

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian-Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa referensi yang berhubungan dengan obyek pembahasan. Penggunaan referensi ditujukan untuk memberikan batasan-batasan dalam penelitian. Penelitian ini nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengacu kepada referensi yang digunakan, diharapkan pengembangan dari penelitian yang akan datang dapat melahirkan suatu inovasi baru yang belum ada referensi sebelumnya.

Hasil penelitian Indrayani, dkk (2019), metode yang digunakan dalam pengujian beton polimer ini menggunakan acuan SNI terhadap beberapa pengujian diantaranya pengujian agregat, pengujian kuat tekan beton normal K-225 dan beton geopolimer dengan campuran larutan alkali berupa natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH), dalam perbandingan 1:1; 3:1; 5:1 pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan beton didapatkan kekuatan beton geopolimer meningkat pada campuran alkali dengan perbandingan 5:1, yaitu sebesar $395,56 \text{ kg/cm}^2$. Kenaikan kuat tekan beton ini sebesar 41,20 % dibanding dengan kuat tekan beton normal dengan kuat tekan $232,59 \text{ kg/cm}^2$.

Hasil penelitian R. Junnaidy, dkk (2017), pengujian mengikat standar ASTM C150M. Dengan menggunakan variasi serat 4%,6% dan 8% pada umur 28 hari didapat data tekan rata-rata adalah 17,386 MPa, 19,242 MPa dan 16,925 MPa. Terjadi penurunan kekuatan tekan seiring dengan penambahan serat. Sementara itu perilaku keruntuhan beton berserat menunjukkan bahwa tingkat daktilitas beton mengikat seiring dengan meningkatnya rasio serat terhadap berat semen. Dari hasil penelitian berdasarkan tinjauan terhadap perilaku keruntuhannya pemakaian serat bambu pada campuran beton dapat meningkatkan perilaku keruntuhan menjadi lebih daktail atau liat.

Hasil penelitian N.R. Setiati dan R.R. Irawan (2018), dengan menggunakan silinder ukuran 150 mm x 300 mm, balok beton geopolimer dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 600 mm dan balok konvensional 150 mm x 350 mm x 4000 mm.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa pada balok beton bertulang dengan komposisi 100% abu terbang kekuatannya hampir setara dengan beton konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kapasitas beban yang dapat dipikul struktur balok beton geopolimer sebesar 87,5 kN dengan deviasi 38% terhadap nilai teoritis. Untuk struktur balok beton konvensional, beban yang dipikul sebesar 109,2 kN dengan deviasi 25% terhadap nilai teoritis. Nilai kapasitas struktur balok beton geopolimer dan konvensional berdasarkan hasil uji laboratorium lebih kecil dibandingkan nilai secara teoritis.

Hasil penelitian H. Hardjasaputra dan E. Ekawati (2018), peneliti melakukan studi berbagai rancangan campuran beton geopolimer dengan variasi 8M, 12M, dan 16M, dan variasi alkali/*fly ash* 0,45, 0,50, 0,55 dan 0,60 dengan rasio antara Na_2SiO_3 dan NaOH adalah 2. Studi perkembangan kuat tekan beton geopolimer terhadap waktu menunjukkan bahwa hasil rancangan campuran beton geopolimer tersebut dapat mencapai kuat tekan f_c' 50,27 MPa dan kuat lentur f_c' 7,66 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton geopolimer berbasis *fly ash* yang dihasilkan dapat digunakan sebagai beton struktural.

Hasil penelitian R.J. Rumajar, dkk (2019), Kekuatan tekan beton didefinisikan sebagai tegangan yang terjadi dalam benda uji pada pemberian beban hingga benda uji tersebut hancur. Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan beton hancur. Dari hasil penelitian dihasilkan berat volume berkisar 2200-2400 kg/m^3 dan dapat diklasifikasikan dalam beton normal. Dalam penelitian ini juga di dapat nilai $f_r/\sqrt{f_c'}$ berkisar antara 0,29-1.095.

Hasil penelitian Indrayani, et al, (2020), metode yang digunakan dalam pengujian beton geopolimer ini menggunakan referensi SNI untuk beberapa tes pengujian agregat, uji kekuatan kompresi beton normal dan kekuatan kompresi beton geopolimer dengan campuran larutan alkali dalam bentuk natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) dilakukan pada usia 28 hari. Dari hasil tes ditemukan bahwa abu sekam padi tidak dapat digunakan sebagai geopolimer beton sementara *fly ash* dapat digunakan sebagai beton geopolimer dalam rasio NaOH ke Na_2SiO_3 pada 1:3 dan 1:5 di mana di rasio 1:3 meningkat 2,18% dan pada rasio 5:1 meningkat 41,20%.

Hasil penelitian Firdaus, Ishak Yunus (2017), Penelitian menggunakan bahan geopolimer dari komposisi optimum yang sudah diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya. Bahan dasar *fly ash* dari didapat dari hasil penyaringan berupa tingkat kehalusan zona 0 dan 3. Bahan aktivator yang digunakan dalam pembuatan geopolimer berupa Na_2SiO_3 dan Natrium Hidroksida (NaOH). Sedangkan bahan tambahan lain berupa serat sintetis. Penelitian yang dilakukan berupa pembuatan balok lentur dengan ukuran 27 cm x 7,5 cm x 7,5 cm. Parameter yang digunakan adalah persentase serat yang digunakan adalah 0%, 0,25%, 0,35%, dan 0,45% terhadap berat *fly ash*. Dari hasil penelitian di dapat peningkatan kuat lentur maksimum diperoleh pada penambahan serat 0,45% untuk kehalusan *fly ash* Z0 sebesar 3,01 MPa, dan untuk kehalusan *fly ash* Z3 kuat lentur maksimum pada penambahan serat 0,45% sebesar 3,17 MPa.

Hasil penelitian Y. Hakim, dkk (2017), Serat eceng gondok dan serbuk Al yang digunakan bervariasi antara 0,5-3% (b/b) abu layang dan 0-0,5 g serbuk Al. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ optimum adalah 4,90 dengan penambahan serbuk Al sebesar 0,2 g dihasilkan kuat tekan 32,03 MPa, kuat tarik 22,91 MPa, densitas 15888,09 kg/m^3 dan konduktivitas panas 0,1001 $\text{Watt/m}^\circ\text{K}$. Penambahan serat optimum pada 2,5% (b/b) abu layang dengan kuat tekan 27,57 MPa, kuat tarik 24,11 MPa, densitas 1590,26 kg/m^3 dan konduktivitas panas 0,0999 $\text{Watt/m}^\circ\text{K}$. Analisa fasa mineral dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa kandungan mineral utama *quartz*. Analisis ikatan kimia dengan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) menunjukkan bahwa geopolimer terbentuk ditandai dengan adanya pita vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al pada 995,27 dan 1002,98 cm^{-1} . Analisis morfologi partikel menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa geopolimer yang terbentuk didominasi oleh matriks geopolimer, pori dan serat.

Hasil penelitian I.R.N. Ratri, dkk (2018), Penelitian ini dilakukan dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan untuk mendapatkan penambahan serat daun nanas optimum dan imobilisasi ion logam berat Ni^{2+} dan Cr^{3+} dengan penambahan serat daun nanas yang optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat daun nanas mencapai optimum pada 0,5% (b/b) dengan kuat tekan 54,82 MPa dan

kuat tarik belah 1,70 MPa, setelah penambahan ion logam Ni^{2+} dan Cr^{3+} mengalami penurunan kuat tarik sebesar 40,65 dan 39,17 MPa serta kuat tarik 1,62 dan 1,46 MPa. Pita serapan pada 2970,80; 2971,23 dan 2971,45 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H serat selulosa yang muncul pada geopolimer dengan penambahan serat. Analisis morfologi SEM menunjukkan bahwa terdapat partikel serat yang berada diantara matriks geopolimer, abu layang yang tidak bereaksi, dan terdapat pori.

Hasil penelitian D. Suhirkam, *et al* (2020), penambahan serat tembaga dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton, modulus elastis dan kuat tarik beton. Peningkatan maksimum terjadi pada beton dengan penambahan serat tembaga 1% sebesar 0,14% dari beton normal. Nilai kuat tekan beton dengan penambahan serat tembaga 0% (normal) sebesar 27,20 MPa, penambahan 0,8% sebesar 28,73 MPa, penambahan 1% sebesar 31,03 MPa, penambahan 1,2% sebesar 26,18 MPa. Kuat tarik belah untuk penambahan serat tembaga 0% sebesar 2,55 MPa, penambahan 0,8% sebesar 3,42 MPa, penambahan 1 sebesar 3,54 MPa dan penambahan 1,2% sebesar 2,41 MPa. Sedangkan nilai modulus elastis dengan penambahan serat tembaga sebesar 0% sebesar 24512 MPa, penambahan 0,8% sebesar 25192 MPa, penambahan 1 sebesar 26181 MPa dan penambahan 1,2% sebesar 24048 MPa.

2.2 Agregat

Agregat (*aggregate*) didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. ASTM (1974) mendefinisikan agregat atau batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat atau batuan merupakan komponen utama dari perkerasan jalan yang mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

2.2.1 Klasifikasi agregat

1. Berdasarkan Proses Kejadiannya

Ditinjau dari asal kejadiannya, agregat/batuan dapat dibedakan atas batuan beku (*igneous rock*), batuan sedimen dan batuan metamorf (batuan malihan).

a. Batuan Beku (*Igneous Rock*)

Igneous rock adalah batuan yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku, yang dapat dibedakan atas batuan beku luar (*extrusive igneous rock*) dan batuan beku dalam (*intrusive igneous rock*). Batuan beku luar dibentuk dari material yang keluar ke permukaan bumi di saat gunung berapi meletus yang akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya berbutir halus seperti batu apung, andesit, basalt, obsidan dan sebagainya. Batuan beku dalam dibentuk dari magma yang tidak dapat keluar ke permukaan bumi. Magma mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan, bertekstur kasar dan dapat ditemui di permukaan bumi karena proses erosi dan gerakan bumi. Batuan beku jenis ini antara lain granit, gabbro, diorit, dan sebagainya.

b. Batuan Sedimen

Sedimen dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan sebagainya. Berdasarkan cara pembentukannya, batuan sedimen dapat dibedakan atas:

- i. Batuan sedimen yang dibentuk secara mekanik lempung, dan lain-lain. Batuan ini banyak mengandung silica.
- ii. Batuan sedimen yang dibentuk secara organis seperti bau gamping, batu bara, opal dan lain-lain.
- iii. Batuan sedimen yang dibentuk secara kimiawi seperti batu gamping, gips, flint, dan sebagainya.

c. Batuan Metamorf

Berasal dari batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur dari kulit bumi. Berdasarkan strukturnya dapat dibedakan atas batuan metamorf yang

masif seperti marmer, kwarsit, dan batuan metamorf yang berlapis seperti batu sabak, filit, dan sekis.

2. Berdasarkan Proses Pengolahannya

Berdasarkan proses pengolahannya, agregat yang dipergunakan pada perkerasan lentur dapat dibedakan atas agregat alam, agregat yang mengalami proses pengolahan terlebih dahulu dan agregat buatan.

a. Agregat alam

Agregat yang dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan dinamakan agregat alam yang terbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Bentuk partikel dari agregat alam ditentukan dari proses pembentukannya. Aliran air sungai membentuk partikel-partikel bulat dengan permukaan yang licin. Degradasi agregat di bukit-bukit membentuk partikel-partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar. Dua bentuk agregat alam yang sering dipergunakan adalah kerikil dan pasir. Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel $>1/4$ inci (6,35), pasir adalah agregat dengan ukuran partikel $<1/4$ inci tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan No. 200). Berdasarkan tempat asalnya, agregat alam dapat dibedakan atas pitrun yaitu agregat yang diambil dari tempat terbuka di alam dan bankrun yaitu agregat yang berasal dari sungai (endapan sungai).

b. Agregat yang Mengalami Proses Pengolahan

Di gunung-gunung atau bukit-bukit sering ditemui agregat masih berbentuk gunung, sehingga diperlukan proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dapat digunakan sebagai agregat konstruksi perkerasan jalan. Di sungai sering juga diperoleh agregat berbentuk besar-besar melebihi ukuran yang diinginkan. Agregat ini harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu supaya diperoleh bentuk partikel bersudut (diusahakan berbentuk kubus), permukaan partikel yang kasar sehingga mempunyai gesekan yang baik serta gradasi sesuai yang diinginkan. Proses pemecahannya sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*) sehingga ukuran agregat

yang dihasilkan dapat terkontrol, berarti gradasi yang diharapkan dapat dicapai sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

c. Agregat Buatan

Yang dimaksud agregat buatan di sini adalah agregat yang merupakan mineral *filler* (partikel dengan ukuran $<0,075$ mm), diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan mesin pemecah batu (*stone crusher*).

3. Berdasarkan Ukuran Partikel

Berdasarkan ukuran partikel-partikelnya, agregat dapat dibedakan atas:

- a. Agregat kasar, yaitu agregat $>4,75$ mm menurut ASTM atau >2 mm menurut AASHTO.
- b. Agregat halus, yaitu agregat $<4,75$ mm menurut ASTM atau <2 mm dan $>0,075$ mm menurut AASHTO.
- c. Abu batu/mineral filler, yaitu agregat halus yang umumnya lolos saringan No. 200.

2.2.2 Sifat agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu:

- a. Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, kekerasan dan ketahanan (*toughness and durability*) bentuk butir serta tekstur permukaan.
- b. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas serta jenis agregat yang digunakan.
- c. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, yang dipengaruhi oleh tahanan geser (*skid resistance*) serta campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminous mix workability*).

2.2.3 Gradasi dan ukuran maksimum agregat

1. Gradasi

Gradasi atau distribusi partikel-partikel yang berdasarkan dari ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakkan di atas dan yang paling halus terletak paling bawah atau 1 set saringan dimulai dari pan dan di akhiri dengan tutup. Analisa saringan dapat dilakukan dengan menggunakan analisa kering atau analisa basah. Analisa kering mengikuti AASHTO T27-82, sedangkan analisa basah mengikuti AASHTO T11-82. Analisa basah umum digunakan jika agregat yang akan disaring mengandung butir-butir halus sehingga fraksi butir-butir halus dapat terdeteksi dengan baik. Jika agregat kasar itu bersih, atau sedikit sekali mengandung butir halus dapat digunakan analisa kering. Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

- a. Gradasi seragam (*uniform graded*), adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama (sejenis) atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, dan berat volume kering.
- b. Gradasi rapat (*dense graded*), merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*). Agregat dinamakan bergradasi baik jika persen yang lolos lapis dari sebuah gradasi memenuhi:

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

P : persen lolos saringan dengan ukuran d mm

d : ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D : ukuran maksimum partikel dalam gradasi tersebut.

- c. Gradasi buruk (*poorly graded*), merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi 2 (dua) kategori di atas. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celah (*gap graded*), merupakan campuran agregat dengan satu fraksi hilang, sering disebut juga gradasi senjang. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh ketiga gradasi tersebut di atas dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini

Tabel 2.1 Sifat-sifat beberapa jenis agregat

Gradasi Seragam (<i>Uniform Graded</i>)	Gradasi Baik (<i>Dense Graded</i>)	Gradasi Jelek (<i>Poorly Graded</i>)
Kontak antar butir baik	Kontak antar butir baik	Kontak antar butir baik
Kepadatan bervariasi tergantung dari segregasi yang terjadi	Seragam dan kepadatan tinggi	Seragam tetapi kepadatan jelek
Stabilitas dalam keadaan terbatas (<i>confined</i>) tinggi	Stabilitas tinggi	Stabilitas sedang
Stabilitas dalam keadaan lepas rendah	Kuat menahan deformasi	Stabilitas sangat rendah dalam keadaan basah
Sulit dipadatkan	Sukar sampai sedang dalam usaha untuk memadatkannya	Mudah dipadatkan
Mudah diserap air	Tingkat permeabilitas cukup	Tingkat permeabilitas rendah
Tidak dipengaruhi oleh bervariasinya kadar air	Pengaruh variasi kadar air cukup	Sangat dipengaruhi oleh bervariasinya kadar air

(Sumber: AT Tenriajeng, 1999)

2. Ukuran maksimum partikel agregat

Semua lapisan perkerasan lentur membutuhkan agregat yang terdistribusi dari besar sampai kecil, semakin besar ukuran maksimum partikel agregat yang digunakan semakin banyak variasi ukuran dari besar sampai kecil yang dibutuhkan. Batasan ukuran maksimum yang digunakan dibatasi oleh tebal

lapisan yang diharapkan. Penggunaan partikel agregat dengan ukuran besar menguntungkan karena:

- a. Usaha untuk pemecahan partikel lebih sedikit, sehingga biayanya lebih murah.
- b. Luas permukaan yang harus diselimuti aspal lebih sedikit sehingga kebutuhan aspal akan berkurang.

Disamping keuntungan tersebut diatas, pemakaian agregat dengan ukuran besar memberikan sifat-sifat yang kurang baik antara lain:

- a. Kemudahan pelaksanaan pekerjaan berkurang.
- b. Segregasi bertambah besar.
- c. Mungkin terjadi gelombang melintang.

Ada dua cara untuk menentukan ukuran partikel agregat yaitu dengan:

- a. Ukuran maksimum, merupakan ukuran tapis atau ayakan terkecil dimana agregat tersebut lolos 100%.
- b. Ukuran nominal maksimum, merupakan tapis terbesar dimana agregat tertahan tapis tidak lebih dari 10%.

2.2.4 Daya tahan agregat

Daya tahan agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur atau pecah oleh pengaruh mekanis ataupun hujan. Degradasi didefinisikan sebagai kehancuran agregat menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan ataupun beban lalu lintas. Sedangkan disintegrasi didefinisikan sebagai pelapukan pada agregat menjadi butir-butir halus akibat pengaruh kimiawi seperti kelembaban, kepanasan ataupun perbedaan temperatur sehari-hari. Agregat yang digunakan untuk lapisan perkerasan haruslah mempunyai daya tahan terhadap degradasi (pemecahan) yang mungkin timbul selama proses pencampuran, pemadatan, repetisi beban lalu lintas dan disintegrasi (penghancuran) yang terjadi selama masa pelayanan jalan tersebut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi adalah:

1. Gradasi, gradasi terbuka (*open graded*) mempunyai tingkat degradasi yang lebih besar dibandingkan dengan gradasi rapat (*dense graded*).

2. Jenis agregat, agregat yang lunak mengalami degradasi yang lebih besar dari agregat yang lebih keras.
3. Energi pemadatan, degradasi akan terjadi lebih besar pada pemadatan dengan menggunakan energi pemadatan yang lebih besar.
4. Ukuran partikel, partikel yang lebih kecil mempunyai tingkat degradasi yang lebih kecil dibandingkan dengan partikel besar.
5. Bentuk partikel, partikel bulat akan mengalami degradasi yang lebih besar daripada yang berbentuk kubus (bersudut).

2.2.5 Bentuk dan tekstur agregat

Bentuk dan tekstur agregat mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut.

Partikel agregat dapat berbentuk:

1. Bulat (*rounded*), agregat yang dijumpai di sungai pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga umumnya berbentuk bulat. Partikel agregat bulat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil sehingga menghasilkan daya penguncian (*interlocking*) yang lebih kecil dan mudah tergelincir.
2. Lonjong (*elongated*), partikel agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai-sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya $>1,8$ kali diameter rata-rata. Indeks kelonjongan (*elongated index*) adalah perbandingan dalam persen dari berat agregat lonjong terhadap berat total. Sifat *interlocking*-nya hampir sama dengan berbentuk bulat.
3. Kubus (*cubical*), partikel berbentuk kubus merupakan bentuk agregat hasil dari mesin pemecah batu (*stone crusher*) yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas, karena berbentuk bidang rata sehingga memberikan *interlocking* yang lebih besar. Dengan demikian kestabilan yang diperoleh lebih besar dan lebih tahan terhadap deformasi yang timbul. Agregat berbentuk kubus ini paling baik digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.
4. Pipih (*flaky*), partikel agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu ataupun merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika

dipecahkan cenderung berbentuk pipih. Agregat dikatakan pipih jika lebih dari 0,6 kali diameter rata-rata. Indeks kepipihan (*flakiness index*) adalah berat total agregat yang lolos dibagi dengan berat total agregat yang tertahan pada ukuran nominal tersebut. Agregat berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan ataupun akibat beban lalu lintas, oleh karena itu banyaknya agregat pipih ini dibatasi dengan menggunakan nilai indeks kepipihan yang disyaratkan.

5. Tak Beraturan (*Irregular*), partikel agregat yang tidak beraturan, tidak mengikuti salah satu yang telah disebutkan di atas. Gesekan yang timbul antar partikel juga menentukan stabilitas dan daya dukung dari lapisan perkerasan. Besarnya gesekan dipengaruhi oleh jenis permukaan agregat yang dapat dibedakan atas agregat yang permukaannya kasar (*rough*), agregat yang permukaannya halus (*smooth*), agregat yang permukaannya licin dan mengkilap (*glassy*) dan agregat yang permukaannya berpori (*porous*). Gesekan timbul terutama pada partikel-partikel yang permukaannya kasar, sudut geser dalam antar partikel bertambah besar dengan semakin bertambah kasarnya permukaan agregat. Disamping itu agregat yang lebih kasar lebih mampu menahan deformasi yang timbul dengan menghasilkan ikatan antar partikel yang lebih kuat.

2.3 Semen Portland

Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih banyak kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. (ASTM C-150,1985).

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, terutama yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah (PUBI, 1982). Semen merupakan bahan perekat yang berfungsi mengikat antara agregat kasar dan agregat halus yang dicampurkan dengan air hingga membentuk suatu massa yang padat dan mengisi rongga-rongga di antara agregat.

Menurut ASTM maupun Standar Nasional Indonesia (SNI) semen dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Tipe I (*Ordinary Portland Cement*)

Semen Portland tipe I merupakan jenis semen yang umum digunakan untuk berbagai jenis pekerjaan konstruksi yang mana tidak terkena efek sulfat pada tanah atau berada di bawah air.

2. Tipe II (*Modified Cement*)

Semen Portland tipe II merupakan semen dengan panas hidrasi sedang atau di bawah semen Portland tipe I serta tahan terhadap sulfat. Semen ini cocok digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca dengan suhu yang cukup tinggi serta pada struktur drainase.

3. Tipe III (*Rapid-Hardening Portland Cement*)

Semen Portland tipe III memberikan kuat tekan awal yang tinggi. Penggunaan tipe III ini jika cekatan akan segera dibuka untuk penggunaan berikutnya atau kekuatan yang diperlukan untuk konstruksi lebih lanjut. Semen tipe III ini hendaknya tidak digunakan untuk konstruksi beton massal atau dalam skala besar karena tinggi panas yang dihasilkan dari reaksi beton tersebut.

4. Tipe IV (*Low-Heat Portland Cement*)

Semen Portland tipe IV digunakan jika pada kondisi panas yang dihasilkan reaksi beton harus diminimalisasi. Namun peningkatan kekuatan lebih lama dibandingkan semen tipe lainnya tetapi tidak mempengaruhi kuat akhir.

5. Tipe V (*Sulphate-Resisting Cement*)

Semen Portland tipe V digunakan hanya pada beton yang berhubungan langsung dengan sulfat, biasanya pada tanah atau air tanah yang memiliki kadar sulfat yang cukup tinggi. Semen tidak dapat bereaksi tanpa adanya air sebagai pereaksinya. Menurut Tjokrodimuljo (1992), Semen dan air termasuk dalam bahan perekat dimana setelah dicampurkan mengalami reaksi kimia menjadi pasta dan dalam beberapa jam mulai merekat dan dalam beberapa hari menjadi keras.

2.4 Air

Air adalah bahan yang diperlukan pada campuran beton agar bereaksi dengan semen dan menjadi pelumas antara butir-butir agregat sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dibutuhkan untuk mereaksikan semen hanya sekitar 30% dari berat semen (Tjokrodinuljo, 1992).

Syarat air yang baik untuk dapat direaksikan dalam pembuatan beton menurut PUBLI 1982 adalah:

1. Air harus bersih,
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat oleh mata,
3. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gr/lt,
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton lebih dari 5 gr/lt.

2.5 Beton Geopolimer

Beton Geopolimer adalah campuran beton di mana penggunaan material semen Portland sebagai bahan pengikat digantikan oleh bahan lain seperti abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi (*rice husk ash*), dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan aluminium (Davidovits, 1997). Penggantian bahan dasar semen Portland dianggap lebih ramah lingkungan dan lebih efektif dengan memanfaatkan bahan sisa limbah pabrik industri sehingga lebih peduli lingkungan.

Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi, silika (Si) dan aluminium (Al) mempunyai peranan yang penting dalam ikatan polimerisasi. Reaksi silika dan aluminium dengan alkali akan menghasilkan SiO dan AlO₄.

Ikatan Polimerisasi yang Terjadi pada beton geopolimer suatu campuran beton dikatakan sebagai beton geopolimer jika memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Pada beton segar (*fresh concrete*)

Beton geopolimer dalam keadaan segar memiliki sifat sebagai berikut:

- a. Memiliki *setting time* 1 jam pada suhu -20°C sampai 7-60 menit pada suhu 20°C.

- b. Penyusutan selama *setting* kurang dari 0.05%.
 - c. Kehilangan massa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0.1% (ASTM 4843).
2. Pada beton keras (*hardened concrete*)
- Beton geopolimer dalam keadaan keras memiliki sifat sebagai berikut:
- a. Memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 MPa pada umur 28 hari,
 - b. Memiliki kuat tarik sebesar 1-15 MPa pada umur 28 hari,
 - c. Memiliki *water absorption* kurang dari 3%.

Dalam penggunaannya, beton geopolimer memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

1. Kelebihan beton geopolimer.
 - a. Tahan terhadap serangan asam sulfat,
 - b. Tahan terhadap reaksi silika-alkali,
 - c. Tahan terhadap api,
 - d. Mempunyai rangkai dan susut yang kecil,
 - e. Dapat mengurangi polusi udara.
2. Kekurangan beton geopolimer
 - a. Proses pembuatan yang sedikit lebih rumit dibandingkan beton konvensional karena jenis material yang digunakan lebih banyak dari pada beton konvensional
 - b. Belum ada perhitungan *job mix formula* yang pasti.

2.6 Fly Ash

Fly Ash (abu terbang) merupakan limbah yang berasal dari hasil akhir dari proses pembakaran pada industri dan PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran yang ditangkap menggunakan *elektrostatic precipitator*. Pembakaran batubara pada pembangkit listrik terbentuk tiga jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*), *boilerslag* dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut abu terbang, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut abu dasar. Sebagian abu dasar berupa lelehan abu disebut

terak (*Boilerslag*) abu terbang ditangkap dengan *electrical precipilator* sebelum dibuang ke udara melalui cerobong.

Pozzoland dapat dipakai sebagai bahan tambahan atau bahan pengganti sebagian semen Portland. Bila dipakai sebagai pengganti sebagian semen Portland umumnya berkisar antara 10%-15% berat semen (Tjokrodinuljo, 1996).

2.7 Serat

2.7.1 Pengertian serat

Serat merupakan inklusi yang secara sengaja dicampurkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap retak dan propogansinya, kekuatan tarik serta keuletan beton. Efisiensi penggunaan serta tergantung kepada orientasi dan distribusi serta dalam beton. Penggunaan serat dalam beton karena, keretakan beton berkurang, porositas bertambah dan banyaknya udara yang terjebak pada campuran, efisiensi mempengaruhi penggunaan serat. (Munaf RD, Suharwanto, Firdaus, 2003).

Macam–macam serat yang bisa digunakan untuk perbaikan sifat beton berserat antara lain serat kawat bendrat (*steel fibre reinforced concrete*), baja (*steel fiber*), serat *polypropylene* (*polypropylene fiber*) sejenis plastik mutu tinggi, serat kaca (*glass fiber*), serat karbon (*carbon fiber*), serta serat dari bahan alami (*natural fiber*), seperti ijuk, rambut, serat goni, serat bambu, serat daun nanas dan serat serabut.

2.7.2 Serat kawat bendrat

Serat kawat bendrat biasanya disebut juga sebagai *steel fibre reinforced concrete* (SFRC), pada mulanya dikembangkan oleh JP Romualdi, orang Amerika serikat pada 1969.

Metode pembuatan serat kawat bendrat adalah :

1. Hasil pemotongan kawat berpenampang bulat lurus (*duoform*), ujung-ujungnya dibengkok (*bekaert*), gelombang (Johnson dan Nephew), pembesaran ujung (Tibo).

2. Pemotongan pelat tipis, penampang persegi, ada yang ujung-ujungnya diperbesar (EE).
3. Dibuat secara masinal, permukaan dikasarkan, penampang divariasi (Harlex).
4. Dibuat dari pelelehan metal, permukaan dikasarkan (Johnson *and* Nephew).

Karakteristik utama serat kawat bendrat adalah sebagai perkuatan pada beton antara lain :

1. Aspek rasio, yaitu perbandingan antara panjang dengan diameternya.
2. Kualitas permukaan dan adanya penjangkaran diujung-ujungnya.
3. Sifat mekanis material, kuat tarik 500 - 2400 MPa, modulus elastisitas 210 MPa.
4. Penggunaan: 0,5% sampai 2,0% beton. (Munaf RD, Suharwanto, Firdaus, 2003)

2.8 Kuat Lentur

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dengan satuan Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas.

Balok uji beton berpenampang persegi atau bujur sangkar dengan panjang total balok empat kali lebar penampangnya. Beban maksimum yang menyebabkan keruntuhan balok uji didapatkan dengan menggunakan beban terpusat tunggal (SNI 03-4154-1996). Kuat lentur dengan beban terpusat di tengah bentang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$f_{lt} = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan pengertian :

f_{lt} = Kuat Lentur benda uji (MPa)

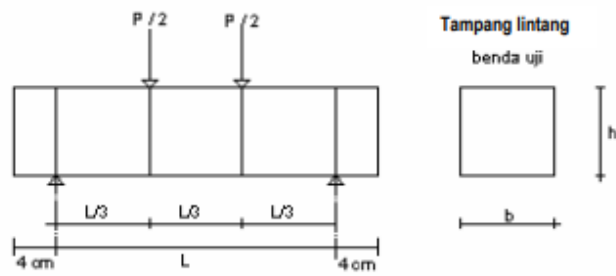
P = Beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N)

L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

h = tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

Pada SNI 4431-2011, sistem pembebanan pada pengujian kuat lentur beton dengan dua titik pembebanan. Untuk garis-garis perletakan pembebanan dapat dilihat pada gambar 2.1

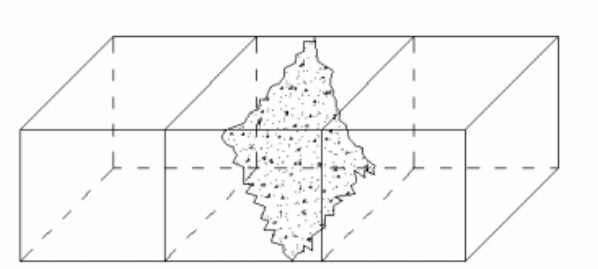


Gambar 2.1 Garis-garis perletakan pembebanan
(Sumber: SNI 4431-2011)

Rumus–rumus yang digunakan untuk pengujian kuat lentur beton dengan dua titik pembebanan sebagai berikut:

1. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

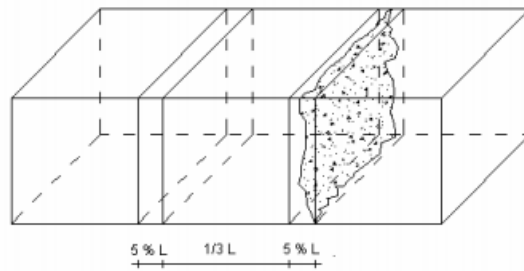
$$\sigma_I = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.2 Patah pada 1/3 bentang tengah
(Sumber: SNI 4431-2011)

2. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_I = \frac{P.a}{b.h^2} \dots\dots\dots (2.4)$$



Gambar 2.3 Patah diluar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada $<5\%$ dari bentang

(Sumber: SNI 4431-2011)

Dengan pengertian :

σ_f = Kuat Lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam beton sampai 3 angka di belakang koma)

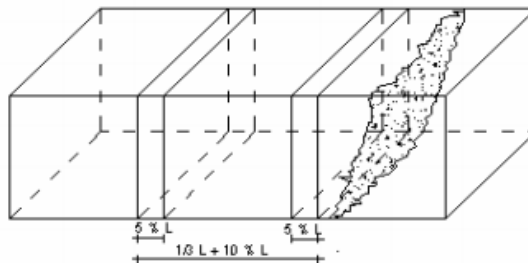
L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a = Jarak rata – rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat sudut dari bentang (mm)

3. Untuk benda uji yang patahnya di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak digunakan.



Gambar 2.4 Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah $>5\%$ dari bentang
(Sumber: SNI 4431-2011)

2.9 Job Mix Formula

2.9.1 Pengertian *job mix formula*

Job Mix Formula (JMF) merupakan proses memilih bahan-bahan beton yang tepat dan memutuskan jumlah/kuantitas ketergantungan dari bahan-bahan tersebut dengan mempertimbangkan syarat mutu beton, kekuatan (*strength*), ketahanan (*durability*) dan kemudahan pengerjaan (*workability*) serta nilai ekonomisnya (Anonim, 1991).

Tujuan dari perencanaan *job mix formula* (JMF) beton adalah guna mendapatkan jumlah ukuran perbandingan yang sesuai seperti semen, agregat kasar, agregat halus dan air. rancangan adukan beton juga memiliki maksud memperoleh beton yang tepat dengan bahan dasar tersedia.

2.9.2 Tahapan perancangan *job mix formula*

Proporsi campuran beton dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui perancangan campuran beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran yang direncanakan dapat memenuhi syarat teknis ekonomis. Dalam perancangan beton menurut SNI-03-2834-2000, agregat yang digunakan harus memenuhi syarat.