

STUDI KUAT TEKAN BETON *GEOPOLYMER* DENGAN *FLY ASH* SEBAGAI PERKERASAN KAKU DI PESISIR PANTAI

Blima Oktaviastuti¹, Yurnalisdell²

^{1,2}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi
Email: *blima.oktavia90@gmail.com*

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada campuran beton *geopolymer* dengan memodelkan campuran material yang menyesuaikan kondisi di pesisir pantai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses peresapan air laut pada beton *geopolymer* pada perkerasan kaku dan untuk mengetahui kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku. Hasil penelitian diperoleh kesimpulan: (1) Peresapan air laut dan air PDAM pada benda uji perkerasan kaku beton *geopolymer* menghasilkan tingkat korosifitas pada tulangan sangat minimum, hal ini dikarenakan adanya tambahan zat aditif pada material beton *geopolymer*; dan (2) Kuat tekan beton *geopolymer* dengan perendaman menggunakan air laut menghasilkan nilai lebih signifikan dibandingkan perendaman air PDAM.

Kata kunci: Beton *Geopolymer*, *Fly Ash*, Perkerasan Kaku

ABSTRACT

This research focuses on geopolymer concrete mixes by modeling a mixture of materials that adjust the conditions on the coast. The purpose of this study is to determine the seepage process of seawater in geopolymer concrete in rigid pavement and to determine the compressive strength of geopolymer concrete in rigid pavement. The results of the study were concluded: (1) Seawater and PDAM water permeation on rigid pavement geopolymer concrete specimens results in a very low level of corrosivity at reinforcement, this is due to the addition of additives to the geopolymer concrete material; and (2) Compressive strength of geopolymer concrete with immersion using seawater produces significantly more value than immersion in PDAM water.

Keywords: *Geopolymer Concrete, Fly Ash, Rigid Pavement*

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur setiap tahunnya semakin bertambah sesuai pertambahan populasi manusia. Bertambahnya infrastruktur membuat air hujan cenderung terbuang percuma dan hanya sedikit yang dapat meresap ke dalam tanah.

Hal ini disebabkan semakin sedikit lahan hijau untuk resapan air.

Perkerasan jalan sering menimbulkan genangan air yang tidak langsung meresap ke dalam tanah. Disertai buruknya drainase, menjadi faktor utama banyaknya kerusakan jalan. Menurut Silaban, banjir rob di Jakarta

Utara sering menimbulkan genangan air laut di jalan setinggi 12cm (<https://metro.tempo.co>, 2019). Ica (<https://www.malangpostonline.com>, 2019) musim hujan hingga April 2019 mengakibatkan banyak kerusakan jalan di kota Malang yang sebagian besar jalannya menggunakan perkerasan lentur. Kerusakan jalan terjadi akibat adanya beban berlebih, selain berasal dari seringnya air yang menggenangi badan jalan. Genangan air dapat berasal dari air hujan atau air laut. Daerah pesisir sangat rentan dengan banjir rob, hal ini dikarenakan air yang masuk ke daerah pinggir pantai tidak langsung terserap oleh tanah. Serta, penggunaan perkerasan lentur juga mendominasi jalan di daerah pesisir.

Perkerasan kaku dapat menjadi solusi pengurangan genangan air yang ditimbulkan dari genangan air hujan dan air rob. Perkerasan ini menggunakan semen (PC) sebagai bahan pengikat, sehingga memiliki tingkat kekakuan yang relatif tinggi. Penggunaan semen sendiri semakin lama menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan bahan utama pembuat semen adalah gamping yang lambat laun semakin menipis. Penggunaan *geopolymer* sebagai bahan pengganti semen dapat menjadi solusi alternatif yang ramah lingkungan.

Geopolymer ditemukan oleh Prof. Davidovits, bentuk anorganik aluminium-silika yang disintesa dari material dengan kandungan Silika (Si) dan Alumina (Al) yang berasal dari alam atau material sampingan industri (Manuahe, R. et al., 2014). Beton *geopolymer* merupakan beton yang material utamanya mengandung banyak silika dan alumina tinggi yang direaksikan dengan alkali aktifator. Material yang paling sering dipakai sebagai bahan utama beton *geopolymer* adalah *fly ash*. *Fly ash* merupakan produksi sampingan (Limbah) dari industri yang memiliki kadar silika (Si) yang cukup tinggi. Silika (Si) dan Kalsium (CaO) merupakan

salah satu bahan utama yang dibutuhkan untuk memproduksi semen portland.

Fly ash dikategorikan sebagai bahan berbahaya, sehingga apabila akan digunakan sebagai bahan material harus di proses dahulu supaya kandungan zat berbahaya didalam *fly ash* dapat dikendalikan (PP. No. 101, 2014). Pengendalian zat berbahaya di dalam *fly ash* dapat dilakukan dengan geopolimerisasi. Seperti yang telah dilakukan Ekaputri, dkk. (2007), bahwa dengan proses *geopolymerization*, *fly ash* akan membentuk semacam penghalang untuk menjebak boron di dalam *fly ash*. Boron adalah unsur dalam *fly ash* yang dapat menimbulkan bahaya bagi manusia dan tanaman jika konsentrasi di alam cukup tinggi. Sehingga aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai material *geopolymer* mempunyai sifat yang keras, tahan terhadap cuaca, serangan kimia, suhu tinggi, dan apabila dicampur dengan pasir atau mineral lain dapat membentuk material yang menyerupai keramik (Davidovits 1999). Selain itu, *geopolymer* mempunyai sifat penting seperti porositas, kekerasan, dan kekuatan tekan (Neville, 2000). *Geopolymer* merupakan material baru dari jenis polimer anorganik yang disintesis secara geokimia, dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi bahan dasar yang digunakan adalah Aluminium (Al) dan Silika (Si). Bahan tersebut mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits, 2008). Kandungan kimia aluminium (Al) dan silika (Si) salah satunya terdapat dalam *fly ash* batu bara di PLTU. Sehingga untuk bisa menjadi material *geopolymer*, *fly ash* batu bara harus direaksikan menggunakan larutan kimia sebagai bahan campurannya.

Pemanfaatan *geopolymer* salah satunya dapat dijadikan sebagai *filler* dalam campuran aspal beton. Penelitian Ahyudanari, dkk. (2015) bahwa agregat kasar, agregat halus, aspal dan *filler geopolymer* dicampur menjadi

satu sesuai proporsi, kemudian dipadatkan menjadi perkerasan aspal beton. *Filler geopolymer* dibuat dari *fly ash* dicampur aktivator yang didiamkan mengeras selama 28 hari. Kemudian *geopolymer* ditumbuk sampai lolos saringan No. 200, dan hasil tumbukan tersebut digunakan sebagai *filler* pada campuran aspal beton. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa aspal beton *geopolymer* mempunyai stabilitas yang tinggi, tetapi disisi lain rongga yang terbentuk semakin besar.

Berdasarkan latar belakang tersebut, aplikasi beton *geopolymer* terhadap perkerasan kaku harus memiliki kinerja yang baik. Maka, perlu dilakukan penelitian beton *geopolymer* yang digunakan sebagai perkerasan kaku. Penelitian ini mencoba membuat campuran beton *geopolymer* dengan memodelkan campuran material yang menyesuaikan kondisi di pesisir pantai. *Geopolymer* tersusun atas *fly ash* dan aktivator, yaitu natrium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) dengan molaritas 8M. Diharapkan campuran beton *geopolymer* yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi dan memberikan kinerja yang baik untuk perkerasan kaku yang berada di pesisir pantai.

Penelitian ini bertujuan: (1) Untuk mengetahui proses peresapan air laut pada beton *geopolymer* pada perkerasan kaku, dan (2) Untuk mengetahui kuat tekan beton *geopolymer* pada perkerasan kaku.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Beton Geopolymer

Beton *geopolymer* adalah beton ramah lingkungan yang tidak menggunakan semen *Portland* sebagai bahan pengikatnya, melainkan menggunakan bahan-bahan sisa industri yang bersifat anorganik. Unsur-unsur geopolimer adalah bahan yang mengandung alumunia-silikat yang mampu bereaksi secara kimia dengan cairan alkaline pada temperatur tertentu untuk menghasilkan campuran yang menyerupai semen. Material yang sering digunakan saat ini adalah *fly ash* atau *risk*

hush ash. Larutan yang digunakan sebagai pelarut silicon dan alumunium yang memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi adalah larutan yang bersifat alkalis. Untuk mengikat material beton *geopolymer* dibutuhkan binder yang terdiri dari *fly ash* dan alkaline aktivator yang berupa sodiumslicate (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) (Yunanto, 2017).

a. Material Penyusun Beton Geopolymer

Menurut Prasetyo, G.B. (2015), material penyusun beton *geopolymer* meliputi:

- 1) *Fly ash* atau *risk hush ash* atau material lain pengganti semen.

Fly ash batubara mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan (Wardani, 2008).

Fly ash atau abu terbang merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Abu terbang mempunyai titik lebur sekitar $1300\text{ }^\circ\text{C}$ dan mempunyai kerapatan massa (*density*), antara $2.0 - 2.5\text{ g/cm}^3$. Abu terbang adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel halus, sedangkan abu yang tidak naik disebut *bottom ash*. Jenis-jenis abu terbang adalah sebagai berikut:

- a) Abu terbang tipe C, merupakan abu terbang yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignit* atau *sub-bituminous* batubara (batubara muda). Untuk abu terbang tipe C, kadar total dari SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$. Kadar CaO mencapai 10%. Dalam campuran beton, abu terbang yang digunakan sebanyak 15%-35% dari berat silinder.

- b) Abu terbang tipe F, merupakan abu terbang yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *antrasit* atau *bituminous* batubara. Abu terbang tipe F mempunyai kadar total dari SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ < 70%. Kadar CaO abu terbang tipe F < 5%. Dalam campuran beton, abu terbang yang digunakan sebanyak 15%-25% dari berat silinder
- 2) Alkaline aktivator (sodium silikat (Na₂SiO₃) dan sodium hidroksida (NaOH)), alkaline aktivator adalah suatu zat pereaksi. Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan sodium hidroksida berfungsi sebagai reaktor unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* untuk menghasilkan ikatan polimer yang kuat.
 - 3) Agregat, merupakan butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat pada beton terdiri dari agregat kasar (kerikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir).
 - 4) Air, dalam komposisi beton berfungsi sebagai bahan pengikat dan pelumas butir-butir agregat untuk mempermudah proses pengadukan beton (*workability*).

b. Metode Pembuatan Beton Geopolymer Menggunakan Fly Ash

Berdasarkan metode Rattanasak dan Chindaprasirt (2009) yang menggunakan bahan dasar *fly ash* tipe C, ada 2 cara yang dapat dilakukan: (1) Mencampurkan *fly ash*, pasir, larutan NaOH dan Na₂SiO₃ secara bersamaan dan kemudian diaduk selama 1 menit, dan (2) Dilakukan dengan melarutkan *fly ash* dan larutan NaOH selama 10 menit terlebih dahulu lalu biarkan mengalami pelepasan ion, kemudian ditambahkan larutan Na₂SiO₃ selama 1 menit baru setelahnya ditambahkan pasir dan diaduk selama 1 menit. Urutan pencampuran berpengaruh terhadap kuat tekan beton *geopolymer*, yang mana pencampuran secara terpisah menghasilkan

beton *geopolymer* yang sedikit lebih baik dari pencampuran biasa.

Junaid, et. al. (2015) memiliki 3 metode pencampuran *geopolymer* dengan bahan dasar *fly ash* tipe F. Metode pertama dengan mencampurkan *fly ash* dan pasir dalam keadaan kering kemudian ditambahkan larutan alkaline aktivator serta air lalu diaduk selama 3-5 menit. Metode kedua yang digunakan adalah dengan mencampurkan *fly ash* dan larutan NaOH selama 3 menit, kemudian tambahkan larutan Na₂SiO₃ dan diaduk selama 2 menit, setelahnya tambahkan agregat beserta air dan aduk selama 2 menit. Metode yang terakhir adalah dengan mencampurkan *fly ash* dalam keadaan kering dengan agregat dalam keadaan SSD kemudian ditambahkan larutan Na₂SiO₃ dan aduk selama 3 menit, setelahnya tambahkan larutan NaOH beserta air dan aduk selama 2 menit. Dari ketiga metode tersebut tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap kuat tekan *geopolymer*.

2.2 Air Laut

Air laut yang asin memiliki sifat korositas yang sangat agresif. Derajat keasaman air laut secara umum berkisar antara 8,2% hingga 8,4% dengan kandungan air sebanyak 96,5% dan material terlarut dalam bentuk molekul dan ion sebanyak 3,5%. Material yang terlarut dalam air sebesar 89% merupakan garam chlor dan 11% unsur-unsur lainnya. Sumber utama pembentukan garam di laut adalah pelapukan batuan di darat, gas vulkanik dan sirkulasi lubang-lubang hidrotermal di laut dalam. Jenis-jenis garam yang terkandung dalam air laut diantaranya adalah klorida, natrium, sulfat, magnesium, kalsium, bikarbonat, bromide, asam borak, strontinum dan florida. Beberapa hal penyebab keagresifan air laut adalah sebagai berikut:

1. Air laut merupakan elektrolit dengan sifat konduktivitas tinggi
2. Kandungan oksigen terlarut yang tinggi

3. Temperatur permukaan air laut yang umunya tinggi
4. Ion klorida yang terkandung dalam air laut tergolong ion agresif.

Menurut Muaya, G.S., dkk. (2015), dalam penelitiannya diperoleh kesimpulan bahwa terjadi penurunan nilai stabilitas pada perendaman air laut selama 24 jam yang berkisar antara 6,6%, kemudian pada perendaman air laut 48 jam sebesar 29,9%; terjadi peningkatan kelelahan pada perendaman air laut senilai 4,7mm hingga 7,24mm; selanjutnya juga terjadi penurunan nilai *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 8,882% - 20,061% pada perendaman air laut 24 jam dan sebesar 14,1% - 41,397% pada perendaman air laut 48 jam.

Air laut di daerah pesisir seringkali membuat perkerasan jalan cepat rusak sebelum umur rencana yang telah ditentukan. Berdasarkan penelitian tersebut, menunjukkan bahwa perkerasan lentur mudah rusak jika tergenang dengan air laut. Perkerasan kaku berasal dari beton bertulang yang dihamparkan, dengan kuat tekan yang lebih baik daripada perkerasan lentur. Namun, perkerasan kaku memiliki kekurangan pada proses peresapan air yang masih lambat. Oleh karenanya, perlu keterbaharuan penelitian yaitu menggunakan *geopolymer* pada campuran beton bertulang pada perkerasan kaku di daerah pesisir.

2.3 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, dengan beban gaya tekan tertentu yang menyebabkan beton hancur dalam pengujian. Kuat tekan beton tergantung pada perbandingan material yang digunakan, yakni perbandingan campuran antara semen atau agregat pengganti pada *geopolymer*, agregat kasar, agregat halus, dan air.

Manuahe, R., dkk. (2014) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa kuat tekan beton *geopolymer* mengalami peningkatan seiring penambahan waktu curing, kuat tekan maksimum terjadi saat

waktu curing berlangsung 24jam. Prasetyo, G.B. (2015) semakin tinggi nilai perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}= 4:2$ pada campuran, maka beton cenderung memiliki kuat tekan yang semakin tinggi. Alp., et.al (2009) metode curing direkomendasikan sebagai media perawatan beton *geopolymer*, metode ini mempengaruhi proses polimerisasi pada pasta *geopolymer*. Perawatan beton *geopolymer* juga dapat mempengaruhi hasil kuat tekan beton sendiri.

Mengingat komposisinya memanfaatkan *pozzolan* dari alam atau buatan sebagai material pengganti PC, memberikan nilai tambah beton ini. Secara umum berdasarkan beberapa rujukan tersebut, kuat tekan beton *geopolymer* memiliki hasil yang baik. Maka, beton *geopolymer* dapat menjadi pengganti beton konvensional serta diaplikasikan pada pekerjaan konstruksi (Oktaviastuti, B., dkk., 2019).

2.4 Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah suatu susunan konstruksi perkerasan dimana digunakan plat beton di lapisan atas pondasi atau di tanah dasar pondasi maupun langsung di atas tanah dasar (*subgrade*). Perkerasan kaku memiliki modulus elastisitas tinggi sehingga mampu mendistribusikan beban serara meluas pada subgrade atau tanah dasar. Faktor yang paling diperhatikan dalam perencanaan tebal perkerasan beton adalah kekuatan beton itu sendiri.

a. Jenis-Jenis Perkerasan Kaku

Jenis-jenis perkerasan berdasarkan sambungan dan tulangan pelat beton:

- 1) Perkerasan beton semen biasa dengan sambungan tanpa tulangan untuk kendali retak
- 2) Perkerasan beton semen dengan sambungan dan tulangan pelat untuk kendali retak. Digunakan *wiremesh* diantara siar yang penggunaannya independen terhadap adanya tulangan dowel.
- 3) Perkerasan beton bertulang menerus (tanpa sambungan) yang tulangannya terdiri dari baja tulangan dengan persentase besi yang

relatif banyak yakni 0.02% dari luas penampang beton. Perkerasan tipe ini adalah yang paling banyak digunakan.

b. Persyaratan Umum Perkerasan Kaku

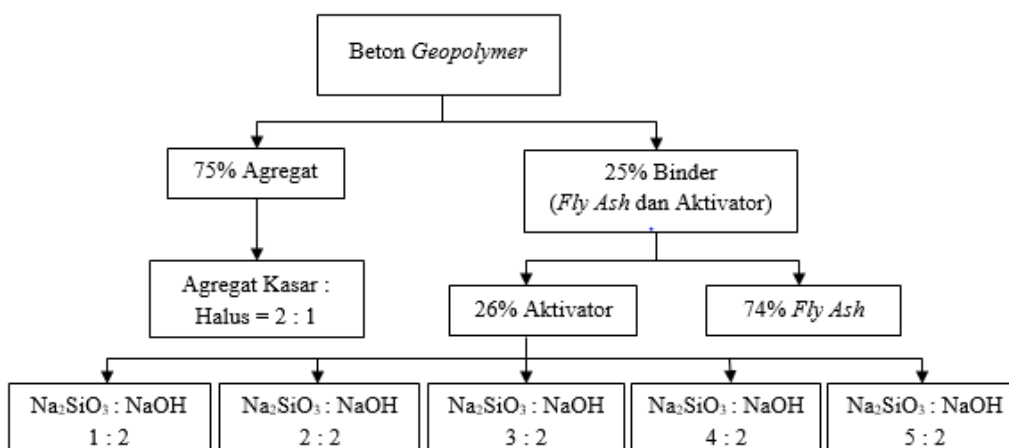
- 1) Tanah dasar. Daya dukung tanah ditentukan oleh CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989 atau CBR Laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama ataupun perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar memiliki nilai CBR < 2%, maka digunakan pondasi bawah dari beton kurus setebal 15 cm sehingga tanah dianggap memiliki CBR 5%. Bahan pondasi bawah biasanya menggunakan bahan berbutir.
- 2) Beton semen. Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tekan umur 28 hari, dari hasil pengujian balok dengan pembebanan 3 titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 MPa (30-50 kg/cm²).
- 3) Lalu lintas
- 4) Bahu jalan
- 5) Sambungan. Memiliki fungsi sebagai: (a) Pembatas tegangan dan pengendali retak akibat penyusutan, pengaruh lenting dan beban lalu lintas; (b) Memudahkan pelaksanaan; dan (c) Mengakomodasi gerakan pelat.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, dengan rancangan penelitian eksperimen yang akan menggali data mengenai aplikasi beton *geopolymer* pada perkerasan jalan di daerah pesisir pantai. Penelitian dilaksanakan pada daerah pesisir pacitan tepatnya di Desa Jetak, Kecamatan Tulakan. Sedangkan eksperimen benda uji dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang.

Tahap awal yang perlu dilakukan adalah merencanakan campuran beton. Mengacu pada penelitian Prasetyo, G.B. (2015) kebutuhan bahan didapat menurut perbandingan massa benda uji. Pada penelitian ini perbandingan agregat dengan *binder* pada campuran beton adalah 75%:25%, 70%:30%, dan 65%:35%. Gambar 3.2 merupakan diagram alir *mix design* untuk beton *geopolymer* 75%:25%.

Benda uji yang sudah siap, kemudian direndam pada air laut dan air PDAM untuk melihat tingkat peresapan dan korosifitasnya. Selanjutnya dilaksanakan uji kuat tekan pada benda uji, menggunakan perhitungan sesuai Metode Pengujian Kuat Tekan Beton berdasarkan SNI 03-1794-1990.



Gambar 3.2 Diagram Alir Mix Beton Geopolymer

Sumber: Prasetyo, G.B. (2015)

4. Analisis dan Pembahasan

4.1 Pemeriksaan Agregat Halus

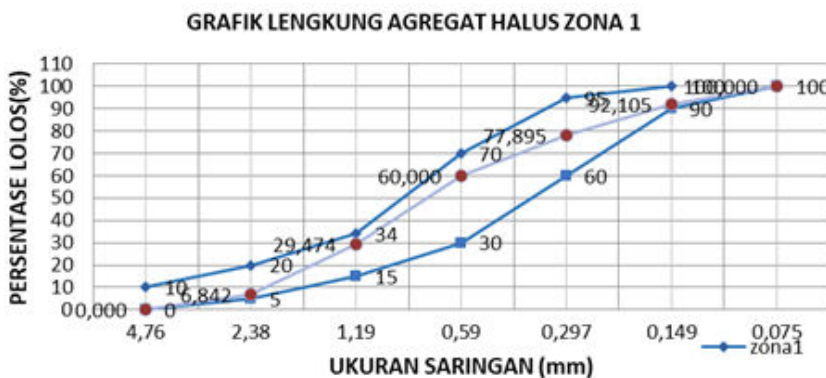
Hasil pemeriksaan agregat halus yang telah dilaksanakan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa agregat

halus yang digunakan dalam campuran beton sudah memenuhi syarat. Hal ini juga diperjelas pada gambar grafik hubungan ukuran ayakan dengan persen butir lolos agregat halus.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Persyaratan	Standar SNI	Keterangan
Pemeriksaan SSD (<i>Saturated Surface Dry</i>)	1,47	< 3,8	-	Memenuhi syarat
Berat jenis:				
1. Berat jenis kering (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	2,74	-	SNI 03-1970-1990	
2. Berat jenis kering permukaan (SSD)	2,86	-	SNI 03-1970-1990	
3. Berat jenis semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	3,10	-	SNI 03-1970-1990	
Absorption %	4,17%	< 5%	SNI 03-1970-1990	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	2,56%	< 5%	-	Memenuhi syarat
Gradasi pasir	Daerah I	Daerah I	SNI 03-2384-1992	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	2,34	1,5-3,8	-	Memenuhi syarat

Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 4.1. Hubungan antara Ukuran Ayakan dengan Persen Butir Lolos untuk Agregat Halus
 Sumber: Hasil Analisis, 2020

4.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar yang telah dilaksanakan dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan dalam

campuran beton, sudah memenuhi syarat. Hal ini juga diperjelas pada gambar grafik hubungan ukuran ayakan dengan persen butir lolos agregat halus.

Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Persyaratan	Standar SNI	Keterangan
Berat jenis:				
1. Berat jenis kering (Bulk Specific Gravity)	3,10	-	SNI 03-1970-1990	-
2. Berat jenis kering permukaan (SSD)	3,18	-	SNI 03-1970-1990	-
3. Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)	3,38	-	SNI 03-1970-1990	-
Absorption %	2,67%	< 3%	SNI 03-1970-1990	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	7,69	5-8	-	Memenuhi syarat

Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 4.2 Hubungan antara Ukuran Ayakan dengan Persen Butir Lolos untuk Agregat Kasar
 Sumber: Hasil Analisis, 2020

4.3 Hasil Pengujian Fly Ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sisa pembakaran batu bara. Pengujian terhadap fly ash dilakukan untuk mengetahui kandungan kimia dari fly ash. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Kandungan Kimia Fly Ash

No.	Komposisi Kimia	Persentase (%)
1	SiO ₂	45,17
2	Al ₂ O ₃	20,1
3	Fe ₂ O ₃	10,8
4	TiO ₂	0,92
5	CaO	13,32
6	MgO	2,73
7	K ₂ O	1,69
8	Na ₂ O	0,98
9	P ₂ O ₅	0,41
10	SO ₃	1,00

11	MnO ₂	0,08
----	------------------	------

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Dari tabel diatas, kadar (SiO₂+Fe₂O₃+Al₂O₃) sebesar 76,07%. Batas (SiO₂+Fe₂O₃+Al₂O₃) kelas C minimal 50% dan kelas F (SiO₂+Fe₂O₃+Al₂O₃) minimal 70%. Maka dapat disimpulkan fly ash pada penelitian ini termasuk pada kelas F (ACI Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3).

4.4 Perencanaan Campuran Adukan Beton

Pada kegiatan ini akan dilakukan pembuatan campuran adukan beton. Tahapan ini bertujuan untuk mempersiapkan benda uji sebelum proses pengujian kuat tekan beton. Kebutuhan bahan didapat menurut perbandingan massa benda uji.

Berdasarkan Tabel 4.4, perencanaan campuran adukan beton *geopolymer* untuk setiap sampel, air yang digunakan dalam pencampuran di lapangan mungkin berbeda dengan air dalam perencanaan awal campuran beton *geopolymer*. Ini bisa terjadi karena tingkat kesulitan dalam adukan beton

geopolymer itu sendiri, dan karena pengaruh kondisi di laboratorium. Maka, dalam campuran adukan setiap sampel di laboratorium, kebutuhan air bisa dikurangi 5% atau ditambahkan 5% dari perencanaan awal campuran beton *geopolymer*.

Tabel 4.4 Perencanaan Campuran Adukan Beton Geopolymer untuk Setiap Sampel

BETON	Aktivator	NaOH (kg)	Na ₂ SiO ₃ (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Fly Ash (kg)	Air
75:25	1:2	0,551	0,275	3,189	6,362	2,355	0,624
	2:2	0,413	0,413	3,189	6,362	2,355	0,624
	3:2	0,331	0,496	3,189	6,362	2,355	0,624
	4:2	0,275	0,551	3,189	6,362	2,355	0,624
	5:2	0,236	0,591	3,189	6,362	2,355	0,624
70:30	1:2	0,661	0,331	2,969	5,938	2,824	0,747
	2:2	0,496	0,496	2,969	5,938	2,824	0,747
	3:2	0,397	0,595	2,969	5,938	2,824	0,747
	4:2	0,331	0,661	2,969	5,938	2,824	0,747
	5:2	0,284	0,708	2,969	5,938	2,824	0,747
65:35	1:2	0,771	0,386	2,749	5,513	3,296	0,857
	2:2	0,580	0,580	2,749	5,513	3,296	0,857
	3:2	0,463	0,694	2,749	5,513	3,296	0,857
	4:2	0,386	0,771	2,749	5,513	3,296	0,857
	5:2	0,330	0,828	2,749	5,513	3,296	0,857

Sumber: Hasil Analisis, 2020

5. Kekentalan Adukan Beton

Pengujian *slump* bertujuan untuk mengetahui kekentalan campuran beton sehingga memenuhi persyaratan yang diinginkan. Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan kerucut Abram's yang memiliki diameter bawah 20cm dan diameter atas 10cm, serta memiliki tinggi 30cm. Nilai *slump* yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Slump

Perbandingan agregat dengan binder	Perbandingan aktivator	Nilai <i>slump</i> (cm)
75 : 25	1:2	6,5
	2:2	6,3
	3:2	15
	4:2	15,2
	5:2	17,5
70 : 30	1:2	6,5
	2:2	6,4

65 : 35	3:2	17,3
	4:2	15
	5:2	17,8
	1:2	8
	2:2	7,8
	3:2	17,8
	4:2	16,4
	5:2	18

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Berdasarkan Tabel 5.1, menunjukkan bahwa kandungan *fly ash* semakin tinggi maka nilai *slump* juga semakin tinggi, hal ini disebabkan karena pengaruh kadar air yang digunakan dalam campuran ini didapat berdasarkan berat *fly ash* yang digunakan oleh masing-masing variasi. Jadi apabila berat *fly ash* semakin tinggi, maka kebutuhan air juga semakin tinggi dan mengakibatkan nilai *slump* juga semakin tinggi.

6. Hasil Pemeriksaan Berat Volume

Hasil perhitungan berat volume rata-rata dapat dilihat pada tabel 6.1. Hubungan antara perbandingan aktivator dan berat

volume beton *geopolymer* digambarkan sesuai gambar 6.1.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rasio

aktivator, berat volume beton cenderung semakin tinggi. Hal ini terlihat pada gambar 6.1 yang menunjukkan berat volume tertinggi pada perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$.

Tabel 6.1 Data Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton Geopolymer

Perbandingan agregat dengan binder	Perbandingan Aktivator	Volume (cm ³)	Berat (gr)	Berat Volume (gr/cm ³)
75:25	1:2	3375	7335	2,173
	2:2		7030	2,083
	3:2		7129	2,112
	4:2		7132	2,113
	5:2		7254	2,149
70:30	1:2	3375	7195	2,128
	2:2		7030	2,083
	3:2		7210	2,136
	4:2		7144	2,117
	5:2		7345	2,176
65:35	1:2	3375	6854	2,031
	2:2		6914	2,049
	3:2		6867	2,035
	4:2		6899	2,044
	5:2		6845	2,028

Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 6.1. Hubungan Aktivator dan Berat Volume
Sumber: Hasil Analisis, 2020

7. Pengujian Kuat Tekan Beton

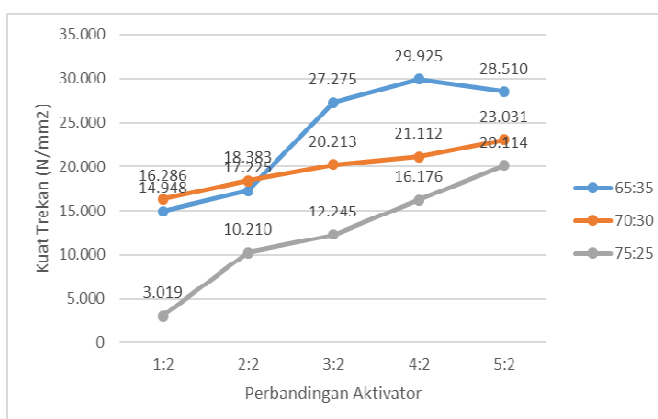
Uji kuat tekan beton dilaksanakan pada saat beton berusia 28 hari dengan menggunakan alat *compression testing machine*. Curing beton dilakukan dengan merendam benda uji dengan air PDAM dan

air laut. Perendaman dilakukan menggunakan 2 jenis air yang bertujuan melihat dampak korosifitas yang terjadi pada beton *geopolymer*. Hasil pengujian yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 7.1. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan dengan Perendaman Air PDAM

Perbandingan agregat dengan binder	Perbandingan aktivator	Perendaman	Luas Permukaan (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (N/mm ²)
75 : 25	1:2	Air PDAM	17672	52400	3.019
	2:2			198200	10.210
	3:2			216400	12.245
	4:2			251600	16.176
	5:2			355200	20.114
70 : 30	1:2	Air PDAM	17672	287800	16.286
	2:2			318200	18.383
	3:2			357200	20.213
	4:2			389100	21.112
	5:2			407000	23.031
65 : 35	1:2	Air PDAM	17672	245000	14.948
	2:2			269200	17.225
	3:2			482000	27.275
	4:2			509700	29.925
	5:2			493100	28.510

Sumber: Hasil Analisis, 2020



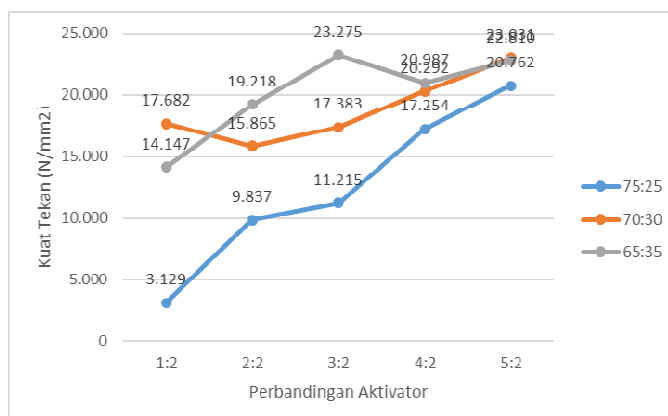
Gambar 7.1. Hubungan Aktivator dan Kuat Tekan dengan Perendaman Air PDAM

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Tabel 7.2. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan dengan Perendaman Air Laut

Perbandingan agregat dengan binder	Perbandingan aktivator	Perendaman	Luas Permukaan (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (N/mm ²)
75 : 25	1:2	Air laut	17672	55300	3.129
	2:2			112200	9.837
	3:2			212200	11.215
	4:2			298200	17.254
	5:2			366900	20.762
70 : 30	1:2	Air laut	17672	297800	17.682
	2:2			285200	15.865
	3:2			307200	17.383
	4:2			356100	20.292
	5:2			407000	23.031
65 : 35	1:2	Air laut	17672	250000	14.147
	2:2			326200	19.218
	3:2			423100	23.275
	4:2			395300	20.987
	5:2			403100	22.810

Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 7.2. Hubungan Aktivator dan Kuat Tekan dengan Perendaman Air Laut
 Sumber: Hasil Analisis, 2020

Berdasarkan tabel dan gambar diatas, menunjukkan bahwa kuat tekan beton dengan perendaman menggunakan air PDAM untuk perbandingan 75:25 dan 70:30 aktivator 5:2 memiliki hasil lebih besar, sedangkan perbandingan 65:35 aktivator 4:2 yang memiliki hasil paling tinggi. Sementara itu, untuk perendaman air laut perbandingan 75:25 dan 70:30 aktivator 5:2 memiliki hasil lebih besar, sedangkan perbandingan 65:35 aktivator 3:2 yang memiliki hasil paling tinggi.

Maka, berdasarkan hasil tersebut disimpulkan bahwa semakin tinggi perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$ yang digunakan dalam campuran, akan terdapat kecenderungan semakin tinggi hasil kuat tekan yang dihasilkan. Serta, perendaman menggunakan air laut memiliki hasil kuat tekan yang lebih tinggi daripada perendaman menggunakan air PDAM. Hasil ini sesuai dengan penelitian Ekaputri, dkk. (2007) bahwa sifat mekanik beton *geopolymer* memiliki kuat tekan tertinggi dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 4:2$. Selanjutnya, penelitian Prasetyo, G.B. (2015) bahwa kuat tekan beton *geopolymer* dengan *fly ash* memiliki kuat tekan tertinggi dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$.

8. Hasil Perendaman

Pada penjelasan sebelumnya telah diuraikan bahwa sampel benda uji melalui perendaman dengan air PDAM dan air laut untuk melihat korosifitas yang terjadi pada tulangan beton. Benda uji yang digunakan untuk melihat korosifitas merupakan perkerasan kaku dengan ukuran 30cm x 30cm dan tinggi 15cm. Tulangan yang dipergunakan Ø10 serta memiliki jarak antar tulangan 20cm. Saat pelaksanaan, benda uji beton *geopolymer* tersebut akan direndam dalam air laut dan air PDAM selama 28 hari. Berikut ini merupakan gambar hasil perendamannya:



Gambar 8.1. Perbandingan 75:25 Aktivator 1:2 dengan Perendaman Air Laut



Gambar 8.2. Perbandingan 75:25 Aktivator 1:2 dengan Perendaman Air PDAM

Berdasarkan gambar perkerasan diatas, disimpulkan bahwa baik dalam perendaman air laut maupun air pdam, tingkat korosifitas pada tulangan sangat minim. Hal ini terjadi disebabkan oleh adanya tambahan zat aditif pada material beton *geopolymer*. Sesuai dengan hasil penelitian Prayuda, H. dan Pujianto, A. (2018) jenis air dalam perendaman beton memiliki kontribusi positif jika digunakan bersamaan dengan semen berkualitas bahan aditif yang baik, serta hasil kuat tekan yang diperoleh dengan perendaman air laut lebih besar dibandingkan kuat tekan dengan perendaman air tawar. Wedhanto, S. (2017) jenis semen tipe I relatif tahan terhadap air laut selama perendaman 28 hari dan memiliki hasil kuat tekan yang lebih besar.

9. Kesimpulan dan Saran

9.1 Kesimpulan

- Peresapan air laut dan air PDAM pada benda uji perkerasan kaku beton *geopolymer* menghasilkan tingkat korosifitas pada tulangan sangat minim. Hal ini terjadi disebabkan oleh adanya tambahan zat aditif pada material beton *geopolymer*.
- Kuat tekan beton *geopolymer* dengan perendaman menggunakan air laut menghasilkan nilai lebih signifikan dibandingkan beton *geopolymer* dengan perendaman air PDAM.

9.1 Saran

- Perlu kajian lebih lanjut mengenai aplikasi beton *geopolymer* untuk daerah pesisir pantai dengan penambahan *fly ash*
- Selama pelaksanaan pembuatan beton *geopolymer*, sebaiknya menggunakan

perlengkapan pelindung diri, mengingat *fly ash* dan zat aditif yang digunakan berbahaya.

- Teknik pencampuran pada penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan mesin agar lebih aman dan sesuai *setting time* nya

10. Daftar Pustaka

- Silaban, Martha Warta. 2019. Peristiwa Jakarta Dini Hari, Kebakaran Gudang dan Banjir Rob. (Online), (<https://metro.tempo.co>), diakses tanggal 20 November 2019.
- Ica., dkk. 2019. Rigid Pavement Solusi Jalanan Kota Malang. (online). <https://www.malangpostonline.com>, diakses 13 Agustus 2019.
- R. Manuahe *et al.*, “Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang,” *J. Sipil Statik*, 2014, doi: 10.5614/jts.2013.20.1.1.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 101. 2014. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun.
- J. J. Ekaputri and O. Damayanti, “Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif,” *J. Pondasi*, 2007.
- J. Davidovits, “Chemistry of geopolymeric systems, terminology,” in *Second International Conference on Geopolymer*, 1999.
- Neville, A. M. (2000). *Properties of Concrete*, Prentice Hall.
- Davidovits, J. 2008. *Geopolymer: Chemistry and Applications*. Perancis: Geopolymer Institute.
- Yunanto, A. dan Trinugroho, S. 2017. *Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Variasi Berat Agregat dan Binder Pada Umur Beton 21 dan 28 Hari*. Tugas Akhir. Surakarta: Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- G. B. Prasetyo, S. Trinugroho, and M. Solikin, “Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen,” *Naskah Publ.*, 2015, doi: 10.1016/j.edurev.2009.12.002.
- Wardani, Sri Prabandiyani Retno. 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah* Maupun

- Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan. Semarang: Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- [12] Rattanasak, U., and Chindaprasirt P. 2009. *Influence of NaOH solution on the synthesis of Fly Ash Geopolymer*. Minerals Engineering. 22, (12), 1073-1078.
- [13] Junaid, M.T., et al. 2015. *A Mix Design Procedure for Low Calcium Alkali Activated Fly Ash-Based Concretes*. Construction and Building Materials.79, (March), 301-210.
- [14] Muaya, G.S., Kaseke O.H. dan Manoppo M.R.E. 2015. *Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal Oleh Air Laut Yang Ditinjau Terhadap Karakteristik Marshall*. Jurnal Sipil Statik. 03, (08), 562-570.
- [15] Alp, I., Deveci, H., Sungun, Y.H., Yilmaz, A.O., Kesimal, A., and Yilmaz, E. 2009. Pozzolanic Characteristic Of a Natural Raw Material for Use In Blended Cements. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B, Engineering*, Vol. 33, No. B4, pp 291-300.
- [16] Oktaviastuti, B., Leliana, A., dan Rahma, P.D. 2019. *Beton Geopolimer Sebagai Alternatif Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Ramah Lingkungan*. Jurnal SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur), 2: 1-5.
- [17] Anonim. Metode Pengujian CBR Laboratorium (SNI 03-1744-1989). Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- [18] Annual Book of ASTM Standart, Destignation C 78 – 94. *Standart Practice for Making and Curing Concrete Test Specimen in Laboratory*.
- [19] SNI 03-1794-1990 Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton
- [20] H. Prayuda and A. Pujiyanto, “Pengaruh Perawatan (Curing) Perendaman Air Laut Dan Air Tawar Terhadap Kuat Tekan Beton,” *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 22, pp. 130–139, 2018, doi: 10.24843/JITS.2018.v22.i02.p07.
- [21] S. Wedhanto, “Pengaruh air laut terhadap kekuatan tekan beton yang terbuat dari berbagai merk semen yang ada di kota malang,” *J. Bangunan*, 2017.