen.

Agregat terbagi menjadi 2 kelompok yaitu agregat halus dan agregat kasar menyatakan agregat untuk bahan bangunan terbagi menjadi 2 jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar. Menurut ASTM C-33 2002 (*American Society for Testing and Material*) menyatakan bahwa agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm sedangkan agregat kasar adalah agregat yang memiliki ukuran butir lebih dari 4,75 mm.

2.2.2 *Fly ash*

Material utama untuk pembentukan geopolimer yang memiliki ikatan alumino-silikat harus kaya akan silika dan alumunium. Material buatan seperti *fly ash* dan *slag* merupakan material yang paling potensial sebagai bahan dasar beton geopolimer (Hardjito et al, 2005). *Fly ash* atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, banyak digunakan sebagai bahan campuran pada beton. *Fly ash* sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen tetapi membutuhkan bantuan aktivator. Pada **Tabel 1** disajikan komposisi kimia dari berbagai kelas *fly ash* sesuai dengan standar ASTM C618 (1993). *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* Suralaya 1 dan Suralaya 2

Tabel 1. *Fly Ash* Standar ASTM C618 (1993)

Senyawa	Kelas Campuran Mineral		
	F	N	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , min %	70	70	50
SO ₃ , maks %	4	5	5
Moisture Content, maks %	3	3	3
Loss of Ignition, maks %	10	6	6
Alkali, Na ₂ O, maks %	1,5	1,5	1,5

Sumber: ASTM C618 (1993)

2.2.3 Aktivator dan Katalisator

Sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan sebagai alkalin aktivator (Hardjito, et.al, 2004). Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan unsur lain bereaksi. Pada penelitian beton geopolimer aktivator yang digunakan adalah sodium hidroksida yang mengandung silika yang merupakan asam kuat maka akan bereaksi dengan basa kuat. Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

2.3 Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan memiliki pengaruh terhadap ketahanan beton yang berfungsi sebagai material utama pada infrastruktur. Pada kondisi lingkungan seperti laut atau sungai sangat rentan tercemar zat kimia yang bisa mempengaruhi ketahanan pada beton. Zat kimia yang rentan bercampur dengan air laut atau sungai dalam persentase yang tinggi.

2.3.1 Asam Sulfat (H₂SO₄)

Asam sulfat merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat dan bersifat agresif. Asam ini dapat merusak struktur pasta pada beton dan memungkinkan menyebabkan terjadinya penyebab bidang retak di permukaan beton tetapi juga akan berakibat berkurangnya volume dan kekuatan beton. Zat yang mampu larut dalam air dengan segala perbandingan ini juga memiliki kegunaan diantaranya sebagai produk utama dalam industri kimia (Haryono, 2010). Dasar dari serangan sulfat adalah pembentukan gipsum (kalsium sulfat) dan ettringite (kalsium sulfoaluminat) hasil dari dua molekul ini adalah menambah volume sehingga terjadi pengembangan yang akhirnya merusak beton.

2.3.2 Asam Klorida (HCl)

Asam klorida adalah larutan yang dapat menyebabkan korosi dan pengeroposan pada beton karena klorida dapat menyerang sistem pengikat kalsium silikat. Larutan asam klorida adalah cairan yang sangat korosif (dapat menyebabkan pengikisan) terutama pada beton. Secara umum dapat dikatakan bahwa durabilitas beton terhadap penetrasi klorida sangat dipengaruhi oleh struktur pori beton, struktur pori beton dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berhubungan

dengan beton misalnya material dan proses pembetonan. Mc.Grath, (1996) mengatakan bahwa struktur pori dipengaruhi oleh berbagai macam faktor salah satunya bahan tambah mineral mempengaruhi perkembangan struktur pori beton. Pengaruh lain pada struktur pori-pori adalah temperatur, suhu yang tinggi dalam proses perawatan beton yang masih segar akan membuat beton lebih matang dan memiliki ketahanan beton lebih baik terhadap penetrasi klorida ketimbang dengan perawatan biasa.

2.3.1 Air Laut

Kondisi air laut yang korosif membuat beton normal yang menggunakan semen tidak memiliki ketahanan yang baik terhadap zat-zat kimia, keawetan atau umur beton itu sendiri menjadi tidak bertahan lama. Persentase kandungan air laut adalah berupa 96,5% air murni, 3,5% garam-garaman, sedangkan dari 3,5% garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya kurang dari 1% (Elia Hunggurani et al, 2014)

2.4 Pengujian Non Destruktif

2.4.1 Cepat Rambat Gelombang (*Pulse Velocity*)

Prinsip kerja pengujian *pulse velocity* adalah mengubah energi gelombang listrik yang dibangkitkan menggunakan transduser menjadi energi gelombang mekanik yang selanjutnya merambat pada beton. Setelah *receiver energy* gelombang tadi diubah kembali menjadi energi gelombang listrik yang selanjutnya melewati penguat dan akhirnya dihitung atau ditampilkan dalam satuan waktu tempuh SNI 03-4802 (1998). Klasifikasi cepat rambat gelombang seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi Cepat Rambat Gelombang

Kecepatan Gelombang (m/s)	Kualitas Beton
> 4.000	baik
3.000 - 4.000	cukup baik
< 3.000	kurang baik

(Sumber: SNI 03-4802, 1998)

2.4.2 Pengujian Perubahan pH

Prinsip kerja pengujian pH ini adalah pengukuran pH berdasarkan aktifitas ion hidrogen secara potensiometri atau elektometri dengan menggunakan pH meter. Untuk mengetahui perubahan derajat keasaman atau pH yang terkandung pada benda uji terdapat kriteria pH seperti pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kriteria Pengujian pH

pH	Keterangan
pH < 7	asam
pH = 7	Normal
pH > 7	Basa

2.5 Pengujian Destruktif

2.5.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Semakin tinggi nilai beban yang didapatkan, semakin besar tinggi mutu dari beton tersebut prosedur

pengujian mengacu pada SNI 03-1974-2011 pengujian kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini adalah beton yang sudah direndam selama 7, 14, 21 dan 28 hari. Untuk mendapatkan, nilai kuat tekan yang tinggi, harus dirancang dengan proporsi campuran. Perhitungan kuat tekan beton dapat dilihat pada **Persamaan 1**.

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

... (1)

dimana:

- f'_c = kuat tekan beton (MPa),
- P = beban (N),
- A = luas penampang benda uji (mm²).

3. Metodologi Penelitian

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kaji literatur dan pengumpulan data bahan geopolimer yang berhubungan dan mengacu kepada pada penelitian beton geopolimer. Perancangan komposisi *trial mix* beton geopolimer dilakukan sebelum pembuatan benda uji. Benda uji yang digunakan adalah silinder ukuran 10 cm × 20 cm untuk pengujian cepat rambat gelombang dan kubus 5 cm × 5 cm × 5 cm untuk pengujian kuat tekan dan pH. Pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Balai Pusat Penelitian Pengembangan Jalan dan Jembatan (Pusjatan), Bandung.

3.2 Persiapan Material

3.2.1 *Fly Ash*

Fly ash yang digunakan yaitu campuran *fly ash* kelas F yang berasal dari PLTU Suralaya 1 dan Suralaya 2 dengan ukuran butir lolos saringan 200 mm. Senyawa yang terkandung pada *fly ash* dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Kandungan *Fly Ash*

Senyawa	Kandungan <i>Fly Ash</i> Suralaya 1 (%)	Kandungan <i>Fly Ash</i> Suralaya 2 (%)
SiO ₂	49,31	57,30
Al ₂ O ₃	28,5	16,94
Fe ₂ O ₃	6,91	9,73
CaO	4,84	5,57
Na ₂ O	0,73	0,63
K ₂ O	0,53	0,79
MgO	1,68	5,43
SO ₃	<0,01	<0,01
LOI	4,42	0,96
SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	84,72	83,97

3.2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar untuk penelitian beton geopolimer adalah agregat yang berasal dari Muntilan dengan agregat maksimum yang digunakan adalah 10 mm.

3.2.3 Agregat Halus

Agregat halus untuk penelitian beton geopolimer adalah agregat yang berasal dari Muntilan yang tertahan di saringan 200 mm.

3.2.4 Air

Air yang digunakan untuk campuran beton ini merupakan air dengan kualitas standar sesuai dengan SNI 03-6861 2002 spesifikasi bahan bangunan.

3.2.5 Aktivator dan Katalisator

Aktivator yang digunakan pada penelitian ini digunakan untuk mengaktifkan Silika (Si) dan Aluminium (Al) yang terdapat pada *fly ash* adalah sodium hidroksida sedangkan sodium silikat digunakan sebagai katalisator.

3.3 Perancangan Komposisi *Trial Mix*

Perancangan komposisi *trial mix* beton geopolimer pada penelitian ini menggunakan hasil percobaan yang dilakukan sebelum penelitian. Perbandingan bahan-bahan beton geopolimer yang digunakan seperti pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perbandingan Bahan-bahan Beton Geopolimer

Aktivator 1 : Aktivator 2		<i>Fly Ash</i> : Aktivator		Binder : Agregat	
Sodium Silikat	60%	<i>Fly Ash</i>	60%	<i>Fly Ash</i> + Aktivator	38%
Sodium Hidroksida	40%	Aktivator	40%	Agregat	62%

3.4 Perendaman

Perendaman pada penelitian ini dilakukan dengan cara merendam benda uji didalam air, larutan asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi sebesar 10% sampai umur rencana beton, ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan yang dimiliki beton geopolimer berbasis *fly ash* terhadap sulfat dan klorida dengan melakukan pengujian berupa pengujian destruktif dan non destruktif kepada benda uji.

3.5 Pengujian Non Destruktif

Berikut adalah bentuk pengujian non destruktif yang dilakukan pada penelitian ini:

a. Cepat Rambat Gelombang (*Pulse Velocity*)

Tujuan dilakukannya pengujian cepat rambat gelombang adalah untuk mengetahui keseragaman, mutu beton dan juga untuk mengetahui adanya lubang atau retak pada beton geopolimer. Pengujian yang dilakukan mengacu pada ASTM C 597 (2002) tentang standar pengujian cepat rambat gelombang. Benda uji yang dipakai adalah beton geopolimer dengan cetakan silinder 10 cm × 20 cm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat pundit lab.

b. Perubahan pH

Tujuan dilakukannya pengujian perubahan pH beton adalah untuk mengetahui perubahan derajat keasaman atau pH yang terkandung pada benda uji yang sudah direndam didalam air, asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi sebesar 10%. Cara pengujian pH menggunakan acuan ASTM D1293 (2012). Benda uji yang dipakai adalah beton geopolimer dengan cetakan kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pH meter.

3.6 Pengujian Destruktif

Pengujian destruktif yang dilakukan yaitu kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari. Tujuan dilakukannya pengujian kuat tekan beton ini untuk mengetahui ketahanan beton geopolimer dalam menerima suatu beban setelah direndam pada cairan asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) dengan konsentrasi sebesar 10%. Pengujian kuat tekan beton mengacu kepada SNI 03-1974-2011. Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin *universal testing machine* (UTM).

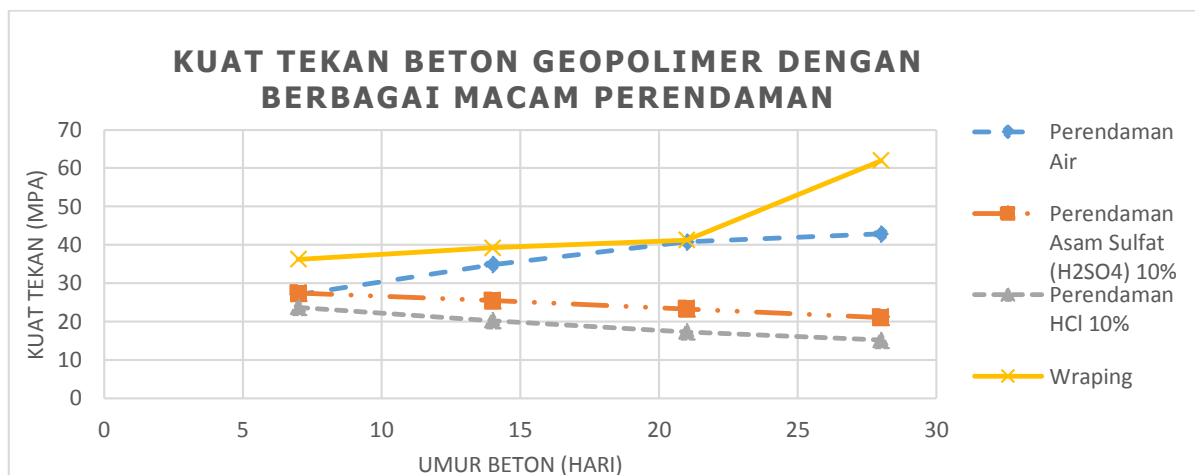
4. Data dan Analisa Hasil Pengujian

4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Terhadap Lingkungan Korosif

Pengujian ketahanan kuat tekan dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggantian semen dengan menggunakan *fly ash* terhadap ketahanan kuat tekan beton geopolimer dalam menerima suatu beban tekan dalam keadaan lingkungan yang korosif. Hasil ketahanan kuat tekan beton geopolimer dengan lingkungan yang korosif dapat dilihat di **Tabel 6** dan **Gambar 1**.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer Berdasarkan Umur Beton

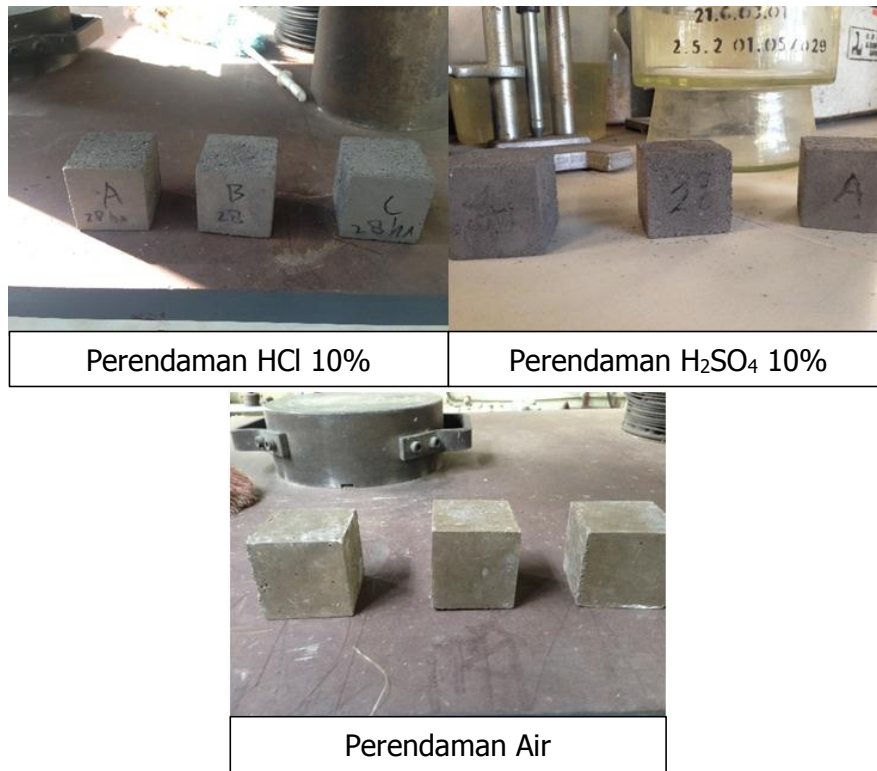
Jenis Perendaman	Kuat Tekan Beton (MPa)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
Perendaman Air	27,0481	34,8348	40,7216	42,8165
Perendaman Asam Sulfat (H_2SO_4) 10%	27,363	25,453	23,253	21,0389
Perendaman HCl 10%	23,6822	20,232	17,2953	15,1576
<i>Wrapping</i>	36,2059	39,2321	41,232	61,9628



Gambar 1. Ketahanan kuat tekan beton geopolimer dengan berbagai macam perendaman

Dari **Tabel 6** dan **Gambar 1** terlihat bahwa perendaman menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dan larutan asam klorida (HCl) sebesar 10% akan menurunkan ketahanan kuat tekan beton dengan penurunan kekuatan kuat tekan beton turun sebesar 30% dan perendaman asam klorida (HCl) turun sebesar 50% pada umur 28 hari. Pada perendaman air terdapat kenaikan ketahanan kuat tekan beton sebesar 42% pada umur 28 hari sedangkan beton geopolimer yang tidak dilakukan perendaman tapi dilakukan *wrapping* sebagai perawatannya malah mengalami peningkatan yang sangat signifikan terhadap ketahanan kuat tekan beton pada umur 28 hari mencapai 61,9628 MPa jauh melebihi kuat tekan rencana yaitu 30 MPa.

Gambar 2 adalah gambar kondisi benda uji ketahanan kuat tekan beton geopolimer pada umur 28 hari.



Gambar 2. Benda uji ketahanan kuat tekan beton geopolimer

4.2 Hasil Pengujian Cepat Rambat Gelombang

Pengujian cepat rambat gelombang beton bertujuan untuk mengetahui kecepatan rambat gelombang yang melewati suatu beton, pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui keseragaman, kualitas beton dan mengetahui kerusakan permukaan beton akibat pengaruh zat kimiawi. Perendaman menggunakan larutan yang berbeda akan menghasilkan cepat rambat beton yang berbeda maka dari itu pengujian ini lakukan. Hasil cepat rambat gelombang dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Cepat Rambat Gelombang Beton Geopolimer Berdasarkan Umur Beton

Jenis Perendaman	Cepat Rambat Gelombang (m/s)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
Perendaman Air	3.832	3.712	3.620	3.477
Perendaman Asam Sulfat (H ₂ SO ₄) 10%	3.543	3.393	3.202	2.682
Perendaman HCl 10%	3.421	3.378	3.092	2.320
<i>Wrapping</i>	3.621	3.536	3.433	3.286

Dari **Tabel 7** terlihat bahwa perendaman asam sulfat (H₂SO₄) dan asam klorida sebesar 10% pada beton geopolimer menurunkan kualitas beton untuk dapat dilalui gelombang karena paparan dari konsentrasi asam sulfat dan asam klorida yang terlalu tinggi mengakibatkan beton mengalami kerusakan pada permukaan dan membuat kualitas beton geopolimer menjadi menurun. Karena menurut ASTM C 597-83 tentang standar kualitas beton pengujian

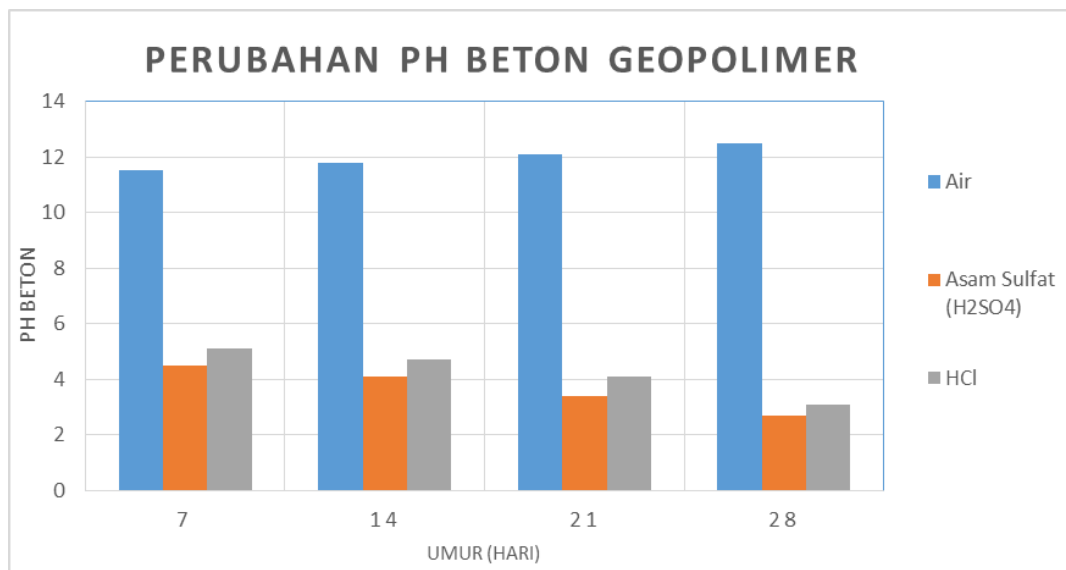
cepat rambat bahwa jika kecepatan gelombang saat melewati beton kurang dari 3.000 m/s kualitas beton itu termasuk kedalam beton dengan kualitas kurang baik.

4.3 Hasil Pengujian Perubahan pH

Pengujian perubahan pH ini bertujuan untuk mengetahui derajat keasaman atau pH yang terkandung pada benda uji yang sudah direndam didalam cairan atau larutan yang berbeda seperti air, larutan asam sulfat (H_2SO_4) dan larutan asam klorida (HCl) sebesar 10%. Dengan melalui tingkat keasaman atau basa yang terkandung pada beton geopolimer kita dapat tau tingkat penyerapan yang dilakukan oleh beton geopolimer. Hasil pengujian perubahan pH dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Gambar 3**.

Tabel 8. Hasil Pengujian Perubahan pH Beton Geopolimer Berdasarkan Umur Beton Tertentu

Jenis Perendaman	pH Beton Geopolimer			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
Perendaman Air	11,5	11,8	12,1	12,5
Perendaman Asam Sulfat (H_2SO_4) 10%	4,5	4,1	3,4	2,7
Perendaman HCl 10%	5,1	4,7	4,1	3,1



Gambar 3. Perubahan pH beton geopolimer

Dari **Tabel 8** dan **Gambar 3** terlihat bahwa perendaman yang dilakukan menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) dan larutan asam klorida (HCl) sebesar 10% terhadap beton geopolimer memberikan dampak pada perubahan pH beton yang sangat signifikan yang dimiliki oleh beton geopolimer. Kandungan asam yang dimiliki oleh larutan asam sulfat dan asam klorida yang sangat tinggi terkonsentrasi kepada beton membuat kandungan pH yang dimiliki beton geopolimer mengalami reaksi perubahan dari basa kuat menjadi asam kuat. Karena menurut standar yang ada pH yang seharusnya dimiliki beton rata-rata hanya 12,5, ini berarti konsentrasi larutan asam sulfat dan asam klorida sebesar 10% memberikan dampak yang tinggi terhadap beton geopolimer. Karena larutan asam sulfat memiliki tingkat keasaman yang lebih tinggi mengakibatkan pH yang dimiliki perendaman asam sulfat lebih kuat dari pada perendaman HCl.

4.4 Pembahasan Hasil Penelitian

Hasil-hasil pengujian yang diharapkan dengan menggunakan cara perendaman terhadap beton geopolimer menggunakan asam sulfat dan asam klorida tidak tercapai. Ketidaktercapaian ini disebabkan oleh berbagai hal, yaitu:

1. Pada hasil pengujian ketahanan kuat tekan beton geopolimer yang terdapat pada **Tabel 5** dan **Gambar 1** perendaman asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) mengalami penurunan dan kuat tekan pada umur 28 hari jauh dari kuat tekan rencana yaitu 30 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa perendaman asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) sebesar 10% terlalu besar untuk diterima oleh beton geopolimer karena ketahanan kuat tekan perendaman keduanya setelah direndam selama 28 hari mengalami penurunan sekitar 30% – 50%. Banyak sekali penyebab dari penurunan ketahanan kuat tekan yang dimiliki beton geopolimer yang di rendam di larutan asam sulfat dan asam klorida yaitu:
 - a. Kandungan asam yang dimiliki asam sulfat dan asam klorida sangatlah tinggi tapi jika direndam menggunakan air laut memiliki ketahanan yang lebih baik, karena jika dibandingkan dengan kadar sulfat dan klorida yang dimiliki oleh air laut sangatlah kecil dan kebanyakan kandungannya berupa garam sulfat dan garam klorida.
 - b. NaOH yang merupakan aktivator silika dan alumunium yang terdapat pada *fly ash* terganggu akibat adanya serangan larutan asam sulfat dan asam klorida yang tinggi yang masuk kedalam beton yang membuat pengikatan yang terjadi pada beton geopolimer menjadi tidak sempurna, karena larutan asam sulfat dan asam klorida yang merupakan asam kuat mengganggu reaksi pengikatan NaOH yang merupakan basa kuat, ini mengakibatkan binder tidak dapat mengikat agregat dengan baik dan mengakibatkan pengeroposan pada bagian luar pada beton geopolimer seperti pada **Gambar 2**;
 - c. faktor agregat yang digunakan belum diuji apakah tahan terhadap larutan asam kuat seperti larutan asam sulfat dan asam klorida. Karena jika agregat tidak tahan terhadap serangan asam kuat agregat akan menjadi lebih rapuh dan mengalami penurunan ketahanan kuat tekan beton geopolimer itu sendiri;
 - d. faktor dimensi ukuran benda uji yang terlalu kecil yang mengakibatkan serangan dan penetrasi yang dilakukan oleh asam sulfat dan asam klorida menjadi lebih cepat untuk menyerang beton geopolimer itu sendiri walaupun menurut standar ukuran benda uji untuk pengujian sudah memenuhi standar yang ada. Penggunaan dimensi ukuran benda uji menggunakan kubus ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm itu sendiri didasari karena kekurangan material yang tersedia yang diperlukan untuk membuat benda uji dengan ukuran yang lebih besar.
2. Pada hasil pengujian cepat rambat gelombang yang disajikan **Tabel 7** pada umur 28 hari kualitas beton untuk dilalui gelombang menjadi menurun ini disebabkan konsentrasi asam sulfat dan asam klorida pada umur 28 hari semakin tinggi yang mengakibatkan beton menjadi semakin keropos baik di permukaan luar dan bagian dalam dari beton geopolimer dan itu membuat kualitas beton untuk dilalui suatu gelombang semakin menurun karena kecepatan rambat gelombang ditentukan oleh tingkat kepadatan dari beton itu sendiri jadi semakin beton itu keropos kecepatan yang dibutuhkan suatu gelombang akan semakin lambat. Menggunakan *fly ash* sebagai material pengganti semen seharusnya membuat beton semakin tahan terhadap zat kimia dan membuat pori-pori yang dimiliki beton semakin sedikit karena *fly ash* yang digunakan pada penelitian beton geopolimer ini menggunakan *fly ash* yang lolos saringan 200 yang berarti kepadatan pada beton geopolimer itu sendiri semakin baik tapi pada penelitian ini konsentrasi sebesar 10% yang dimiliki larutan asam sulfat dan asam klorida terlalu tinggi yang mengakibatkan kualitas beton itu sendiri semakin menurun yang berarti *fly ash* yang digunakan tidak tahan terhadap serangan zat kimia terutama asam sulfat dan asam klorida dengan konsentrasi sebesar 10%.
3. Pada hasil pengujian perubahan pH yang dialami benda uji yang direndam asam sulfat dan asam klorida dengan konsentrasi sebesar 10% benar-benar tinggi, karena jika dilihat pada

Tabel 8 dan **Gambar 3** pH yang dimiliki beton untuk perendaman dengan asam sulfat dan asam klorida sangat jauh dari nilai pH rata-rata (sekitar 12,5 kasus perendaman air yang termasuk kedalam pH basa kuat). Dengan diberi asam sulfat dan asam klorida dengan konsentrasi sebesar 10%, tingkat pH berubah dari basa kuat menjadi asam kuat akibat dari pengaruh asam sulfat dan asam klorida yang tinggi.

4. Terjadi perubahan pH yang dimiliki beton itu sendiri berarti sedang terjadi reaksi antara pH asam sulfat dan asam klorida dengan kandungan yang dimiliki oleh beton. Penetrasi yang dilakukan asam sulfat dan asam klorida memberikan reaksi terhadap beton yang mengakibatkan beton mengalami penurunan kondisi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. perendaman beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* tidak dapat bertahan terhadap serangan asam sulfat dan klorida sebesar 10%;
2. ketahanan kuat tekan yang dimiliki beton geopolimer berbasis *fly ash* yang direndam pada asam sulfat dan asam klorida sebesar 10% mengalami penurunan sekitar 30% – 50% dari kuat tekan rencana minimum sebesar 30 MPa;
3. beton geopolimer berbasis *fly ash* termasuk beton dengan mutu tinggi sama seperti beton normal jika tidak terpapar larutan asam sulfat dan asam klorida;
4. agregat yang akan digunakan untuk pembuatan beton geopolimer harus terlebih dahulu diperiksa apakah tahan terhadap larutan kimia atau tidak karena agregat dapat mengakibatkan kekuatan yang dimiliki beton berkurang;
5. kondisi fisik beton mengalami pengeroposan dan membuat kepadatan beton berkurang akibat konsentrasi asam sulfat dan asam klorida yang tinggi.

DAFTAR RUJUKAN

- ASTM C33 – 03 (2002). Standard Specification for Concrete Aggregates, Annual Books of ASTM Standards, West conshohocken, United States of America: ASTM International.
- ASTM C618 (1993). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. West conshohocken, United States of America: ASTM International.
- ASTM D1293 (1999). Standard Test Methods for pH of Water. West conshohocken, United States of America: ASTM International.
- Davidovits, J, (1997). Geopolimer Inorganic Polimer New Material”, Saint Quentin: Institut Geopolimer.
- Elia Hunggurani et al, (2014). Pengaruh Masa Perawatan (Curing) Menggunakan Air Laut Terhadap Kuat Tekan dan Arbsorpsi Beton.Undana:Jurusan Teknik Sipil FST.
- Hardjito, D., Wallah, Sumajouw, dan Rangan (2004), Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Sydney: Faculty of Engineering, Curtin University of Teknologi.
- Haryono, Gogot, dkk. (2010). Ekstrak Bahan Alam sebagai Inhibitor Korosi, Yogyakarta: Fakultas Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional Veteran.
- Badan Standarisasi Nasional .(1998). SNI 03-4802 Metode Pengujian Kecepatan Pulsa melalui Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional .(2011). SNI 03-1974 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sukirman, S. (2012). Beton Aspal Campuran Panas. Bahan Ajar. Institut Teknologi Nasional. Bandung.