

Korelasi Kuat Tekan Beton Dan Ketahanan Sulfat Pada Beton Normal Dengan Penambahan Kaolin Sebagai Substitusi Parsial Semen

Muhammad Atiqurrohman B¹⁾, Nanin Meyfa Utami²⁾, Dwi Nurtanto³⁾

^{1, 2)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Email: atiqurrohman.mb@gmail.com ¹⁾, nanin.meyf@gmail.com ²⁾,
dwinurtanto.teknik@unej.ac.id ³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i1.807>

(Received: July 2022 / Revised: January 2023 / Accepted: February 2023)

Abstrak

Komposisi campuran dalam pembuatan beton dapat divariasikan dengan menambahkan bahan lain yang disebut pozzolan dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan semen, memperbaiki sifat beton dan meningkatkan kekuatan beton. Salah satu material pozzolan tersebut yang bisa digunakan adalah kaolin. Pada penelitian ini dilakukan uji kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari pada beton dengan penambahan kaolin sebagai substitusi semen sebesar 0%, 5%, 10% dan 15% dan dilakukan uji ketahanan beton terhadap serangan kimia yaitu asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi 98%. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dengan dua metode perawatan yaitu perendaman sulfat dan perawatan suhu ruangan. Mutu beton yang direncanakan adalah 30 MPa dengan FAS sebesar 0,5. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton umur 28 hari dengan metode perawatan suhu ruangan pada beton normal (BN) adalah sebesar 24,77 MPa, pada beton kaolin 5% (BK5) adalah 19,54 MPa, pada beton kaolin 10% (BK10) adalah 16,91 MPa, dan pada beton dengan kaolin 15% (BK15) adalah sebesar 15,46 MPa. Sedangkan hasil kuat tekan beton rata-rata dengan variasi kaolin pada substitusi semen sebesar 0% (BN), 5% (BK5), 10% (BK10) dan 15% (BK15) dengan metode perawatan perendaman sulfat adalah sebesar 21,59 MPa, 18,15 MPa, 15,83 MPa, dan 14,53 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman sulfat dapat membuat beton mengalami kerusakan, mengalami penurunan berat dan dapat membuat beton mengalami penurunan kuat tekan terbesar hingga 12,86% pada variasi 0%.

Kata kunci: *Kaolin, asam sulfat, ketahanan sulfat.*

Abstract

The composition of the mixture in the manufacture of concrete can be varied by adding another material called pozzolan with the aim of reducing cement consumption, improving concrete properties and increasing concrete strength. One of the pozzolanic materials that can be used is kaolin. Because the purpose of this study was to test the strength of concrete at the age of 7 and 28 days with or without kaolin mixture with variations in cement substitution of 0%, 5%, 10% and 15% in a corrosive environment for the compressive strength and durability of concrete against chemical attack, namely sulfuric acid (H_2SO_4) with a concentration of 98%. The test object used is cylindrical with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm with two treatment methods, namely treatment with sulfate immersion and room temperature treatment. The planned concrete quality is 30 MPa with a FAS of 0.5. The results of testing the average compressive strength of concrete aged 28 days with the room temperature treatment method on normal concrete (BN) is 24.77 MPa, on 5% kaolin concrete (BK5) is 19.54

MPa, on 10% kaolin concrete (BK10) is 16.91 MPa, and in concrete with 15% kaolin (BK15) it is 15.46 MPa. While the results of the average compressive strength of concrete with variations of kaolin in cement substitution are 0% (BN), 5% (BK5), 10% (BK10) and 15% (BK15) with the sulfate immersion treatment method is 21.59 MPa, 18.15 MPa, 15.83 MPa, and 14.53 MPa. The results showed that sulphate immersion can cause concrete damage, decrease in weight and can make concrete experience the greatest decrease in compressive strength up to 12.86% at 0% variation.

Keywords: *Kaolin, sulfuric acid, sulfate resistance.*

1. Latar Belakang

Lingkungan tempat beton berada mempengaruhi kapasitas beton. Salah satu kandungan dalam tanah yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton adalah unsur yang memiliki kandungan sulfat. Pondasi bangunan di pantai dapat rusak oleh kandungan sulfat dalam air laut. Kerusakan pada beton dapat berupa keropos dan karat, kerusakan akibat serangan sulfat pada beton seperti ini harus dicegah. Pencegahan kerusakan dapat dilakukan dengan banyak macam cara salah satunya dengan varisasi komposisi campuran beton. Komposisi campuran pada beton dapat divariasikan dengan menambahkan bahan lain yang disebut pozzolan seperti abu sekam padi, fly ash, silika fume, abu tempurung kelapa atau kaolin untuk mengurangi konsumsi semen, memperbaiki sifat beton dan meningkatkan kekuatan beton (Supit, Sondakh and Waworuntu, 2020).

Meskipun penggunaannya telah menyebar karena mendapatkan hasil beton yang lebih tahan dan lebih murah, masalah ketahanan beton pozzolan terhadap serangan kimia dibandingkan dengan beton biasa masih harus dipelajari. Pada umumnya kekuatan dan keawetan beton dengan pozzolan atau tidak dengan pozzolan sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan yang korosif, terutama bila dibangun di daerah sekitar pantai, seperti bangunan tanggul, bangunan dermaga, pelabuhan dan bangunan lainnya. Lingkungan yang memiliki kandungan bahan kimia asam perlahan-lahan akan mendegradasi beton, dimulai dari sudut beton dan tepi, melepaskan partikel beton sehingga menyebabkan beton menjadi keropos (Purba, 2012).

Terdapat berbagai jenis asam yang dapat menyerang beton, termasuk asam sulfat (H_2SO_4) yang memiliki agresivitas tinggi terhadap beton. Asam sulfat adalah senyawa asam alami yang paling sering dijumpai di lingkungan dan dapat ditemukan di dalam tanah maupun air tanah. Asam sulfat memiliki agresivitas tinggi dibandingkan dengan asam lainnya. Asam sulfat bereaksi dengan kalsium hidroksida (CH), produk hidrasi semen dalam beton dan menghasilkan gipsum. Pembentukan gipsum pada beton menyebabkan peningkatan volume. Gipsum juga bereaksi dengan kalsium aluminat hidrat (C_3A) untuk menghasilkan ettringite. Volume ettringite hampir tujuh kali lipat dari senyawa awal. Ettringite menyebabkan tegangan pada beton yang mengarah pada pembentukan retakan. Pada akhirnya, beton yang terkorosi kehilangan kekuatan mekaniknya menyebabkan lebih banyak retakan, terkelupas dan akhirnya menyebabkan kehancuran total (Barbhuiya and Kumala, 2017) oleh karena itu, didasarkan latar belakang sangat penting untuk mengetahui korelasi atau hubungan kuat tekan beton dan ketahanan sulfat pada beton normal terhadap penambahan kaolin sebagai substitusi parsial semen. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton normal yang ditambahkan kaolin sebagai campuran semen, dan mengetahui

ketahanan sulfat pada beton yang ditambahkan kaolin sebagai campuran semen. Bahan kaolin yang digunakan sebagai substitusi parsial semen adalah bahan lokal dan sisa yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik pada beton maupun sifat ketahanan beton terhadap serangan kimia.

2. Metode Penelitian

2.1 Pengujian Material

Metode penelitian pada penelitian ini adalah studi eksperimental, yaitu dengan memvariasikan campuran pada beton normal dengan menggunakan bahan kaolin sebagai substitusi parsial semen dengan prosentase berbeda pada benda uji beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm di laboratorium. Kaolin merupakan masa batuan yang terbentuk dari mineral lempung dengan kandungan besi yang rendah. Kaolin mempunyai komposisi kimia yaitu hidros aluminium silikat ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) dengan disertai beberapa mineral penyerta. Semen yang digunakan adalah semen portland dengan merek semen Gresik. Air yang digunakan didapatkan dari Laboratorium Struktur, Universitas Jember. Agregat kasar yang digunakan adalah agregat kasar batu pecah alami dengan ukuran maksimal 10 mm. Agregat halus yang dimanfaatkan diperoleh dari Kabupaten Lumajang, Jawa Timur yaitu pasir alami yang termasuk zona 2. Hasil analisa saringan pasir diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Analisa saringan pasir

Saringan Nomor	Berat Saringan mm (g)	Saringan + Agg (g)	Tertinggal pada saringan		% kumulatif		
			gr	Persentase (%)	Tinggal	Lolos	
4	4,76	427,60	427,60	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,38	421,50	473,40	51,90	5,19	5,19	94,81
16	1,19	406,10	507,00	100,90	10,09	15,28	84,72
30	0,59	401,80	809,60	407,80	40,79	56,07	43,93
50	0,30	404,40	559,50	155,10	15,51	71,58	28,42
100	0,15	386,50	592,50	206,00	20,60	92,19	7,81
pan	0	355,30	433,40	78,10	7,81	-	-
Jumlah				1000	100	240,32	
Modulus Halus:			2,403		Zona:	2	

Pada agregat halus dan agregat kasar dilakukan beberapa pengujian diantaranya berat volume, berat jenis, kadar resapan, kelembaban, analisa saringan dan kadar lumpur.

2.2 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan pencampuran beton berpedoman pada SNI 03-2834-2000 tentang perencanaan campuran beton normal, kuat tekan beton yang diisyaratkan (f_c') adalah 18 MPa, karena data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan butir 4.2.3.1 tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari ($f_c + 12$ MPa), sehingga kuat tekan yang direncanakan menjadi 30 MPa. Untuk beton yang berhubungan dengan lingkungan air tanah yang mengandung sulfat dan menggunakan semen tipe I digunakan nilai faktor air semen 0,5.

Benda uji menggunakan bentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, ukuran benda ini diperbolehkan jika ditentukan dan dipakai ukuran maksimum nominal agregatnya tidak melebihi 1/3 dari diameter silinder itu sendiri. Sekarang silinder 10 x 20 cm lebih sering dipakai karena benda uji tersebut lebih membutuhkan sedikit bahan untuk membuat sampel dan lebih ringan (Gregorius Talinusa, Tenda and Tamboto, 2014). Kuat tekan beton yang diisyaratkan (f_c') adalah 18 MPa, karena data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan butir 4.2.3.1 tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari ($f_c'+12$ MPa), sehingga kuat tekan yang direncanakan menjadi 30 MPa. Untuk beton yang berhubungan dengan lingkungan air tanah yang mengandung sulfat dan menggunakan semen tipe I digunakan nilai faktor air semen 0,5 (SNI 03-2834-2000, 2000). Hasil perhitungan kebutuhan material per 1 m³ beton seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Kebutuhan material per 1 m³ beton

Proporsi campuran beton per silinder 10cm x 20cm					
Persentase bahan (%)	semen (kg)	air (L)	agregat halus (kg)	agregat kasar (kg)	Kaolin (Kg)
Beton Normal	466.67	229.46	840.02	848.85	0.00
Beton Kaolin 5%	443.33	229.46	840.02	848.85	23.33
Beton Kaolin 10%	420.00	229.46	840.02	848.85	46.67
Beton Kaolin 15%	396.67	229.46	840.02	848.85	70.00

2.3 Pengujian Ketahanan Sulfat

Prosedur pengujian menggunakan ASTM-C267-01, untuk pengujian ketahanan sulfat beton, benda uji yang digunakan adalah berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, dengan masing-masing campuran sejumlah tiga sampel, beton berumur satu hari dilepaskan dari bekesting lalu ditimbang untuk mengetahui berat awal.



Gambar 1 Perendaman beton dengan asam sulfat

Kemudian direndam dengan menggunakan larutan asam sulfat dengan konsentrasi 98% hingga umur 7 dan 28 hari lalu beton diangkat dari rendaman sulfat, setelah itu beton dibersihkan dan dikeringkan dari sisa-sisa kulit beton yang mengalami pengkeroposan dan pada akhirnya ditimbang lagi sebelum dilakukan

pengujian kuat tekan untuk dicari perubahan berat sampel beton akibat perendaman dalam H_2SO_4 dengan kadar konsentrasi 98%. Penggunaan asam sulfat dengan kadar 98% bertujuan agar dampak dari reaksi beton dengan asam sulfat lebih cepat terjadi.

2.4 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan adalah salah satu sifat mekanis pada beton. Pada penelitian ini, beton diuji ketika memasuki umur beton 7 hari dan umur 28 hari. Setiap pengujian dilakukan terdiri dari 3 benda uji untuk setiap variasi. Tes kuat tekan beton dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Universitas Jember. Pada pengujian ini mengacu pada SNI-1974-2011.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Slump

Berdasar SNI 03-1972-1990, nilai slump dapat didefinisikan sebagai besarnya penurunan tinggi beton berdasarkan pengukuran dari pusat permukaan. Alat yang digunakan adalah *slump cone* yang diletakkan di atas plat dengan lubang bawah berdiameter 20 cm dan lubang atas 10 cm dengan ketinggian 30 cm dan didapatkan nilai slump seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

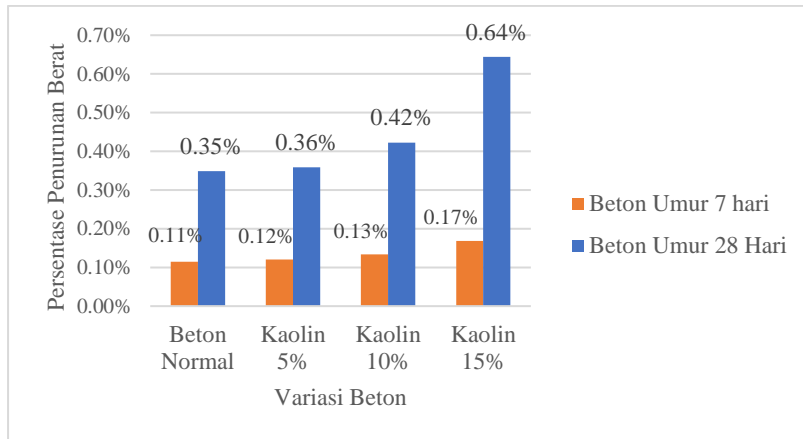
Tabel 3 Hasil uji slump

Jenis Beton	Nilai Slump (cm)
Beton Normal	12
Beton Kaolin 5%	11.5
Beton Kaolin 10%	11
Beton Kaolin 15%	9

Dari hasil nilai slump yang diperoleh menunjukkan bahwa campuran beton dengan penambahan kaolin mengalami penurunan nilai slump dibandingkan dengan nilai slump pada beton normal. Semakin besar prosentase kaolin maka semakin rendah nilai slump campuran beton tersebut. Semakin kecil nilai slump pada beton dengan penambahan kaolin menunjukkan bahwa campuran beton dengan kaolin mengalami penyerapan air yang lebih banyak dibandingkan dengan campuran beton normal, hal ini dikarenakan jumlah volume kaolin yang semakin besar menyebabkan bidang luasan yang harus dilumasi air semakin besar (Gunawan and Laraswaty, 2013).

3.2 Hasil Pengujian Ketahanan Sulfat

Perawatan beton dilakukan dengan direndam cairan asam sulfat (H_2SO_4) untuk menguji ketahanan sulfat beton, benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm sebanyak 3 buah sampel untuk masing-masing persentase substitusi kaolin dan ditimbang pada umur 7 hari dan 28 hari untuk mencari perubahan berat pada tiap sampel yang diakibatkan oleh perendaman asam sulfat. Prosedur pengujian menggunakan ASTM-C267-01, 1998. Dari perawatan dengan perendaman asam sulfat didapatkan hasil grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



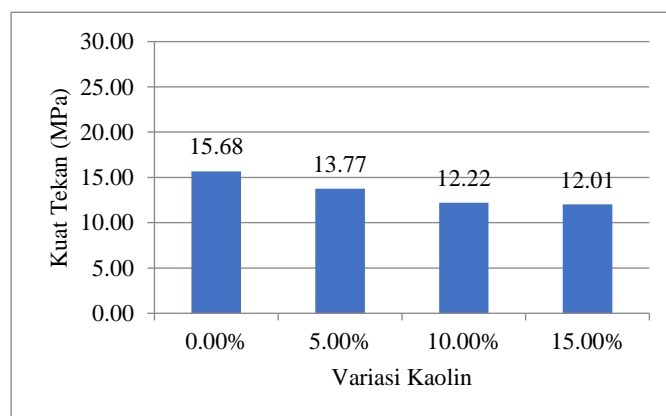
Gambar 2 Grafik perubahan berat beton

3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Setelah beton mencapai umur 7 hari dan 28 hari, maka dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian tersebut didasarkan pada SNI 1974:2011 menggunakan alat Compressive Tes. Hasil dari pengujian kuat tekan dicantumkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata umur 7 hari dengan perawatan perendaman asam sulfat

Jenis Beton	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)
BN	15.68
BK5	13.77
BK10	12.22
BK15	12.01

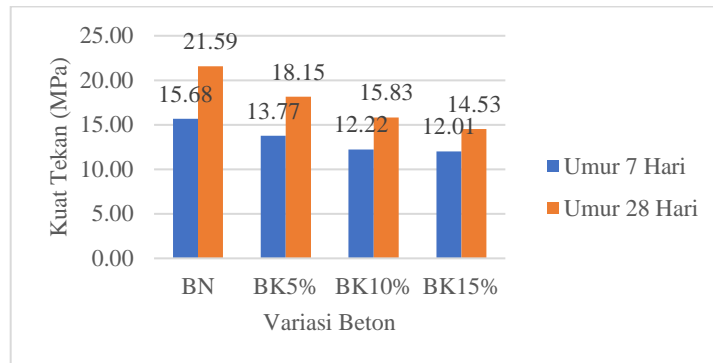


Gambar 3 Grafik kuat tekan beton rata-rata umur 7 hari dengan perawatan perendaman sulfat

Setelah memasuki umur 28 hari kuat tekan beton mengalami peningkatan dan didapatkan hasil perbandingan antara umur beton 7 hari dan 28 hari seperti pada Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5 Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata umur 28 hari dengan perawatan perendaman asam sulfat

Jenis Beton	Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)
BN	20.99
BK5	18.15
BK10	15.83
BK15	14.53

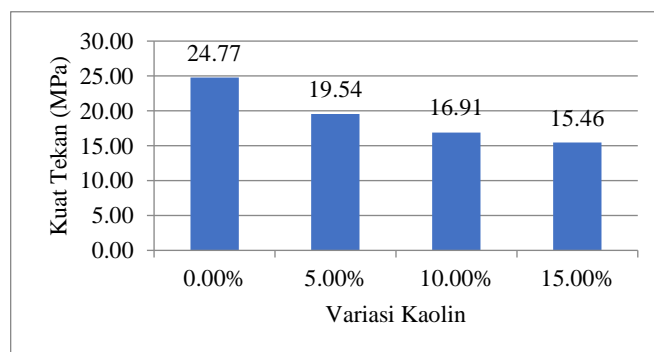


Gambar 4 Grafik perbandingan kuat tekan beton rata-rata umur 7 dan 28 hari dengan perawatan perendaman sulfat

Dengan metode perawatan suhu ruangan didapatkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari seperti pada Tabel 6.

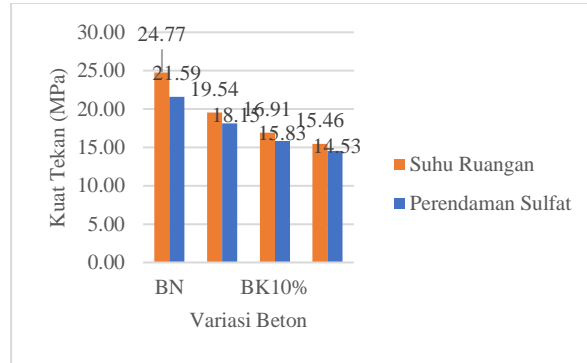
Tabel 6 Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata umur 28 hari dengan perawatan suhu ruangan

Jenis Beton	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
BN	24.77
BK5	19.54
BK10	16.91
BK15	15.46

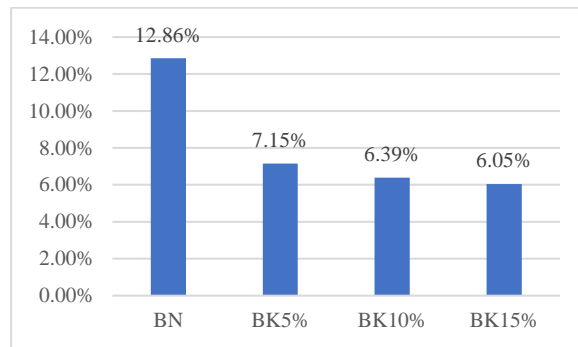


Gambar 5 Grafik kuat tekan beton rata-rata umur 28 hari dengan perawatan suhu ruangan

Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton yang telah direndam sulfat, perendaman dalam larutan asam sulfat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton. Hasil dari perbandingan pengujian kuat tekan antara perawatan dengan perendaman sulfat dan perawatan suhu ruangan dicantumkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik perbandingan kuat tekan beton umur 28 hari untuk tiap metode perawatan

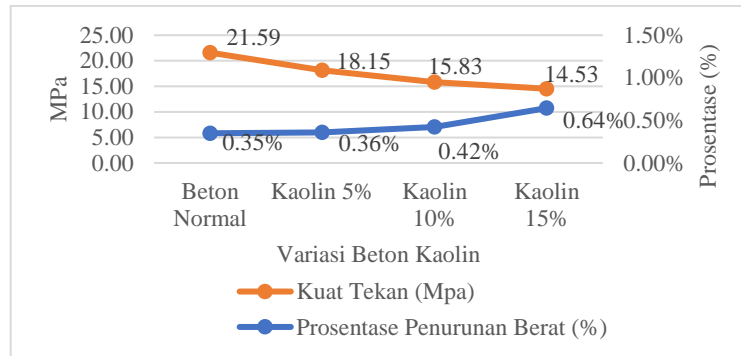


Gambar 7 Persentase penurunan kuat tekan akibat perendaman sulfat

Pada Gambar 7 tampak bahwa beton dengan perawatan perendaman sulfat mengalami penurunan mulai dari variasi BN (beton normal), BK5% (beton dengan substitusi kaolin 5% dari berat semen), s.d BK15% (beton dengan substitusi kaolin 15% dari berat semen). Begitu juga dengan beton yang dilakukan perawatan dengan treatment suhu ruang sama-sama mengalami penurunan mulai dari variasi benda uji (BN, BK %, BK 10% dan BK 15). Penurunan kuat tekan pada beton dengan metode perawatan perendaman sulfat terjadi karena senyawa sulfat dapat memberi dampak yang buruk bagi beton disebabkan sulfat akan bereaksi dengan senyawa-senyawa hasil hidrasi semen dan menghasilkan senyawa *ettringite* ($\text{Ca}_6\text{Al}_2\text{SO}_4\text{3OH}_2\text{25H}_2\text{O}$) dan *gypsum* ($\text{CaSO}_4\text{2H}_2\text{O}$). Kehadiran *ettringite* dan *gypsum* akan mengembangkan volume beton sehingga meningkatkan tegangan internal pada beton yang dapat menyebabkan terjadinya retak mikro sehingga akan meningkatkan porositas dan permeabilitas beton yang dapat merusak beton (Rizal and Hanif, 2016).

3.4 Korelasi Kuat Tekan dan Ketahanan Sulfat

Dari hasil pengujian ketahanan sulfat dan pengujian kuat tekan beton dapat ditarik grafik seperti Gambar 8.



Gambar 8 Grafik korelasi kuat tekan beton dan penurunan berat beton

Berdasarkan Gambar 8 semakin besar prosentase substitusi kaolin terhadap semen maka semakin besar pula prosentase penurunan berat beton serta semakin kecil nilai kuat tekan beton yang dicapai. Penurunan berat ini terjadi karena senyawa sulfat dapat memberi dampak yang buruk bagi beton disebabkan sulfat akan bereaksi dengan senyawa-senyawa hasil hidrasi semen dan menghasilkan senyawa *ettringite* ($\text{Ca}_6\text{Al}_2\text{SO}_4\text{3OH}_2 \cdot 25\text{H}_2\text{O}$) dan *gypsum* ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Kehadiran *ettringite* dan *gypsum* akan mengembangkan volume beton sehingga meningkatkan tegangan internal pada beton yang dapat menyebabkan terjadinya retak mikro sehingga akan meningkatkan porositas dan permeabilitas beton yang dapat merusak beton (Rizal and Hanif, 2016). Pada beton dengan penambahan kaolin sebagai substitusi semen didapatkan penurunan berat yang lebih besar hal ini dikarenakan silika (SiO_2) dalam kaolin akan bereaksi dengan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen sehingga terbentuk ikatan berbentuk gel/kalsium silika hidrat ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) (Christopher Putong, 2016). Kalsium silika hidrat kemudian bereaksi dengan asam sulfat sehingga membentuk *thaumasite* ($\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) yang juga akan mengembangkan volume beton sehingga meningkatkan tegangan internal pada beton yang dapat menyebabkan terjadinya retak mikro sehingga akan meningkatkan porositas dan permeabilitas beton yang dapat merusak beton atau membuat beton menjadi keropos (Rizal and Hanif, 2016). Walaupun beton direndam dengan asam sulfat yang bersifat merusak, kuat tekan beton tetap mengalami peningkatan dari umur 7 hari ke 28 hari, hal ini terjadi karena seiring berkurangnya kekuatan serangan asam terhadap beton proses hidrasi di dalam beton masih terus terjadi sehingga mempengaruhi pori beton yang semakin kecil seiring bertambahnya umur beton dan menyebabkan ikatan antar agregat di dalam beton semakin rapat. Pori-pori beton mengecil sehingga menghasilkan kuat tekan yang meningkat juga seiring pertambahan umur beton (Pandiangan, Olivia and Darmayanti, 2010).

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh adalah hubungan kuat tekan beton dengan penambahan kaolin adalah Semakin besar prosentase substitusi kaolin terhadap semen maka kuat tekan beton semakin turun. Begitu juga dengan ketahanan terhadap sulfat, semakin besar prosentase substitusi kaolin terhadap semen pada beton normal maka ketahanan sulfat beton akan semakin turun.

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah perlu dilakukan penelitian tentang kualitas kaolin yang digunakan dalam campuran beton, terutama komposisi dan unsur kimia yang terkandung didalam kaolin. Selain itu perlu dilakukan pengujian umur 7, 14, 21 dan 28 hari atau umur yang lebih lama lagi untuk mengetahui pengaruh asam sulfat terhadap beton dengan lebih maksimal lagi. Perlu adanya variasi yang lebih variatif pada konsentrasi asam sulfat yang digunakan untuk perendaman beton.

Daftar Kepustakaan

- ASTM-C267-01 (1998) ‘Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars , Grouts , and Monolithic’, *Current*, pp. 1–6.
- Barbhuiya, S. and Kumala, D. (2017) ‘Behaviour of a sustainable concrete in acidic environment’, *Sustainability (Switzerland)*, 9(9). Available at: <https://doi.org/10.3390/su9091556>.
- Christopher Putong (2016) ‘Pemanfaatan Kaolin Desa Toraget Kabupaten Minahasa Untuk Mereduksi Pemakaian Semen’, *Repository Politeknik Negeri Manado*, pp. 1–30. Available at: <http://repository.polimdo.ac.id/id/eprint/498>.
- Gregorius Talinusa, O., Tenda, R. and Tamboto, W.J. (2014) ‘Pengaruh Dimensi Benda Uji Terhadap Kuat Tekan Beton’, *Jurnal Sipil Statik*, 2(7), pp. 344–351. Available at: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/6005>.
- Gunawan, I. and Laraswaty, L.P. (2013) ‘Pemanfaatan Kaolin Belitung Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton’, *Forum Profesional Teknik Sipil*, pp. 63–71.
- Pandiangan, J.A., Olivia, M. and Darmayanti, L. (2010) ‘Ketahanan Beton Mutu Tinggi Di Lingkungan Asam Jaya’.
- Purba, P. (2012) ‘Pengaruh Kandungan Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton’, *Metana*, 4(1), pp. 37–42. Available at: <https://doi.org/10.14710/metana.v4i1.1723>.
- Rizal, F. and Hanif, H. (2016) ‘Perubahan Mikrostruktur Beton Akibat Agresi Asam Sulfat’, *Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi*, 2(2). Available at: <https://doi.org/10.30811/jstr.v2i2.40>.
- SNI-1974-2011 (2011) ‘SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder’, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, p. 20.
- SNI 03-1972-1990 (1990) ‘SNI 03-1972-1990 : Metode Pengujian Slump Beton’, *Badan Standar Nasional Indonesia*, pp. 1–12.
- SNI 03-2834-2000 (2000) ‘SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal’, *Sni 03-2834-2000*, pp. 1–34.
- Supit, S.W.M., Sondakh, F. and Waworuntu, R. (2020) ‘Ketahanan sulfat dan laju korosi beton yang menggunakan kaolin dan abu terbang’, *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 2(1), pp. 36–45.