

ANALISIS SIFAT MEKANIK BETON *GEOPOLYMER* BERBAHAN DASAR *FLY ASH* PLTU PANGKALAN SUSU

Muhammad Fakhru Rozi, Johannes Tarigan dan Ahmad Perwira
Universitas Sumatera Utara, Indonesia
Email: mfakhrurazi888@gmail.com, johannes.tarigan@usu.ac.id dan
a.perwira@usu.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima
24 Agustus 2020
Diterima dalam bentuk revisi
Diterima dalam bentuk revisi

Kata kunci:
Beton geopolymer, fly ash
dan sifat mekanik

ABSTRAK

Dalam proses produksi semen *portland* terjadi pelepasan karbon dioksida (CO₂) yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca, produksi satu ton *portland* mengakibatkan terjadinya pelepasan karbon dioksida sebesar satu ton di atmosfer. Untuk mengatasi efek buruk yang merusak lingkungan ini, maka diperlukan material lainnya sebagai pengganti semen *portland* untuk digunakan pada campuran beton sehingga didapatkan beton yang ramah lingkungan. Beton *geopolymer* merupakan salah satu solusi yang baik. Beton *geopolymer* adalah campuran beton yang menggunakan *fly ash* sisa pembakaran batubara sebagai pengganti semen sebagai bahan pengikat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa kimia dan sifat mekanik beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* PLTU Pangkalan Susu dengan larutan alkalin 8M dan perbandingan agregat dan binder adalah 70%:30% . Hasil dari penelitian yang telah dilakukan adalah *fly ash* PLTU Pangkalan Susu merupakan *fly ash* kelas C yang mengandung 34,81% SiO₂, 25,39% CaO, 14,92% Al₂O₃, 16,49% Fe₂O₃ dan 4,92% MgO dengan total senyawa SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ adalah 66,22%. *Fly ash* kelas C termasuk *fly ash* yang dapat digunakan sebagai campuran beton *geopolymer* menurut ASTM-C618. Kuat tekan beton *geopolymer* 28 hari yang dihasilkan adalah 28,5 MPa dan kuat tarik 28 hari adalah 6,83 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa beton *geopolymer* ini dapat digunakan dalam aplikasi konstruksi di lapangan dan penggunaan *fly ash* PLTU Pangkalan Susu sebagai pengganti semen dapat mengurangi penggunaan semen yang menyebabkan pencemaran lingkungan dan mengurangi limbah hasil industri..

Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang populer digunakan, dalam pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan raya, dan lain-lain. Konsumsi dunia terhadap beton diperkirakan sekitar 8,8 juta ton setiap tahun, dan kebutuhan material ini akan meningkat setiap tahunnya (Mehta, 2001). Beton merupakan material tersusun dari komposisi utama agregat kasar, agregat halus, air dan pengikat yakni semen portland.

Dalam proses produksi semen *portland* terjadi pelepasan karbon dioksida (CO₂) yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca, produksi satu ton portland mengakibatkan terjadinya pelepasan karbon dioksida sebesar satu ton di atmosfer. Untuk mengatasi efek buruk yang merusak lingkungan ini, maka diperlukan material lainnya sebagai pengganti semen portland untuk digunakan pada campuran beton sehingga didapatkan beton yang ramah lingkungan.

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

Abu terbang (*fly ash*) merupakan salah satu material hasil sampingan industri yang dapat digunakan untuk membuat bahan pengikat pada beton *geopolymer*. *Geopolymer* merupakan bahan atau material yang berupa anorganik yang disintesa melalui proses polimerisasi. Terminologi *geopolymer* pertama kali digunakan oleh profesor Davidovits pada tahun 1978 untuk menjelaskan tentang mineral polymer yang dihasilkan melalui geochemistry (J. (1988) Davidovits, 1988). Abu terbang atau *fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik (Gedung, 2002). Sedangkan menurut ASTM C-618, *fly ash* didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. Hasil pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan untuk memperbaiki kinerja beton. Material ini tersedia sangat banyak tapi penggunaannya masih sangat terbatas. Sedangkan apabila *fly ash* ini dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran pada air, tanah dan udara karena mengandung elemen beracun seperti arsenik, vanadium, antimony, boron dan chromium meskipun kandungannya hanya sedikit. Salah satu cara agar material tersebut tidak terkontaminasi lingkungan adalah dengan menggunakannya sebagai bahan pengganti sebagian semen portland atau mengganti secara keseluruhan dalam pembuatan beton.

PLTU Pangkalan Susu merupakan salah satu industri listrik Indonesia yang menghasilkan *fly ash* dalam jumlah besar akibat hasil dari aktivitas pembakaran batubaranya. Setiap harinya PLTU Pangkalan Susu menghasilkan limbah *fly ash* hingga 1 ton dan belum ada penanganan khusus terhadap pemanfaatan atau pengolahannya.

Beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* terbentuk dari reaksi polimerisasi akibat raksi alkali-aluminosilikat yang menghasilkan material kuat berstruktur seperti zeolit (Joseph Davidovits, 2005). Dalam campurannya, sumber silika dan alumina direaksikan dengan larutan alkali sebagai aktivatornya. Untuk itu, diperlukan komposisi aktivator

yang tepat sehingga bisa membentuk pasta *geopolymer* untuk mengikat agregat menjadi beton *geopolymer*. Aktivator yang umumnya digunakan adalah campuran Na_2SiO_3 dan NaOH dengan konsentrasi 8M sampai 14M. Perbandingan antara Na_2SiO_3 dan NaOH bisa diambil 0,4 sampai 2,5 (Hardjito, 2004).

Melakukan penelitian sifat mekanik beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* Jawa Power Paiton sebagai pengganti semen. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan komposisi campuran beton *geopolymer* yang tepat untuk menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Adapun kesimpulan dari penelitian tersebut adalah semakin tinggi molaritas yang digunakan maka semakin tinggi kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan (Ekaputri & Damayanti, 2007).

Melakukan analisa sifat mekanik beton *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* dan lumpur porong kering sebagai pengisi. Dari hasil penelitian terlihat bahwa molaritas larutan aktifator dan persentase penambahan air mempengaruhi sifat mekanik beton *geopolimer* lumpur. Secara umum, semakin besar molaritas dan semakin sedikit persentase penambahan air pada campuran akan memberikan karakteristik beton yang lebih tinggi (Ekaputri & Triwulan, 2013).

Melakukan penelitian kuat tekan beton dengan aditif *fly ash ex* PLTU Mpanau Tavaeli. Penelitian ini memvariasikan bahan tambah abu terbang antara 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% sebagai bahan tambah. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa beton dengan penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambah dalam campuran beton mengalami peningkatan kuat tekan antara 5,099%, 9,473%, 12,103%, 14,034%, dan 15,347% dari beton normal (Suarnita, 2011).

Dalam skripsinya tentang studi literatur pengaruh konsentrasi NaOH dan rasio $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$, rasio air/prekursor, suhu curing dan jenis prekursor terhadap kuat tekan beton *geopolymer* (Septia, 2011). Analisa dilakukan berdasarkan data yang sudah dikelompokkan berdasarkan 4 faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton *geopolimer* yaitu konsentrasi NaOH dan rasio $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$, rasio air/prekursor, suhu curing dan suhu prekursor yang digunakan. Hasil penelitian dari data-data yang telah dikelompokkan kedalam empat kategori tersebut dianalisa dengan cara membandingkan hasil penelitian yang ditinjau dengan dasar teori tentang *geopolymer* dan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil penelitian-penelitian yang ditinjau dalam studi literatur ini, menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH dan rasio massa $\text{NaOH}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ yang optimum, rasio prekursor yang optimum dan suhu *curing* yang lebih tinggi akan menghasilkan beton *geopolymer* dengan kuat tekan paling tinggi. Namun pengaruh faktor jenis prekursor pada penelitian yang ditinjau pada studi literatur ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* tipe C sebagai prekursor menghasilkan mortar *geopolimer* dengan kuat tekan yang lebih tinggi daripada mortar *geopolymer* yang menggunakan *fly ash* tipe F sebagai prekursor. Hasil penelitian yang bertentangan dengan dasar teori yang ada ini dapat disebabkan oleh pengaruh faktor dominan lain seperti suhu curing dan kandungan atom Si pada *geopolymer*.

(Ekaputri & Triwulan, 2013) melakukan penelitian sifat mekanik beton *geopolymer* dengan material substitusi *fly ash* dengan larutan Na_2SiO_3 dan NaOH

sebagai bahan aktivatornya. Berdasarkan hasil penelitian didapat bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh konsentrasi NaOH, perbandingan Na_2SiO_3 terhadap larutan NaOH dan penyusunan material dasar bindernya.

(Abraham, 2013) melakukan eksperimen untuk menentukan dan membandingkan perilaku lentur balok *geopolymer* (GPC) dengan balok beton konvensional yang sama kelasnya. Sebanyak dua puluh balok yang terdiri dari dua belas spesimen balok GPC dan delapan spesimen balok PCC dianalisis dalam penelitian ini. Balok dirancang sebagai di bawah yang diperkuat dengan rasio tulangan tarik 0,55%, 0,83%, 1,02% dan 1,3%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton *geopolymer* menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan beton konvensional dengan grade yang sama.

Dalam tulisannya menjelaskan bahwa ia telah melakukan penelitian mengenai pengaruh perawatan dan umur terhadap kuat tekan beton *geopolymer* berbasis abu terbang. Adapun hasil yang disimpulkan dalam tulisan ini adalah tipe perawatan sangat mempengaruhi perkembangan kekuatan tekan beton, dimana perawatan pada temperatur ruang menghasilkan beton dengan perkembangan kekuatan yang lebih lambat terutama pada umur-umur muda sampai dengan 3 bulan. Sedangkan perawatan pada *elevated* temperatur yaitu pada temperatur 600C selama 24 jam menunjukkan bahwa tekan beton yang diharapkan dapat dicapai selama proses perawatan selesai (Wallah, 2014).

Dalam jurnalnya menjelaskan analisisnya mengenai kuat tarik belah beton *geopolymer* berbasis *fly ash*. Pada penelitian ini, kuat tarik beton pada umur tujuh hari diuji melalui tes kuat tarik belah. Material yang digunakan adalah abu terbang asal PLTU Amurang, sodium silikat, sodium hidroksida dengan konsentrasi 8M, dan superplastisizer viscocrete-10. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa semakin lama *curing time* maka semakin besar kuat tarik yang dihasilkan (Putra, 2015).

Melakukan eksperimen dengan membandingkan nilai kuat tekan yang dihasilkan oleh mortar *geopolymer* yang dibuat dengan prosedur yang berbeda-beda. Adapun hasil dari eksperimen tersebut yaitu metode pembuatan atau pencampuran mortar *geopolymer* yang berbeda akan menghasilkan kuat tekan yang berbeda pula (Surja et al., 2017).

Sebelum penelitian ini dilaksanakan, telah dilakukan penelitian awal terkait komposisi senyawa kimia yang dikandung oleh *fly ash* hasil aktivitas PLTU Pangkalan Susu dan pengujian trial mortar *geopolymer* berbahan dasar *fly ash* tersebut. Berdasarkan hasil uji XRF *fly ash* Pangkalan Susu termasuk kedalam *fly ash* kelas C. Hasil uji kuat tekan mortar *geopolymer* maksimum yang didapatkan dari hasil pengujian trial adalah 34,9 MPa.

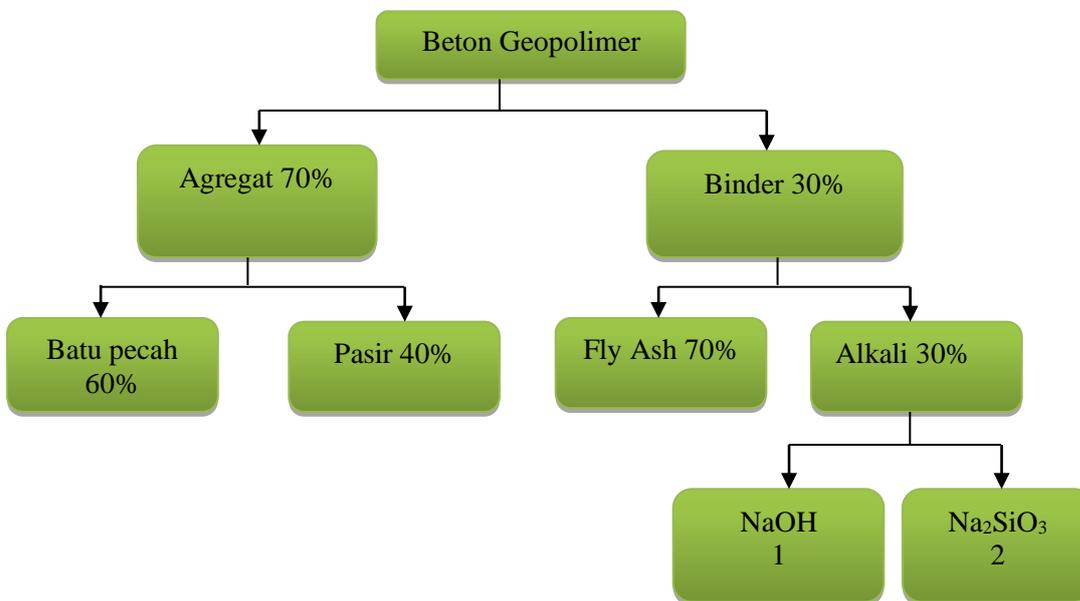
Atas dasar uraian diatas, maka dilakukan penelitian terhadap *fly ash* hasil aktivitas PLTU Pangkalan Susu yang akan digunakan sebagai pengganti penggunaan semen dalam campuran beton dengan harapan membentuk campuran beton *geopolymer* yang mempunyai kekuatan yang tidak kurang daripada beton semen portland.

Metode Penelitian

Sebelum penelitian dilakukan, telah dilaksanakan pengujian trial mortar *geopolymer* menggunakan *fly ash* PLTU Pangkalan Susu yang dilarutkan dengan alkali

dengan konsentrasi yang bervariasi untuk menentukan konsentrasi alkali yang akan digunakan pada beton *geopolymer*. Pengujian dilakukan menggunakan alkali dengan konsentrasi 6 M, 8 M, dan 10 M dengan massa yang sama. Pencampuran *fly ash* Pangkalan Susu dengan alkalin 6 M memberikan hasil yang terlalu encer sedangkan pencampuran *fly ash* dengan alkali 10 M tidak dapat dilakukan. Hal tersebut dikarenakan alkali terlalu kental sehingga tidak terjadi pencampuran yang baik antara *fly ash* dan alkali. Dengan demikian maka konsentrasi alkali yang akan digunakan adalah alkali 8 M.

Komposisi campuran beton *geopolymer* direncanakan berdasarkan pendekatan terhadap penelitian sebelumnya dan hasil pengujian trial yang telah dilakukan. Adapun detail komposisi campuran material beton *geopolymer* yang digunakan, disajikan dalam bagan pada Gambar 1.



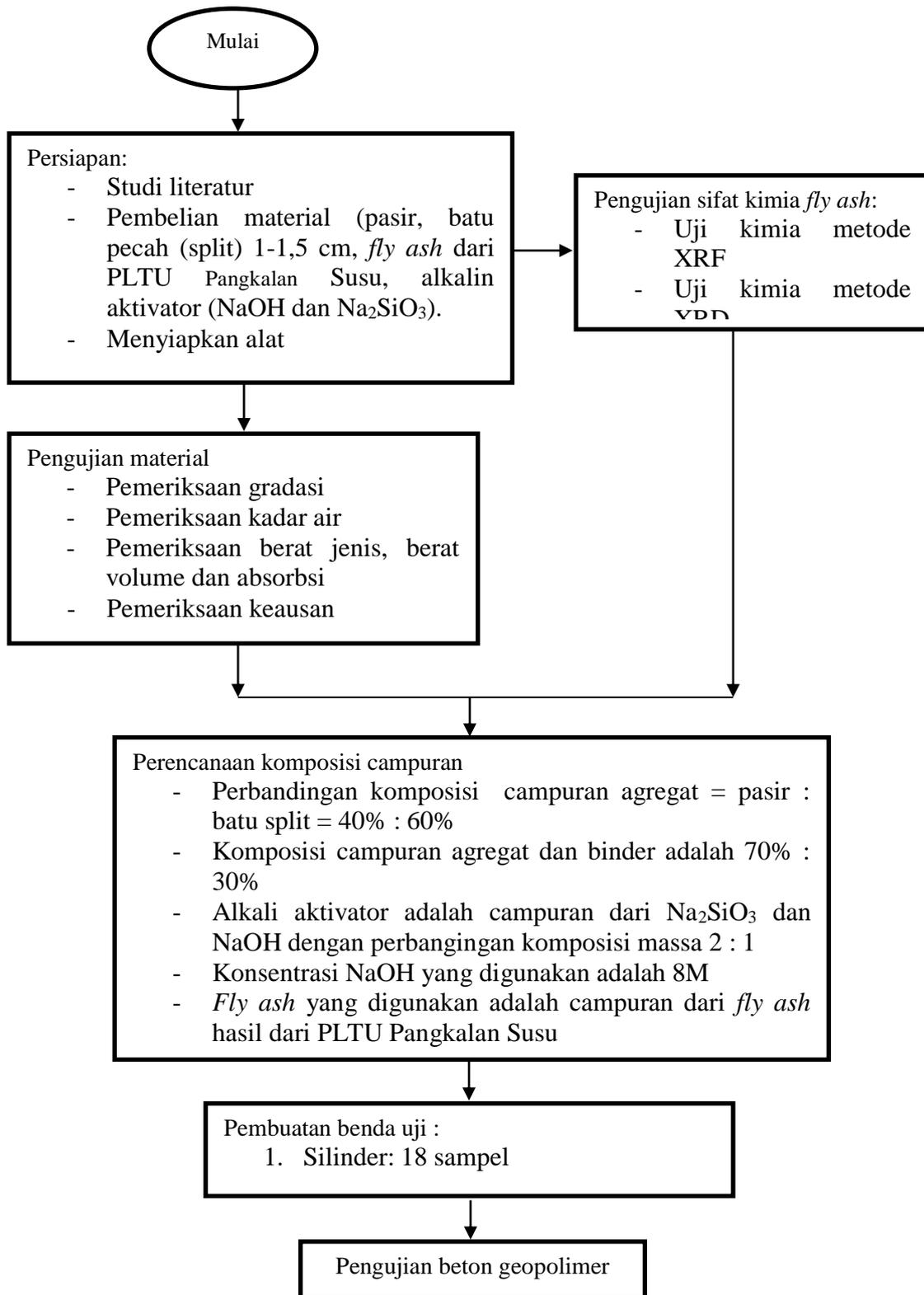
Gambar 1. Komposisi campuran beton geopolymer rencana

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen di laboratorium. Beton geopolymer dibuat dan diuji di laboratorium Universitas Sumatera Utara. Penelitian diawali dengan studi pustaka dan dilanjutkan dengan penyiapan material penelitian hingga penelitian selesai untuk ditarik kesimpulan. Adapun tahapan penelitian secara rinci adalah:

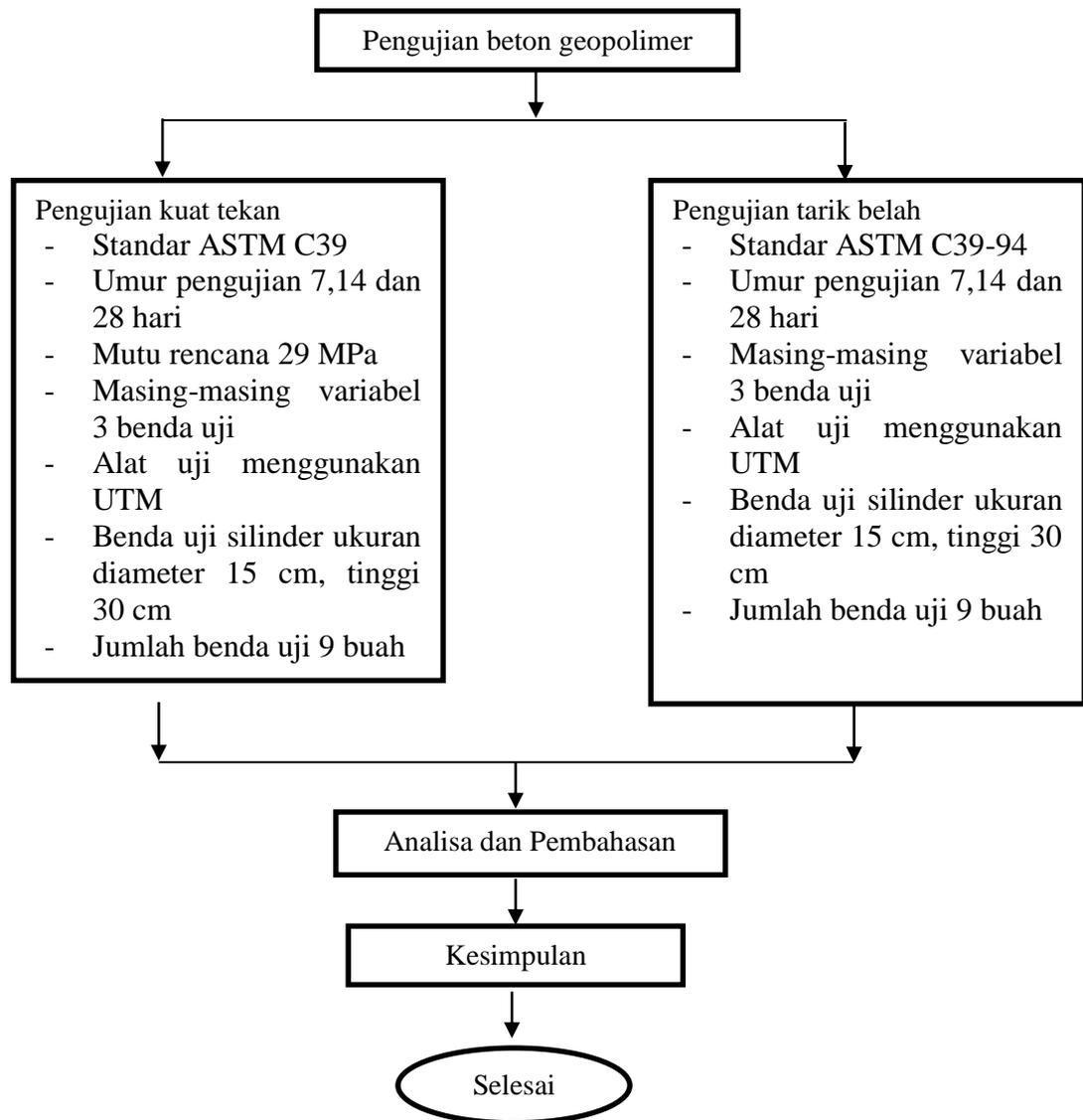
- a. Persiapan alat dan bahan penelitian
- b. Pengujian karakteristik material untuk agregat kasar dan halus yang meliputi:
 - 1) Pemeriksaan gradasi
 - 2) Pemeriksaan kadar air
 - 3) Pemeriksaan berat jenis, berat volume dan absorpsi
 - 4) Pemeriksaan keausan
- c. Perencanaan komposisi campuran

- d. Pembuatan campuran beton (*mixing*)
- e. Pencetakan
- f. Perawatan
- g. Pemeriksaan berat volume benda uji
- h. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah
- i. Menganalisa data hasil pengujian yang telah dilakukan
- j. Membuat kesimpulan terhadap hasil penelitian

Secara keseluruhan proses pelaksanaan penelitian dapat diilustrasikan pada bagan alir yang disajikan dalam Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Bagan alir proses penelitian



Gambar 3. Pengujian beton geopolimer

Hasil dan Pembahasan

1. Pengujian XRF (X-Ray Fluorosense) pada *Fly Ash* Pangkalan Susu

Sebelum pelaksanaan pembuatan benda uji beton *geopolymer*, maka dilakukan pengujian XRF pada *fly ash* Pangkalan Susu. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan unsur kimia yang terkandung pada *fly ash* sehingga dapat diketahui jenis *fly ash* yang digunakan dalam beton *geopolymer*.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan *fly ash* PLTU Pangkalan Susu mengandung 34,81% SiO₂, 25,39% CaO, 14,92% Al₂O₃, 16,49% Fe₂O₃ dan 4,92% MgO. Dari hasil tersebut *fly ash* diklasifikasikan sebagai *fly ash* kelas C karena jumlah SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ adalah lebih besar dari 50% (ASTM C-618) yaitu 66,22%.

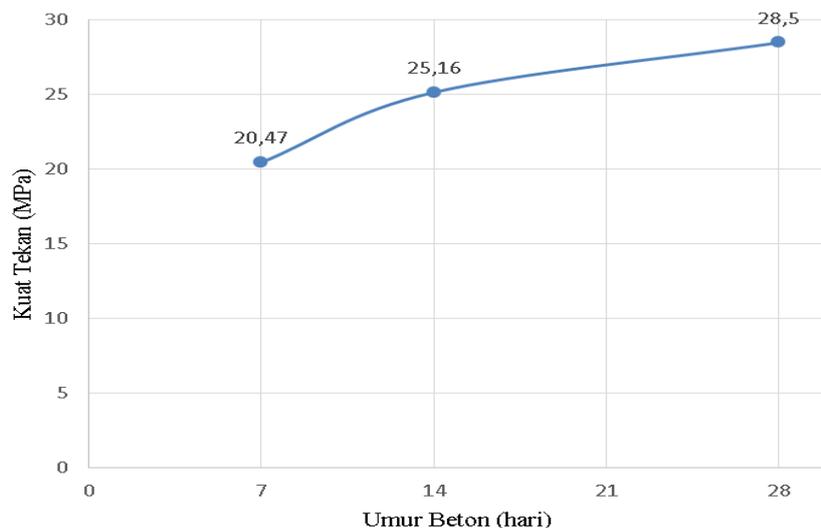
2. Kuat Tekan Beton *Geopolymer*

Analisa kuat tekan dilakukan pada beton *geopolymer* dengan umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Pengujian dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 1947:2011, Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.

Hasil pengujian kuat tekan beton *geopolymer* disajikan pada Tabel 1 dan disajikan dalam grafik pada Gambar 4.

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tekan silinder beton *geopolymer*

No	Umur beton (hari)	Sampel	Luas penampang (cm ²)	Berat sampel (kg)	Kuat tekan aktual (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1	7	1	176,625	12,370	18,5	20,47
2		2	176,625	12,448	21,5	
3		3	176,625	12,389	21,4	
4	14	1	176,625	12,299	24,79	25,16
5		2	176,625	12,308	25,3	
6		3	176,625	12,203	25,4	
7	28	1	176,625	12,265	29,0	28,50
8		2	176,625	12,102	28,5	
9		3	176,625	12,013	28,0	



Gambar 1. Grafik hubungan kuat tekan dan umur beton *geopolymer*

Dari Tabel 1 terlihat bahwa rata-rata kuat tekan beton pada umur 7 hari sudah mencapai nilai yang tinggi yakni 20,47 MPa. Peningkatan kuat tekan terjadi pada beton *geopolymer* umur 14 dan 28 hari. Peningkatan nilai kuat tekan beton 14 hari adalah 22,95% dari beton *geopolymer* umur 7 hari dan peningkatan beton umur 28

hari adalah 13,3% lebih besar dari beton geopolymer 14 hari. Terjadi peningkatan yang tinggi pada beton umur 14 hari namun peningkatan mengecil pada beton 28 hari. Hal ini disebabkan proses pengerasan beton yang cepat, sehingga peningkatan kuat tekan beton setelah 14 hari mengecil, karena proses hidrasi beton hampir selesai.

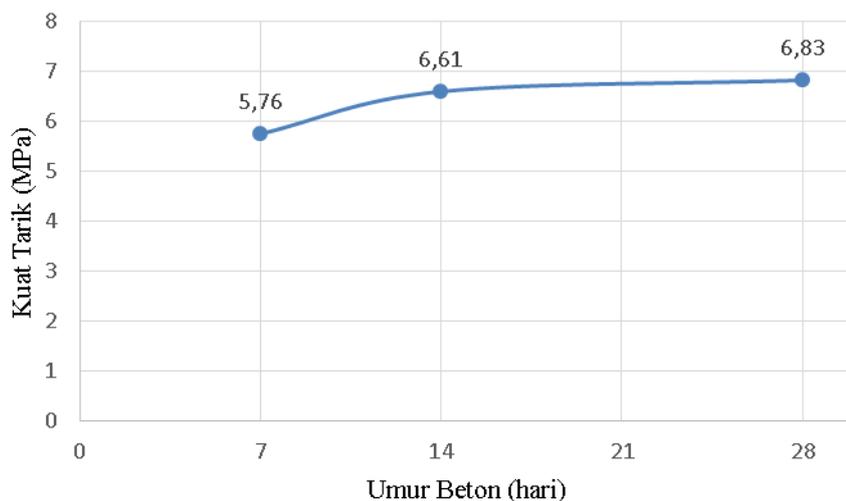
3. Kuat Tarik Belah Beton *Geopolymer*

Analisa kuat tarik dilakukan pada beton geopolymer dengan umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Pengujian dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI 03-2491-2002, Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.

Hasil pengujian kuat tarik beton geopolymer disajikan pada Tabel 2 dan disajikan dalam grafik pada Gambar 5.

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tarik beton geopolymer

No	Umur beton (hari)	Sampel	Luas penampang (cm ²)	Berat sampel (kg)	Hasil pengujian (kN)	Kuat tarik aktual (MPa)	Kuat tarik rata-rata (MPa)
1	7	1	176,625	12,334	95	5,38	5,76
2		2	176,625	12,361	100	5,66	
3		3	176,625	12,348	110	6,23	
4	14	1	176,625	12,103	110	6,23	6,61
5		2	176,625	12,172	115	6,51	
6		3	176,625	12,203	125	7,07	
7	28	1	176,625	11,832	115	6,51	6,83
8		2	176,625	11,981	127	7,19	
9		3	176,625	11,823	120	6,79	



Gambar 2. Grafik hubungan kuat tarik dan umur beton geopolymer

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata kuat tarik beton geopolymer umur 7 hari adalah 5,67 MPa. Nilai kuat tarik beton geopolymer umur

14 hari meningkat sebesar 14,75% daripada beton *geopolymer* umur 7 dan kuat tarik beton *geopolymer* umur 28 hari lebih besar 3,42% dari beton *geopolymer* umur 14 hari. Peningkatan signifikan terjadi pada waktu 7-14 hari perawatan beton *geopolymer*. Hal tersebut menandakan bahwa proses pengerasan beton yang signifikan terjadi 14 hari pertama sehingga pada waktu tersebut kuat tarik beton terbentuk.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan bahwa *fly ash* PLTU Pangkalan Susu merupakan *fly ash* kelas C yang mengandung 34,81% SiO₂, 25,39% CaO, 14,92% Al₂O₃, 16,49% Fe₂O₃ dan 4,92% MgO dengan total senyawa SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ adalah 66,22%. *Fly ash* kelas C termasuk *fly ash* yang dapat digunakan sebagai campuran beton *geopolymer* menurut ASTM-C618.

Nilai kuat tekan maksimum beton *geopolymer* dengan menggunakan *fly ash* hasil aktivitas PLTU Pangkalan Susu sebagai pengganti semen dan senyawa alkali 8M sebagai bahan polimerisasi adalah 28,5 MPa atau setara dengan beton K-300. Sehingga dapat disimpulkan bahwa beton *geopolymer* ini dapat digunakan dalam aplikasi konstruksi di lapangan.

Kuat tarik maksimum beton *geopolymer* dengan menggunakan *fly ash* hasil aktivasi PLTU Pangkalan Susu sebagai pengganti semen dan senyawa alkali 8M sebagai bahan polimerisasi adalah 6,83 MPa.

Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen dapat mengurangi penggunaan semen yang menyebabkan pencemaran lingkungan dan mengurangi limbah hasil pembakaran PLTU Pangkalan Susu.

BIBLIOGRAFI

- Abraham, R. (2013). *Raj, S. D., dan Abraham, V. , "Strength and Behaviour of Geopolymer Concrete Beams", International Journal of Innovative Reasecrh in Science, Engineering and Technology, ISSN:2347-6710. Vol.2.*
- Davidovits, J. (1988). (1988). "Soft Mineralurgy and Geopolymers", *Paper present at the Geopolymer '88, First European Conference on Soft Mineralurgy, Compiegne, France.*
- Davidovits, J. (1999). Chemistry of Geopolymeric Systems, Terminology In: Proceedings of 99 International Conference. *Eds. Joseph Davidovits, R. Davidovits & C. James, France.*
- Davidovits, Joseph. (2005). *Geopolymer, green chemistry and sustainable development solutions: proceedings of the world congress geopolymer 2005.* Geopolymer Institute.
- Ekaputri, J. J., & Damayanti, O. (2007). Sifat mekanik beton geopolimer berbahan dasar fly ash jawa power paiton sebagai material alternatif. *Jurnal Pondasi, 13(2), 124–134.*
- Ekaputri, J. J., & Triwulan, T. (2013). Sodium sebagai aktivator fly ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam beton geopolimer. *Jurnal Teknik Sipil, 20(1), 1–10.*
- Gedung, B. (2002). Badan Standarisasi Nasional. *Tata Cara.*
- Hardjito, D. (2004). *at al. "On the Development of Fly Ash Based Geopolymer Concrete", ACI Materials Journal, Desember 2004.*
- Mehta, P. K. (2001). Reducing the environmental impact of concrete. *Concrete International, 23(10), 61–66.*
- Putra, A. R. (2015). *Pengembangan media pembelajaran matematika berbantuan computer berbasis konstruktivis untuk kelas X SMK pada materi geometri.* Tesis Program Pascasarjana. Universitas Negeri Malang.
- Septia, P. (2011). Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio NaOH: Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor Suhu Curing, Dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. *Skripsi. Universitas Indonesia.*
- Suarnita, I. W. (2011). Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli. *SMARTek, 9(1).*
- Surja, R. T., Mintura, R., Antoni, A., & Hardjito, D. (2017). Perbandingan Beberapa Prosedur Pembuatan Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Tipe C. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil, 6(2), 185–191.*

Wallah, S. E. (2014). Pengaruh Perawatan dan Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1).