

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Beton Geopolimer

Beton geopolimer merupakan alternatif bahan konstruksi yang dapat menggantikan penggunaan semen portland. Bahan utama yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer adalah abu terbang (*fly ash*). Beton geopolimer tidak 100% menggunakan semen, melainkan menggunakan *fly ash* sebagai sumber material untuk membuat bahan pengikat pada beton. Bahan *pozzolan*, seperti *fly ash*, meskipun tidak memiliki sifat pengikat yang umumnya dimiliki oleh semen, namun karena struktur yang lembut dan mampu berinteraksi dengan cairan alkali, maka dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen. Alkali aktivator juga diperlukan untuk membuat beton geopolimer.

Alkali aktivator pada penelitian ini menggunakan Natrium silikat dan natrium hidroksida, dua bahan penting pada pembuatan beton geopolimer dari *fly ash*. Natrium silikat bertindak sebagai aktivator alkali yang mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidroksida bertindak sebagai katalis yang mereaksikan unsur aluminium dan silikon dalam *fly ash*, membentuk ikatan polimer yang kuat. Dalam proses pembuatan beton geopolimer, campuran *fly ash*, natrium hidroksida, dan natrium silikat direaksikan untuk membentuk gel silikat yang mengikat partikel *fly ash*, menciptakan struktur padat (Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S., 2014).

2.1.2 Komponen Material Beton Geopolimer

Beton geopolimer terdiri dari komponen material seperti *fly ash* sebagai pengikat, agregat halus dan kasar, serta alkali aktivator. Alkali aktivator yang dipakai pada beton geopolimer yakni senyawa kimia seperti natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) untuk mengikat larutan alkali aktivator tersebut, digunakan *Aquades*.

2.1.3.1 NaOH

Soda kaustik, atau natrium hidroksida (NaOH), merupakan hasil sampingan yang dihasilkan dalam proses industri klorin-alkali. Dalam bentuknya yang murni, natrium hidroksida berwujud kristal padat yang tidak berwarna dan memiliki titik leleh sekitar 318 °C tanpa mengalami dekomposisi. Kelarutannya yang tinggi pada air, sedikit larut pada etanol dan metanol, serta tidak larut pada eter, menggambarkan sifat polaritas yang kuat. Saat padatan natrium hidroksida dilarutkan dalam air, terjadi reaksi eksotermik yang menghasilkan pelepasan panas yang signifikan, sehingga perlu diwaspadai terhadap potensi percikan yang berbahaya. Larutan yang terbentuk biasanya tidak memiliki warna dan tidak mengeluarkan aroma tertentu. Seperti halnya larutan alkali lainnya, ketika terkena kulit, larutan NaOH memberikan sensasi licin yang khas karena terjadi proses saponifikasi. (Ahmadi, M. and Seyedin, S.H. 2019)

Syarat mutu pada NaOH juga telah diatur dalam SNI 0074-2011 yang tertuang pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Syarat Mutu SNI 0074-2011

No.	Kriteria uji	Satuan	Bentuk	
			Cair	padat
1	Soda Kaustik sebagai NaOH	% b/b	minimum 48,0	minimum 98,0
2	Karbonat sebagai NaCO	% b/b	maksimum 0,12	maksimum 0,40
3	Klorida sebagai NaCl	mg/kg	maksimum 100	maksimum 300
4	Sulfat sebagai SO ₄ ²⁻	mg/kg	maksimum 100	maksimum 300
5	Besi sebagai Fe	mg/kg	maksimum 5	maksimum 10
6	Merkuri sebagai Hg	mg/kg	maksimum 0,01	maksimum 0,01

2.1.3.2 Na₂SiO₃

Natrium silikat, dengan rumus molekul Na₂SiO₃, memiliki berat molekul sekitar 122.063 g/mol. Massa tepatnya adalah 121.94120896 g/mol, dengan massa *monoisotopic* yang sama. Sifat fisik natrium silikat bervariasi tergantung pada bentuknya. Dalam bentuk padat, natrium silikat dapat berupa serbuk atau flakes berwarna putih hingga abu-abu. Serbuk atau *flakes* ini memiliki tekstur halus dan memiliki kemampuan untuk menyerap kelembaban dari udara karena sifatnya yang higroskopis. Ketika terpapar kelembaban, natrium silikat dapat membentuk larutan atau lapisan lembab.

Natrium silikat juga dapat berbentuk larutan. Larutan natrium silikat umumnya berupa cairan tak berwarna atau berwarna putih susu, tergantung pada konsentrasi dan komposisi spesifik. Larutan ini memiliki tekstur cair dan dapat digunakan secara langsung dalam berbagai aplikasi. (*National Center for Biotechnology Information, 2023*).

2.1.3.3 Agregat Kasar

SNI 1970-2008 menyatakan, agregat kasar didefinisikan sebagai jenis kerikil yang terbentuk melalui proses alamiah pelapukan batuan atau diperoleh melalui proses pemecahan batu di dalam industri pemecahan batu. Rentang ukuran butir agregat kasar berkisar antara 4,75 mm (No. 4) hingga 40 mm (No. 1½ inci). Dalam konteks ini, agregat kasar mengacu pada fragmen-fragmen batuan yang memiliki ukuran yang lebih besar dan digunakan secara luas dalam komposisi campuran beton dan berbagai struktur konstruksi. Kontribusi agregat kasar sangat signifikan dalam memberikan kekuatan, stabilitas, dan kepadatan massa beton.

2.1.3.4 Agregat Halus

SNI 03-6820-2002 yang mengatur tentang agregat halus pada beton menyatakan, agregat halus didefinisikan sebagai jenis agregat dengan ukuran butiran maksimum tidak lebih dari 4,76 mm yang diperoleh dari sumber alam atau produk alami. Definisi ini mengacu pada partikel-partikel kecil yang digunakan dalam campuran beton untuk memberikan kehalusan dan kepadatan yang diinginkan. Agregat halus memainkan peran yang sangat penting dalam mencapai karakteristik fisik dan mekanik yang

diinginkan dalam beton, seperti kemampuan kerja, kekuatan tekan, dan ketahanan terhadap deformasi.

2.1.3.5 Fly Ash

SNI 03-2460-2014 menyatakan bahwa abu terbang batu bara didefinisikan sebagai bahan serbuk halus yang dihasilkan sebagai hasil samping dari proses pembakaran batu bara dalam pembangkit listrik tenaga uap. Bahan ini terdiri dari partikel-partikel mikro yang terbentuk dari mineral-mineral yang terkandung dalam batu bara. Selama pembakaran, batu bara mengalami dekomposisi dan terjadilah peleburan mineral-mineral tersebut. Abu terbang batu bara memiliki sifat *pozzolan*, yaitu kemampuannya untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida yang muncul saat semen memasuki proses hidrasi dalam beton. Reaksi ini menghasilkan produk-produk gel silika yang memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan kekuatan, ketahanan terhadap retak, dan sifat-sifat mekanis lainnya pada beton.

2.2 Serat Nilon

Untuk meningkatkan kekuatan struktural beton, serat dapat ditambahkan pada campuran beton. Konsentrasi serat yang digunakan sangat berpengaruh pada kekuatan beton, di mana semakin tinggi konsentrasi serat, maka semakin tinggi pula kekuatan struktural beton yang dibuat. Salah satu jenis bahan yang dimanfaatkan sebagai serat pada beton adalah *Nylon Monofilament*, yang memiliki sifat elastis. Pada penelitian ini, *Nylon Monofilament* atau senar pancing digunakan sebagai serat untuk memperkuat beton. Semakin kecil nilai modulus *Young* pada nilon, maka semakin tinggi nilai elastis dari nilon tersebut (Young HD, Freedman RA, 2016). Sehingga bahan tersebut cocok digunakan sebagai perkuatan beton dengan serat. Penggunaan serat pada beton dengan konsentrasi yang tepat dan jenis serat yang sesuai dapat meningkatkan kekuatan dan kualitas beton yang dihasilkan.

Dengan menambahkan serat ke beton biasa, dapat dihasilkan peningkatan kemampuan beton dalam menahan beban pada puncak tekanan. Sementara pada beton berserat, Serat mampu menyerap lebih

banyak energi sebelum terjadi kerusakan atau kegagalan pada struktur. Efek peningkatan kekuatan dan kemampuan daktilitas pada beton normal dengan penambahan serat tergantung pada beberapa faktor, termasuk volume fraksi serat, geometri serat, dan komposisi bahan penyusun matriks. Peningkatan jumlah volume fraksi serat pada beton normal dapat menambah kapasitas energi yang dapat diserap sebelum terjadi kerusakan pada struktur. Efek peningkatan energi yang signifikan hanya terjadi pada fraksi volume serat sebesar 0-0,7%. Apabila fraksi volume serat lebih besar dari 0,7%, peningkatan energi yang terjadi tidak begitu signifikan.

Beton mutu tinggi biasanya memiliki karakteristik yang lebih getas dan cenderung mudah retak atau rapuh. Menambahkan serat pada beton mutu tinggi dapat mengoptimalkan kemampuan daktilitasnya. Hal ini berbeda dengan beton mutu normal yang memiliki karakteristik yang lebih lentur (Astawa, M.D., 2016).

2.3 Uji Kuat Tekan

Dalam mengetahui kekuatan beton dalam menerima gaya tekan, metode yang akan digunakan adalah uji kuat tekan, dengan standar SNI 1974:2011. Beton memiliki karakteristik kokoh dalam menahan gaya tekan, sebaliknya untuk tarik. Kadar dan jenis dari komposisi beton sendiri yang menentukan berapa kuat beton dalam menahan gaya. Dalam pelaksanaan uji kuat tekan, beban di bagi ke luas permukaan pada silinder beton. Rumus yang digunakan dalam menghitung kuat tekan adalah sebagai berikut.

$$\text{Kuat tekan } (N/mm^2) = \frac{\text{Gaya Tekan Maksimum } (N)}{\text{Luas penampang benda uji } (mm^2)} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.4 Penelitian Sebelumnya Terhadap Beton Geopolimer Berserat

2.4.1. Sifat Ketahanan Beton Geopolimer

Beton geopolimer berbahan dasar *fly ash*, dengan perkuatan serat, memiliki sifat resistensi yang lebih baik terhadap lingkungan dengan kadar garam tinggi dibandingkan pada beton semen *portland*. Hasil menunjukkan bahwa beton geopolimer yang direndam pada larutan MgSO₄ selama 120 hari tidak menunjukkan perubahan dimensi yang signifikan, sedangkan

beton berbasis semen *portland* menunjukkan ekspansi dimensi sebesar 0,0184% (Weiwen Li et al., 2022).

2.4.2. Rasio Perbandingan Alkali Aktivator

Dalam perencanaan pembuatan beton geopolimer, harus tentukan terlebih dahulu perbandingan komposisi alkali aktivator yang sesuai agar hasil uji tekan yang didapat sesuai dengan yang diinginkan. Penelitian yang mengkaji hal tersebut meneliti pengaruh komposisi perbandingan alkali aktivator NaOH dengan Na₂SiO₃ terhadap kekuatan struktural beton geopolimer dengan bahan dasar *fly ash*. Diketahui bahwa beton geopolimer dengan perbandingan alkali aktivator 1/2 antara NaOH dengan Na₂SiO₃ tidak memenuhi kekuatan struktural yang dibutuhkan oleh beton, karena hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa beton tersebut hanya memiliki kekuatan 9,23 MPa. Peningkatan pada kekuatan struktural beton geopolimer dapat dicapai menggunakan komposisi perbandingan alkali aktivator senilai 3/2, 4/2, dan 5/2. Hasil uji kuat tekan menghasilkan bahwa beton geopolimer dengan komposisi tersebut memiliki kekuatan struktural yang memenuhi kebutuhan, yaitu 34,796 MPa, 39,049 MPa, dan 34,779 MPa secara berurutan (Ridwan, M. 2018).

2.4.3. Rasio *L/D*

Salah satu parameter yang penting dalam beton berserat adalah rasio *l/d*, yaitu rasio antara panjang serat (*L*) dengan diameter serat (*D*) Rasio *L/D* dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{Rasio} = L/D \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

L = Panjang Serat (mm)

D = Diameter Serat (mm)

Semakin besar rasio *l/d*, semakin baik sifat mekanik beton berserat. Hal ini karena serat dengan rasio *l/d* yang besar memiliki luas permukaan yang lebih besar per satuan volume, sehingga dapat berinteraksi lebih baik dengan

ikatan semen. Serat dengan rasio L/D yang besar juga dapat menahan beban tarik yang lebih besar sebelum putus, namun demikian, rasio L/D yang terlalu besar juga dapat menimbulkan beberapa masalah, seperti distribusi serat yang tidak merata dan penggumpalan serat di dalam campuran beton.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menentukan nilai optimal dari rasio L/D (panjang serat terhadap diameter serat) untuk berbagai jenis serat dan beton. Dalam sebuah penelitian yang melibatkan beton berserat polipropilena dengan kuat tekan sebesar 40 MPa, ditemukan bahwa nilai optimal dari rasio L/D adalah 100.

Dengan menggunakan rasio L/D sebesar 100, beton berserat polipropilen ini mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 6%. Hal ini berarti beton tersebut mampu menahan beban tekan dengan lebih baik daripada beton tanpa serat. Selain itu, kuat lentur beton juga mengalami peningkatan sebesar 14% ketika menggunakan rasio l/d yang optimal. Ini berarti beton mampu menahan gaya lentur dengan lebih baik, seperti pada struktur yang mengalami pembebanan yang cenderung menyebabkan regangan pada beton (Yazıcı et al. 2007).

2.4.4. Perbandingan Serat Alami dengan Sintetis

Sebuah jurnal penelitian membandingkan antara dua jenis serat yaitu bahan serat jute yang merupakan serat alami dan serat *e-glass* yang merupakan serat sintetis. Jurnal penelitian tersebut memberikan hasil bahwa serat alami memiliki kelemahan dalam kekuatan tarik. Ini membuat serat sintetis jauh lebih baik daripada penggunaan serat alami. (Septiyanto, R.F., & Abdullah, A.H.D., 2021). Serat sintetis yang dimanfaatkan dalam penelitian ini masuk kedalam jenis serat tipe fiber polimer yaitu *nylon monofilament* yang merupakan produk turunan dari industri petrokimia dan tekstil. Dari potensi kekuatan struktural yang didapat, maka bahan serat ini layak untuk diteliti sebagai bahan serat penambah pada beton geopolimer.

Pada penelitian lainnya mengenai beton geopolimer berserat, peneliti menambahkan serat plastik pada beton geopolimer sebagai penguat untuk meningkatkan kekuatan tekan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada usia 28 dan 90 hari, kekuatan tekan beton geopolimer yang diperkuat

dengan serat plastik meningkat seiring dengan peningkatan jumlah serat plastik hingga mencapai nilai maksimum pada penambahan serat 0,50%. Dalam hal ini, serat *nylon66* terbukti efektif sebagai penguat karena bentuk berlian di ujungnya membantu mencegah retakan yang disebabkan oleh beban tekanan. Selain itu, penggunaan butiran plastik untuk mengisi celah di antara agregat juga terbukti meningkatkan kekuatan pengait agregat dan matriks beton geopolimer. Ditemukan bahwa jika penambahan serat plastik terlalu banyak, kekuatan tekan beton geopolimer malah menurun. Penggunaan serat plastik pada beton geopolimer harus dilakukan dengan perhitungan yang tepat agar kekuatan beton tidak berkurang (Yazid, M.H., et al, 2022).

2.4.5. Perancangan Campuran Beton Geopolimer

Dalam perancangan campuran beton geopolimer, penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengeksplorasi komposisi yang dapat menghasilkan kuat tekan maksimal. Salah satu penelitian menunjukkan bahwa komposisi campuran beton geopolimer yang terdiri dari 73% agregat dan 27% semen geopolimer memberikan hasil yang menjanjikan. Dalam penelitian tersebut, bahan pengikat yang digunakan adalah semen geopolimer, yang merupakan alternatif untuk menggantikan semen Portland konvensional dalam beton. Proses pembentukan geopolimer melibatkan pencampuran natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH), yang berfungsi sebagai bahan pemicu dan larutan pengaktif, dengan perbandingan berat Na_2SiO_3 dan NaOH sebesar 2. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, konsentrasi NaOH yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah 8 molar. Hasil penelitian mengindikasikan campuran beton geopolimer dengan konsentrasi NaOH 8 molar mencapai kuat tekan sebesar 50.27 Mpa. (Hardjasaputra, H., & Ekawati, E. 2018).