

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 BETON

##### 2.1.1 Definisi

Beton adalah suatu komposit dari beberapa bahan batu-batuan yang diikat oleh pengikat. Terdiri dari campuran agregat kasar dan agregat halus berupa pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lainnya dengan atau tanpa bahan campuran serta semen yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu.

Beton yang digunakan sebagai struktur dalam konstruksi teknik sipil dapat dimanfaatkan untuk banyak hal. Dalam teknik sipil, struktur beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, pelat lantai, pelat cangkang, untuk bangunan seperti bendung, bendungan, saluran samping gorong-gorong, saluran dan drainase perkotaan, serta untuk pekerjaan *rigid pavement*. Sehingga dapat dikatakan beton digunakan dalam seluruh aspek teknik sipil.

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan menggunakan beton pada bangunan adalah :

- Ekonomis (bahan dasar mudah diperoleh).
- Dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
- Kekuatan tekannya tinggi, sehingga cocok dipakai sebagai elemen yang memikul gaya tekan.
- Awet, tahan terhadap temperatur tinggi dan pemeliharaannya lebih mudah.

Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kekurangan sebagai berikut :

- Bentuk yang sudah dibuat sulit untuk diubah.
- Beton relatif merupakan material yang mudah retak.

- Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- Tegangan tariknya kecil jika dibandingkan dengan tegangan tekannya.
- Memiliki berat isi yang besar.
- Memiliki daya pantul suara yang besar.

Sifat beton yang sudah mengeras memiliki arti penting selama masa gunanya. Beberapa sifat-sifat penting dari beton yang telah mengeras adalah kekuatan tekannya, deformasi setelah menerima beban, keawetan, permeabilitas dan penyusutan. Dari beberapa sifat penting tersebut, kuat tekan merupakan sifat yang paling penting dari beton karena mutu beton sering kali dinilai berdasarkan kuat tekannya.

Disamping mempunyai kelebihan dan keuntungan, beton juga mempunyai kelemahan dan keterbatasan dalam penggunaannya. Beton merupakan bahan yang getas dan mempunyai tegangan tarik yang rendah, biasanya kekuatan tarik beton hanya 10% dari kemampuannya untuk memikul beban tekan. Oleh sebab itu beton umumnya tidak dibebani tarik, sehingga untuk pelaksanaan struktural biasanya dipasang tulangan tarik, beton demikian yang dinamakan beton bertulang. Jenis beton lain yaitu beton pratekan yang pada betonnya terlebih dulu diberi gaya tekan untuk mengimbangi gaya tarik yang bekerja kemudian.

Untuk menjamin agar mutu beton yang dihasilkan memenuhi persyaratan yang diinginkan, dianjurkan agar dilakukan pengujian terlebih dahulu pada agregat yang akan digunakan, kemudian membuat uji coba beton atau membuat uji campuran beton setelah rancangan campuran di laksanakan.

### 2.1.2 Sifat-Sifat Beton

Sifat umum yang ada pada beton adalah sebagai berikut :

a. Kemampuan dikerjakan (*workability*).

Bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dituang/dicetak, dan dipadatkan menurut tujuan

pekerjaannya tanpa terjadi perubahan yang menimbulkan penurunan mutu. Sifat mampu dikerjakan dari beton sangat tergantung pada sifat bahan, perbandingan campuran dan cara pengadukan serta jumlah seluruh air bebas.

b. Sifat tahan lama (*durability*).

Merupakan sifat dimana beton tahan terhadap pengaruh luar selama dalam pemakaian, antara lain ketahanan terhadap cuaca, ketahanan terhadap pengaruh zat kimia dan ketahanan terhadap erosi.

c. Sifat kedap air.

Untuk mendapatkan beton yang kedap air, perbandingan air semen harus direduksi seminimal mungkin sejauh kemudahan pekerjaan masih tercapai dan air cukup untuk keperluan panas hidrasi semen.

d. Kekuatan beton.

Kekuatan beton dipengaruhi oleh dua hal yaitu faktor air semen dan kepadatan. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang rendah, perubahan suhu akan mengakibatkan adanya muai susut pada beton yang mengakibatkan retak rambut pada beton, penyusutan kering dan perubahan kadar air, perubahan bentuk yang ditimbulkan oleh rayapan beton dan kerapatannya dalam air yang berhubungan dengan perlindungan terhadap karat pada tulangan beton.

Dalam perkembangannya beton diberi tambahan bahan lain untuk menambah kuat tarik, biasanya ditambah atau diperkuat dengan tulangan baja sesuai dengan kebutuhannya.

### 2.1.3 Komposisi Beton

Pedoman untuk komposisi spesi beton yang dapat dipegang antara semen, pasir, kerikil berupa perbandingan 1:2:3. Satuan perbandingan ini dalam volume. Misalkan, berdasarkan semen 50 kg (40 lt) berarti untuk agregat halus (pasir) sebanyak 80 lt, sedangkan untuk agregat kasarnya (kerikil) sebanyak 120 lt. Apabila hal ini terencana dengan baik, maka mutu beton yang kita buat akan

sesuai dengan mutu beton yang akan kita rencanakan. Agar dapat mencapai perbandingan campuran seperti diatas, maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Semen

Semen yang digunakan harus mencapai tingkat kehalusan yang baik, semen memenuhi syarat kehalusan apabila :

Tertahan saringan no.100 : 0 %

Tertahan saringan no.200 : maksimum 22 %

Semen yang dipakai pada pembuatan beton ini adalah jenis semen portland.

2. Pasir

Pasir sebaiknya dicuci bersih karena banyaknya kandungan bahan organik yang ada pada pasir dapat menyebabkan pasir tidak homogen. Sehingga dalam pencarian *Fines Modulus* tidak didapatkan angka mutlak dimana penimbangan pada saat percobaan analisa saringan, berat dari persentase pasir yang tertahan saringan tersebut tidak mencapai 100%.

3. Kerikil

Kerikil yang dipakai harus dicuci terlebih dahulu, selain itu gradasi yang akan digunakan sebaiknya memiliki ukuran yang rata yaitu sekitar antara 20-30 mm. Namun pada percobaan ini ukuran agregat yang dipakai menggunakan ukuran yang maksimum yaitu ukuran 20 mm.

4. Air

Air yang dapat digunakan untuk pembuatan beton harus air yang tidak mengandung zat yang dapat menghalangi proses pengikatan antara semen dan agregat. Kandungan zat yang dapat memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap kualitas beton antara lain: lempung, clay, asam, alkali, beberapa jenis garam yang lainnya, air limbah dan zat organik.

#### 2.1.4 Perilaku Sifat dan Karakteristik Beton

Perilaku sifat dan karakteristik beton merupakan sifat mekanis dari beton yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

##### 1. Kekuatan Tekan ( $f'_c$ ).

Kuat tekan beton diawali tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dengan satuan  $N/m^2$  atau MPa. Sebelum diberlakukannya system satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan  $kg/cm^2$ . Kekuatan tekan beton tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta lama dan kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton ( $f'_c$ ) ditentukan dengan silinder standar (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dirawat dibawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu pada umur 28 hari. Kuat tekan beton berkisar antara  $\pm 10 - 65$  MPa. Untuk standar beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17 - 30MPa. Kekuatan beton pada struktur aktual dapat saja tidak sama dengan kekuatan silinder karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan.

##### 2. Kekuatan Tarik ( $f'_{ct}$ ).

Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik beton normal adalah :

- 9% - 15%  $f'_c$  (Istimawan Diphohusodo, 1999)
- 10% - 20%  $f'_c$  (Edward G. Navy, 1990)
- 10%  $f'_c$  (W.H.Mosley, 1989)

Kekuatan tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, adalah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur beton polos (tanpa tulangan), sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik beton juga ditentukan melalui pengujian *split*

*cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya.

### 3. Kekuatan Geser.

Kekuatan geser lebih sulit diperoleh secara eksperimental dibandingkan dengan percobaan-percobaan kuat tekan dan tarik, karena sulitnya mengisolasi geser dari tegangan-tegangan yang lainnya. Banyak variasi kekuatan geser yang dituliskan dalam berbagai literature, mulai 20% dari kekuatan tekan pada pembebanan normal sampai sebesar 85% dari kekuatan tekan, pada kombinasi geser langsung dan tekan. Desain struktural yang ditentukan oleh kekuatan geser sering kali diabaikan karena tegangan besar biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah betonnya mengalami kegagalan tarik diagonal.

### 4. Modulus Elastisitas.

Modulus elastisitas adalah kemiringan suatu garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar 0,4 f'c). Harga ini pada perhitungan desain disebut modulus elastisitas, modulus ini memenuhi asumsi praktik bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastis. Terdapat sejumlah pilihan definisi tetapi yang paling umum dipakai adalah  $E = E_c$ ,  $E_c$  dikenal sebagai modulus elastisitas sekan atau modulus elastisitas statis.

Penting untuk menentukan secara tepat besarnya harga yang akan diambil sebagai modulus elastisitas.

$$E = \frac{\text{Tegangan } (\sigma)}{\text{Regangan } (\epsilon)} \quad (2-1)$$

Modulus elastisitas selain dipengaruhi oleh beban, dipengaruhi juga oleh faktor-faktor lain seperti kelembaban, faktor air semen, umur beton dan temperatur. Harga modulus elastisitas diperlukan untuk peninjauan lentur dan retak dari konstruksi. Harga ini mempengaruhi kekuatan dan mutu beton.

## 2.2 AGREGAT

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat meliputi sebanyak kurang lebih 60-75% dari volume beton atau mortar dan sisanya terdiri dari adukan semen yang telah mengeras, air yang belum bereaksi, dan rongga-rongga udara. Semakin padat agregat-agregat itu tersusun akan mempengaruhi kekuatan, daya tahan terhadap cuaca, dan nilai ekonomis dari beton tersebut. Atas dasar inilah gradasi dari ukuran-ukuran partikel mempunyai peran yang sangat penting, untuk menghasilkan susunan beton yang padat. Faktor penting lain ialah bahwa agregat harus mempunyai kekuatan yang baik, tahan lama dan tahan cuaca, permukaannya harus bebas dari kotoran seperti tanah liat, lumpur dan zat organik yang akan memperlemah ikatan dengan adukan semen, dan juga tidak boleh terjadi reaksi kimia yang tidak diinginkan di antara material tersebut dengan semen.

Ukuran agregat yang digunakan dalam pembuatan beton bervariasi, dari kurang lebih 10 milimeter hingga yang lebih kecil lagi. Ukuran dari agregat ini haruslah bergradasi baik, dari yang paling besar hingga yang paling kecil. Dalam produksi agregat, paling tidak terdapat dua jenis ukuran agregat, agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus, seringkali disebut pasir, memiliki ukuran yang tidak lebih besar dari 5mm, dan agregat kasar memiliki ukuran paling tidak 5mm. Karakteristik fisik dari agregat dan beberapa hal komposisi kimianya, dapat mempengaruhi sifat-sifat adukan dalam keadaan plastis maupun dalam keadaan yang telah mengeras dengan hasil yang berbeda-beda.

### 2.2.1 Klasifikasi Agregat

Agregat dapat diklasifikasikan berdasarkan berat jenis, sumber/asal agregat, dan ukuran agregat.

- a. Klasifikasi Agregat Ditinjau dari Berat Jenis.

Agregat diklasifikasikan berdasarkan berat jenisnya agregat normal, agregat ringan dan agregat berat.

- Agregat normal, jenis agregat ini dapat digunakan untuk tujuan umum dan menghasilkan beton dengan berat isi umum antara 2100-2700 kg/m<sup>3</sup>.
- Agregat ringan, jenis agregat ini dipakai untuk menghasilkan beton ringan dengan berat isi tidak lebih dari 2100 kg/m<sup>3</sup>. Beton yang dibuat dengan agregat ringan mempunyai sifat yang tahan api.
- Agregat berat, agregat berat dapat digunakan secara efektif dan ekonomis untuk jenis beton yang harus dapat menahan radiasi sehingga dapat memberi perlindungan sinar x , sinar y dan neutron. Agregat ini dipakai dalam pembuatan beton dengan berat isi tinggi lebih dari 2700 kg/m<sup>3</sup>.

b. Klasifikasi Agregat Ditinjau dari Sumber / Asal.

Berdasarkan sumbernya agregat dibagi menjadi dua, yaitu :

- Agregat Alam.  
Agregat alam yaitu agregat yang berasal dari alam tanpa pengolahan terlebih dahulu. Sebagian besar dari agregat yang berasal dari alam materialnya berasal dari batuan padat. Ada tiga jenis batuan yang digunakan sebagai sumber agregat yaitu : (i) batuan beku, (ii) batuan endapan dan (iii) batuan metamorf.
- Agregat Buatan.  
Agregat buatan adalah agregat yang dihasilkan sebagai hasil sampingan atau bahan buangan dari suatu produk tertentu. Contoh agregat buatan seperti: terak tanur tinggi , yaitu hasil sampingan dari produk peleburan besi, pecahan bata atau potongan batu bata yang tidak dipakai, termasuk limbah beton, abu terbang (*fly ash*) yang merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara.

c. Klasifikasi Agregat Ditinjau dari Ukuran.

Ukuran agregat maksimum yang digunakan untuk beton bergantung pada tujuan penggunaannya. Ukuran agregat maksimum yang biasa digunakan dalam pembuatan beton pada umumnya adalah 80 mm. Agregat dibagi menjadi dua kategori berdasarkan ukurannya :

- Agregat halus, ukurannya lebih kecil dari 4,75 mm.
- Agregat kasar, ukurannya lebih besar dari 4,75 mm.

Berdasarkan SK SNI T – 15 – 1990 – 03 agregat halus untuk beton adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm. Sedangkan agregat kasar untuk beton adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm. Besar butir yang direncanakan tergantung pada pemakaian.

d. Klasifikasi Agregat Ditinjau dari Bentuk.

Bentuk dari agregat sangat penting pada beton karena mempengaruhi *workability* beton. Bentuk dari agregat dipengaruhi oleh jenis batuan dan proses pemecahan batuan. Ditinjau dari bentuknya agregat digolongkan dalam bentuk-bentuk sebagai berikut : (Amri, Sjafei. 2005:31)

- Bulat  
Berbentuk bulat penuh atau bulat telur. Agregat ini banyak ditemukan di pantai dan sungai atau kali.
- Tidak beraturan  
Bentuk alaminya memang tidak beraturan atau sebagian terjadi karena pergeseran dan mempunyai sisi tepi yang bulat. Jenisnya ialah kerikil yang berasal dari gunung berapi.
- Pipih

Disebut pipih karena ketebalannya lebih kecil dibandingkan dua dimensi lainnya yaitu panjangnya lebih dari tiga kali lebarnya.

- **Memanjang**  
Disebut memanjang karena panjangnya jauh melebihi dua dimensi lainnya yaitu panjangnya lebih dari tiga kali lebarnya.
- **Pipih dan Memanjang**  
Yaitu butiran yang panjangnya jauh melebihi lebarnya, dan lebarnya jauh melebihi tebalnya.
- **Bersudut**  
Bentuk ini tidak beraturan, mempunyai sudut-sudut yang tajam dan permukaannya kasar. Agregat ini terbentuk karena dipecah dengan mesin pemecah batu.

### 2.2.2 Syarat Agregat Yang Akan Digunakan

Menurut ASTM C 33-78, agregat normal yang dipakai dalam campuran beton berat isinya tidak boleh kurang dari  $2200 \text{ kg/m}^3$ .

- Untuk Agregat Halus.
  1. Modulus halus butir (FM = Fineness Modulus / Angka Kehalusan) yaitu jumlah persen tertahan kumulatif dari suatu seri saringan yang disusun kelipatan dua mulai dari saringan  $150 \mu\text{m}$  ( $0,15 \text{ mm}$ ), dibagi dengan 100 sebesar 2,3 sampai 3,1.
  2. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron ( $0,0074 \text{ mm}$  atau No.200), dalam persen berat maksimum.
    - Untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3,0%.
    - Untuk beton jenis lainnya sebesar 5%.
  3. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapikan maksimal 3%.
  4. Kandungan arang dan lignit, maksimum :

- Bila tampak permukaan beton dianggap penting (*expose*) 0,5%.
- Beton jenis lainnya 1,0%.
- 5. Kadar zat organik yang terkandung yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan Natrium-sulfat ( $\text{NaSO}_4$ ) 3%. Jika dibandingkan dengan warna standar /perbandingan tidak lebih tua dari warna standar. Jika warnanya lebih tua ditolak, kecuali :
  - Warna lebih tua timbul karena adanya arang lignit atau yang sejenis.
  - Diuji dengan melakukan uji perbandingan kuat tekan beton yang dibuat di luar dengan pasir standar silika, hasilnya harus menunjukkan nilai dari 95%.
- 6. Tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton yang berhubungan dengan basah dan lembab atau yang berhubungan dengan bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali semen, di mana digunakan semen yang mengandung Natrium Oksida tidak lebih dari 0,6%.
- 7. Kekekalan jika diuji dengan larutan garam sulfat, jika diuji dengan Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 10%. Dan jika dipakai Magnesium Sulfat, maksimum 15%.
- Untuk Agregat Kasar.
  1. Tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali yang dipakai untuk beton yang berhubungan dengan basah dan lembab atau yang berhubungan dengan bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali semen, di mana digunakan semen yang mengandung Natrium Oksida tidak lebih besar dari 0,6%.
  2. Sifat fisika mencakup kekerasan agregat diuji dengan bejana Los Angeles. Batas izin yang berpengaruh buruk pada beton dan sifat fisika yang diizinkan untuk agregat kasar.

### 2.2.3 Sifat – Sifat Agregat

Sifat-sifat agregat yang perlu ditinjau sebagai bahan pada beton adalah :

a. Kekuatan Agregat.

Kekuatan agregat sangat menentukan terhadap kekuatan beton yang akan dibuat, tetapi kekuatan beton juga dipengaruhi oleh ikatan antara pasta semen dengan agregat. Kekuatan agregat dapat diuji dengan kuat tekan langsung atau kuat tekan tidak langsung. Untuk mengetahui kekuatan agregat menurut standar pengujian yang digunakan di Indonesia adalah dengan tes abrasi menggunakan alat Los Angelos atau di tes kuat hancurnya dengan bejana tekan Rudolf.

b. Susunan Butiran (Gradasi).

Grading merupakan tingkatan ukuran butir-butir agregat, dimana hal ini penting untuk pembuatan beton selama grading ini berpengaruh pada *workability* dari beton. Kebutuhan agregat sebagai bahan dengan volume relatif yang paling besar pada campuran beton, tidak hanya dilihat dari segi ekonomisnya mengingat harga agregat yang lebih murah dibandingkan dengan semen, namun juga dilihat dari segi teknisnya, yaitu berdasarkan asumsi bahwa semakin besar partikel solid yang dapat disumbangkan dalam sebuah mix beton, maka akan semakin besar kekuatan beton tersebut. Namun, apabila kerapatan dari mix beton ini mencapai maksimum, maka akan tercipta sebuah campuran yang kasar dan *unworkable*. *Workability* dapat dicapai ketika terdapat kelebihan pasta yang dibutuhkan untuk mengisi rongga-rongga dalam pasir, dan juga kelebihan mortar (pasir dan semen) yang digunakan untuk mengisi rongga-rongga pada agregat kasar.

Susunan butiran atau gradasi dari agregat akan mempengaruhi kepadatan beton. Agar beton yang dihasilkan memiliki kepadatan yang baik maka susunan butiran harus bervariasi dari yang besar sampai yang kecil. Untuk mengetahui susunan butiran dapat dilakukan dengan analisa ayak.

Menurut Amri Sjafei, (2005:18) menyebutkan persyaratan susunan butir agregat kasar dan agregat halus berdasarkan SNI harus memenuhi angka persentase maksimum sebagai berikut :

- **Persyaratan Gradasi Agregat Halus**  
Menurut SNI 03-1750-1990, susunan butir agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :
  - Sisa di atas ayakan 4,0 mm harus maximum 2 % berat.
  - Sisa di atas ayakan 1,0 mm harus maximum 10 % berat.
  - Sisa di atas ayakan 0,25 mm harus berkisar antara 80 % hingga 95 % berat.
- **Persyaratan Gradasi Agregat Kasar**  
Menurut SNI 03-1750-1990, susunan butir agregat kasar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :
  - Sisa di bawah ayakan 31,5 mm, harus 0 % berat.
  - Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus berkisar antara 90 % - 98 % berat.
  - Selisih antara sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10%.

c. **Berat Jenis ( *Specific Gravity* ) dan Penyerapan Air.**

Sebelum merancang beton perlu diketahui dulu berat jenis agregatnya.

Berat jenis ini akan mempengaruhi rancangan campuran beton. Berat jenis ini ada tiga macam yaitu:

- Berat jenis SSD, ialah berat jenis agregat dalam kondisi jenuh kering permukaan.
- Berat jenis semu, ialah berat jenis agregat yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan volume agregat dalam keadaan kering.

- Berat jenis Bulk, ialah berat jenis agregat yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat.

Karena dalam beton kondisi agregat dalam keadaan jenuh maka di dalam rancangan campuran hanya *Bulk Specific Gravity SSD* saja yang digunakan.

Penyerapan air adalah kemampuan suatu benda untuk menyerap air dari keadaan kering mutlak menjadi keadaan SSD. Penyerapan air pada agregat mempengaruhi terhadap daya rekat antara pasta semen dengan agregat serta keawetan dari agregat itu sendiri. Pada umumnya agregat yang memiliki penyerapan air tinggi daya rekatnya dengan semen baik, tetapi dengan penyerapan air tinggi dapat menyebabkan mineral yang mudah larut dalam air, akan cepat hilang sehingga keawetan dari agregat menjadi berkurang.

d. Kadar Air.

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat. Kadar air pada agregat berubah-ubah tergantung kondisi agregatnya. Kondisi agregat dapat digambarkan sebagai berikut :

- Kondisi Kering Oven.  
Kondisi ini didapat bila agregat di dalam suhu lebih dari 100°C, sehingga kadar airnya 0 %.
- Kondisi Kering Udara.  
Apabila agregat diletakkan dalam ruangan terbuka, maka sebagian air yang terdapat dalam agregat akan mengalami penguapan. Penguapan tersebut tidak akan menghabiskan air yang dikandungnya, kondisi yang seperti ini dinamakan kondisi kering udara.
- Kondisi SSD.

Kondisi ini adalah kondisi di mana agregat di dalamnya jenuh dengan air tetapi bagian permukaannya kering. Kondisi ini terjadi pada agregat yang basah dan jenuh air di lap bagian permukaannya.

- **Kondisi Basah.**  
Pada kondisi ini agregat jenuh dengan air dan air yang ada sampai-sampai menyelimuti agregatnya. Kondisi ini terjadi pada agregat yang selalu dalam kondisi basah karena air hujan atau terendam air.

#### 2.2.4 Unsur Kimia Yang Terkandung Pada Agregat Halus

Selain syarat-syarat agregat halus yang telah dibahas di atas tersebut, ada beberapa angka/koeffisien pasir yang perlu diketahui dan sering dipakai dalam perencanaan mutu beton, yaitu:

1. Bobot isi pasir
2. Kadar zat kimia yang terkandung dalam pasir.

Hal ini penting dikaji sebelum pasir digunakan untuk material beton, karena sangat banyaknya tempat-tempat pengambilan pasir alam yang diduga menghasilkan pasir dengan mutu yang berbeda. Secara umum material pasir yang biasa digunakan untuk pembuatan beton mengandung beberapa zat-zat kimia dengan kadar tertentu.

Zat-zat kimia yang biasanya terkandung adalah:

$\text{SiO}_2$  (80,35%);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,66%);  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (8,96%);  $\text{CaO}$  (3,37%); dan  $\text{MgO}$  (1,64%).

### 2.3 SEMEN PORTLAND

Semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049, 2004:1).

Bahan baku semen portland dibentuk dari oksida-oksida utama (Amri, Sjafe. 2005 : 51) yaitu :

1. Kapur (CaO).

Batu kapur merupakan sumber utama oksida yang mempunyai rumus  $\text{CaCO}_3$  (Calcium Carbonat), pada umumnya tercampur  $\text{MgCO}_3$  dan  $\text{MgSO}_4$ . Batu kapur yang baik dalam penggunaan pembuatan semen memiliki kadar air  $\pm 5\%$ , dan penggunaan batu kapur dalam pembuatan semen itu sendiri sebanyak  $\pm 81\%$ .

2. Silika ( $\text{SiO}_2$ ).

Pasir silika memiliki rumus  $\text{SiO}_2$  (silikon dioksida). Pada umumnya pasir silika terdapat bersama oksida logam lainnya, semakin murni kadar  $\text{SiO}_2$  semakin putih warna pasir silikanya, semakin berkurang kadar  $\text{SiO}_2$  semakin berwarna merah atau coklat, disamping itu semakin mudah menggumpal karena kadar airnya yang tinggi. Pasir silika yang baik untuk pembuatan semen adalah dengan kadar  $\text{SiO}_2 \pm 90\%$ , dan penggunaan pasir silika dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar  $\pm 9\%$ .

3. Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Kandungan Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) banyak terdapat pada tanah liat, rumus kimia tanah liat yang digunakan pada produksi semen  $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Tanah liat yang baik untuk digunakan memiliki kadar air  $\pm 20\%$ , kadar  $\text{SiO}_2$  tidak terlalu tinggi  $\pm 46\%$ , dan penggunaan tanah liat dalam pembuatan semen itu sendiri sebesar  $\pm 9\%$ .

#### 4. Oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Pasir besi memiliki rumus kimia  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Ferri Oksida) yang pada umumnya selalu tercampur dengan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$  sebagai impuritiesnya.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  berfungsi sebagai penghantar panas dalam proses pembuatan terak semen. Kadar yang baik dalam pembuatan semen yaitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \pm 75\%-80\%$ .

Semua bahan tersebut di atas dicampur pada kondisi kering atau kondisi basah dalam kondisi yang tepat, lalu dibakar secara bertahap di dalam tungku pembakaran. Setelah mengalami pembakaran keempat pada suhu  $1150^\circ\text{C}$  -  $1450^\circ\text{C}$  bahan tersebut menjadi klinker, klinker ini kemudian didinginkan dan digiling halus lalu dicampur dengan gips alam 3-5% untuk mengendalikan waktu pengikatan semen supaya tidak berlangsung dengan cepat. Reaksi kimia saat pembentukan bahan antara semen dan air : Semen PC +  $\text{H}_2\text{O}$   $\rightarrow$  Gel kalsium silikat hidrat (CSH) atau pasta semen, merupakan senyawa penggabungan atau pengikatan bersifat ekonomis antara semen PC dan air yang membentuk pasta semen dan selanjutnya mengeras sesuai dengan pertambahan waktu (Suseno, Hendro. 2010 : 6).

Apabila semen dicampur dengan air maka akan terjadi reaksi hidrasi yang bersifat eksotermis, dimana pada saat pengikatan dan pengerasan terjadi pelepasan panas yang disebut panas hidrasi. Ukuran butiran semen sangat menentukan dan mempengaruhi proses-proses diatas, namun karena sangat kecilnya maka akan digunakan kehalusan butiran yang dinyatakan oleh luas permukaan dapat dibentuk oleh butiran semen. Semakin besar luas ini maka kecepatan reaksi hidrasi dan panas hidrasi juga semakin tinggi (Suseno, Hendro. 2010 : 86).

### 2.3.1 Syarat Mutu Semen Portland

Di dalam SNI 15-2049-2004 dinyatakan semen harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

Syarat Kimia.

Persyaratan kimia semen portland harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

**Tabel 2.1.** Syarat Kimia Utama Semen Portland

satuan dalam %

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	SiO <sub>2</sub> , minimum	-	20,0 <sup>b,c)</sup>	-	-	-
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0	-	-	-
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , maksimum	-	6,0 <sup>b,c)</sup>	-	6,5	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	SO <sub>3</sub> , maksimum					
	Jika C <sub>3</sub> A ≤ 8,0	3,0	3,0	3,5	2,5	3,0
	Jika C <sub>3</sub> A > 8,0	3,5	<sup>d)</sup>	4,5	<sup>d)</sup>	<sup>d)</sup>
6	Hilang pijar, maksimum	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C <sub>3</sub> S, maksimum <sup>a)</sup>	-	-	-	35 <sup>b)</sup>	-
9	C <sub>2</sub> S, minimum <sup>a)</sup>	-	-	-	40 <sup>b)</sup>	-
10	C <sub>3</sub> A , maksimum <sup>a)</sup>	-	8,0	15	7 <sup>b)</sup>	5 <sup>b)</sup>
11	C <sub>4</sub> AF + 2 C <sub>3</sub> A atau <sup>a)</sup>					
	C <sub>4</sub> AF + C <sub>2</sub> F , maksimum	-	-	-	-	25 <sup>c)</sup>

(sumber : SNI 15-2049, 2004:3)

**Tabel 2.2.** Syarat Kimia Tambahan<sup>a)</sup> Semen Portland

satuan dalam %

No	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	C <sub>3</sub> A , maksimum	-	-	8	-	-
2	C <sub>3</sub> A , minimum	-	-	5	-	-
3	(C <sub>3</sub> S + 2 C <sub>3</sub> A) , maksimum	-	58 <sup>b)</sup>	-	-	-
4	Alkali, sebagai					
	(Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O), maksimum	0,60 <sub>C)</sub>	0,60 <sub>C)</sub>	0,60 <sub>C)</sub>	0,60 <sub>C)</sub>	0,60 <sub>C)</sub>

(sumber : SNI 15-2049, 2004:3)

Syarat Fisik.

**Tabel 2.3.** Syarat Fisika Utama Semen Portland

No.	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1.	Kehalusan:					
	Uji permeabilitas udara, m <sup>2</sup> /kg					
	Dengan alat :					
	Turbidimeter, min	160	160	160	160	160
	Blaine, min	280	280	280	280	280
2	Kekekalan :					
	Pemuaian dengan autoclave, maks %	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Kuat tekan:					
	Umur 1 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	-	-	120	-	-
	Umur 3 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	125	100	240	-	80
			70 <sup>a)</sup>			
	Umur 7 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	200	175	-	70	150
		120 <sup>a)</sup>				
	Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	280	-	-	170	210
4	Waktu pengikatan (metode alternatif) dengan alat:					
	Gillmore					
	- Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	- Akhir, menit, maksimum	600	600	600	600	600
	Vicat					
	- Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
- Akhir, menit, maksimum	375	375	375	375	375	

(sumber : SNI 15-2049, 2004:4)

**Tabel 2.4.** Syarat Fisika Tambahan<sup>a)</sup> Semen Portland

No.	Uraian	Jenis semen portland				
		I	II	III	IV	V
1	Pengikatan semu penetrasi akhir, % min.	50	50	50	50	50
2	Kalor hidrasi					
	Umur 7 hari, kal/gram, maks	-	70 <sup>b)</sup>	-	60	-
	Umur 28 hari, kal/gram, maks	-	-	-	70	-
3	Kuat tekan:					
	Umur 28 hari, kg/cm <sup>2</sup> , minimum	-	280	-	-	-
4	Pemuaian karena sulfat 14 hari, %, maks.	-	220 <sup>b)</sup>	-	-	0,040
5	Kandungan udara mortar, % volume, maks.	12	12	12	12	12

(sumber : SNI 15-2049, 2004:5)

### 2.3.2 Klasifikasi Semen Portland

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya menurut SNI 15-2049-2004, semen portland dibagi dalam 5 jenis :

- a. Jenis I : Semen Portland Tipe I.  
Untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen portland jenis lain.
- b. Jenis II : Semen Portland Tipe II.  
Semen yang mempunyai panas hidrasi lebih rendah dan keluarnya panas lebih lambat daripada semen Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III : Semen Portland Tipe III.  
Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV : Semen Portland Tipe IV.  
Untuk konstruksi-konstruksi yang persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- e. Jenis V : Semen Portland Tipe V.  
Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap konsentrasi sulfat.

#### 2.4 BAHAN PENGISI (*Filler*)

Bahan Pengisi (*filler*) adalah suatu bahan berbutir halus yang lolos saringan No. 30 dimana persentase berat yang lolos saringan No. 200 minimal 65%. Bahan filler dapat berupa abu batu, kapur, semen atau bahan non plastis lain (Bina Marga, 1989). Menurut ASTM (1989) bahan *filler* harus terdiri dari material mineral yang dapat dibagi secara halus seperti abu batu, terak, kapur, semen, abu terbang atau material mineral lain yang sesuai. Pada saat pemakaian, bahan tersebut harus cukup kering untuk bergerak secara bebas dan bebas dari penggumpalan. Bahan *filler* berasal dari abu batu, terak dan bahan yang serupa yang bebas dari bahan-bahan organik dan mempunyai nilai indeks plastisitas < 4. Bahan pengisi (*filler*) harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pengujian analisa saringan secara basah, harus memenuhi gradasi seperti pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5.** Syarat Gradasi Bahan Pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	Persentase Berat Yang Lolos
No.30 (0,590 mm)	100
No.50 (0,279 mm)	95 - 100
No.100 (0,149 mm)	90 - 100
No.200 (0,074 mm)	65 - 100

Sumber : Bina Marga (1989), SNI No. 1737 - 1989 – F

Secara umum bahan pengisi (*filler*) beton terbuat dari bahan-bahan yang mudah diperoleh, mudah diolah (*workability*) dan mempunyai keawetan (*durability*) serta kekuatan (*strength*) yang sangat diperlukan dalam pembangunan suatu konstruksi. Bahan pengisi dapat terdiri atas debu batu kapur, debu dolomite, semen portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Dari sekian banyak jenis bahan pengisi maka kapur padam banyak digunakan dari pada portland semen. Portland semen mudah diperoleh dan mempunyai grading butiran yang bagus namun demikian harganya sangat mahal.

Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekuatan beton dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan beton maka akan menaikkan volumenya. Peneliti telah sepakat menaikkan kuantitas bahan pengisi akan menyebabkan meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran, namun ada batasnya. Terlalu tinggi kandungan bahan pengisi akan menyebabkan campuran menjadi getas dan mudah retak bila terkena beban.

Bahan tambahan atau yang disebut juga sebagai filler ini dibagi ke dalam beberapa jenis berdasarkan sifatnya. Sifat tersebut adalah inert, pozzolanik, dan hidrolik.

- Inert adalah bahan yang tidak bereaksi secara kimia, dalam hal ini tidak bereaksi secara kimia terhadap semen.
- Pozzolanik adalah bahan yang akan bereaksi secara kimia terhadap semen hidraulis
- Bahan hidrolik merupakan bahan yang akan mengeras akibat hidrasi/panas.

Piripilit yang akan digunakan untuk penelitian ini diklasifikasikan sebagai filler Tipe I, klasifikasi filler dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel 2.6.** Tipe *Filler* Berdasarkan Sifatnya

Tipe I	inert atau semi inert	Mineral filler
		(limestone, dolomite, dll)
		Ground glass filler
Tipe II	Pozzolanik	Pigmen
		Fly ash
	Hidrolik	Silica fume
		Granulated blast furnace slag

Sumber: Efnarc Association, *The European Guideliness For Self Compacting Concrete*

## 2.5 AIR

Air adalah salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton, air diperlukan agar terjadi reaksi kimia dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas agregat agar mudah dalam pengerjaannya. Air yang umumnya dapat digunakan untuk beton adalah air yang dapat diminum. Tetapi tidak semua air dapat memenuhi syarat tersebut karena mengandung berbagai macam unsur yang dapat merugikan.

SKSNI S – 04 -1989 – F mensyaratkan air yang dapat digunakan sebagai bahan bangunan sebagai berikut :

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak mengandung benda-benda yang bersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m sebagai  $SO_3$ .
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan dan beton yang memakai air suling, maka penurunan kekuatan adukan dan beton yang memakai air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya.
7. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat tersebut di atas tidak boleh mengandung klorida lebih dari 50 p.p.m.
8. Tidak boleh mengandung klorida lebih dari 50 p.p.m.

## 2.6 PIROPILIT

### 2.6.1 Definisi

Piropilit merupakan batuan jenis metamorf yang memiliki sifat dapat teraktifasi oleh pengaruh asam dan panas. Untuk mengetahui kinerja piropilit secara optimum, maka piropilit yang nantinya digunakan sebagai bahan penggantian agregat halus yang diproporsikan dengan agregat halus. Hal ini dilakukan karena secara fisik piropilit memiliki tingkat kekerasan yang rendah dan tingkat penyerapan air yang cukup tinggi.

Piropilit adalah paduan dari aluminium silikat, yang mempunyai rumus kimia  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Mineral yang termasuk piropilit adalah kianit, andalusit, dan diaspor. Bentuk kristal piropilit adalah monoklin serta mempunyai sifat fisik dan kimia yang mirip dengan talk.

#### Sifat Fisik :

Sifat fisik mineral ini ditunjukkan dengan warna putih keabuan, kekerasan 1-2 skala mohs, kilap seperti mutiara, dapat ditembus oleh cahaya, pecahan uneven / conchoidal, densitas 2.85 g/cm<sup>3</sup>, cerat putih, belahan 1 arah.

#### Sifat Kimia :

Komposisi kimia yang penting Al, H, O, Si, mengandung unsur silika, termasuk dalam mineral grup piropilit – talk, rumus kimia  $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ .

#### Sifat Optik :

Sistem kristal monoclinic, kelas kristal prismatic, pleokroisme tampak lemah , mempunyai surface relief sedang, optic  $n_\alpha = 1.534 - 1.556$   $n_\beta = 1.586 - 1.589$   $n_\gamma = 1.596 - 1.601$ .

Lingkungan Pembentukan :

Mineral ini terbentuk sebagai pengisi pada urat-urat *hydrothermal*. Dimana urat-urat tersebut terbentuk pada fracture akibat densitas protolith yang lemah.

Piropilit terdapat di beberapa tempat yang diakibatkan munculnya formasi andesit tua, seperti di Pulau Sumatera, Jawa Barat, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, dan Pulau Sulawesi. Piropilit terbentuk umumnya berkaitan dengan formasi andesit tua yang memiliki kontrol struktur dan intensitas ubahan hidrotermal yang kuat. Piropilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen), seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi dan pH asam.

Kegunaan piropilit adalah untuk pakan ternak, industri kertas sebagai pengganti talk, pengganti bahan beton, selain itu juga dapat digunakan untuk tujuan sebagai berikut :

1. Mewujudkan beton ramah lingkungan (green concrete).

Hal ini disebabkan karena mengurangi pelepasan CO<sub>2</sub> ke udara sebagai salah satu penyebab rusaknya lapisan ozon.

2. Meningkatkan kekuatan tekan beton.

Setelah dilakukan metode pengujian tekan terhadap benda uji laboratorium dan analisis data dengan uji anova serta regresi sehingga dapat diketahui hubungan antara penambahan pyrophyllite dan kekuatan beton yang dihasilkan mencapai hingga 42 persen.

3. Sebagai bahan baku industri keramik dan porselin.

Mineral piropilit Sumbermanjing Malang Selatan mempunyai komposisi kimiawi sebagai berikut :

SiO<sub>2</sub> (84,30%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,80%), MgO (1,26%), CaO (0,68%), K<sub>2</sub>O (0,25%), Na<sub>2</sub>O (0,64%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,56%). Kemungkinan yang 9,41% adalah komponen TiO<sub>2</sub>, juga

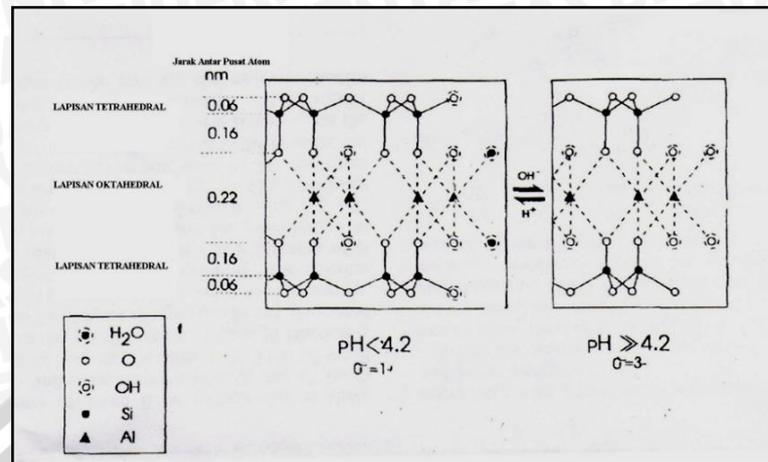
pengotor lain seperti senyawa-senyawa Cu, Zn dan asam humat yang sering terdapat dalam mineral. Bersifat padatan kristalin dengan kandungan kwarsa sebesar 25,5(7) % dan rutil sebesar 0,6(8)%. Mineral phyropilit tersebut mempunyai serapan-serapan karakteristik pada bilangan gelombang 950-1250  $\text{cm}^{-1}$  untuk vibrasi ulur dari O-Si-O dan Al-O-Al, bilangan gelombang 400-450  $\text{cm}^{-1}$  untuk vibrasi tekuk dari O-Si-O dan Al-O-Al, bilangan gelombang 3478  $\text{cm}^{-1}$  untuk gugus hidroksil dari air dan pada bilangan gelombang 3674,7  $\text{cm}^{-1}$ , merupakan spektra spesifik untuk gugus OH dari gipsit (Mutrofin. *et al* , 2005).

Mineral phyropilit Sumbermanjing Malang selatan mempunyai luas permukaan spesifik sebesar 6,362  $\text{m}^2/\text{g}$ , volume pori sebesar 0,008  $\text{cm}^3/\text{g}$  dan jari-jari pori sebesar 24,116 Å. Ini menunjukkan bahwa phyropilit tersebut termasuk dalam kelompok mineral mesopori (Mutrofin. *et al* , 2005).

### 2.6.2 Pengaktifan Mineral Phyropilit

Aktifasi mineral yang mempunyai kemampuan sebagai adsorben maupun penukar anion dan kation dapat dilakukan dengan kalsinasi (cara fisik) atau dengan menggunakan larutan asam atau basa (cara kimia). Aktivasi dengan larutan asam dimaksudkan untuk mengganti kation-kation yang ada dalam rongga mineral dengan ion  $\text{H}^+$ .

Menurut, Keren. *et al*, 1994, gugus fungsi paling reaktif pada permukaan mineral clay adalah gugus hidroksil. Pada phyropilit adanya gugus OH-, terhubung dengan 2 jenis situs yang berperan penting dalam kemampuannya untuk adsorpsi yaitu gugus OH- yang terikat pada permukaan lapisan oktahedral (Al(III)) dan gugus OH- yang terikat pada lapisan tetrahedral (Si(IV)).



**Gambar 2.1.** Skema susunan atom dari phyropilit (sumber : Keren, et al, 1994)

Gugus - gugus OH-, yang terikat pada situs Al(III) maupun situs Si(IV) merupakan gugus yang reaktif terhadap perubahan pH. Pada pH rendah OH- akan berubah menjadi situs asam Lewis sedang pada pH tinggi akan menjadi situs basa Lewis. Secara normal, sebenarnya struktur dari phyropilit terdiri dari lapisan-lapisan tetrahedral-oktahedral-tetrahedral yang netral, sehingga untuk meningkatkan perannya dalam mengadsorpsi anion atau kation pengaturan pH sangat menentukan (Keren, et al. 1994 ; Handoko, 2003).

Pengaktifan phyropilit dengan kalsinasi diharapkan dapat mengeluarkan molekul-molekul H<sub>2</sub>O dan kemungkinan adanya pengotor yang masih tersisa pada saat aktivasi dengan HCl saja. Pemanasan phyropilit pada suhu tinggi mengakibatkan terjadinya proses dehidroksilasi dan transformasi fase (Wang, et al, 2003). Kalsinasi sendiri mengandung pengertian sebagai proses disosiasi , misalnya disosiasi padatan aluminium hidroksida menjadi padatan aluminium oksida dan uap air (Van Vlack, 1982) :



### 2.6.3 Pengaruh Piropilit Pada Kekuatan Beton

Penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa, setelah dilakukan metode pengujian tekan terhadap benda uji laboratorium dan analisis data dengan uji anova serta regresi sehingga dapat diketahui hubungan antara penambahan pyrophyllite dan kekuatan beton yang dihasilkan mencapai hingga 42% dari kekuatan awal pada penambahan phyropilit 15% (Angraini, 2007).

Angraini, *et al* (2006) mencoba memanfaatkan phyropilit sebagai bahan tambahan dalam pembuatan paving stones. Dengan penambahan 10% mineral phyropilit, maka akan menghasilkan kekuatan yang meningkat sampai lebih kurang 20% dari kekuatan awal. Peningkatan kekuatan ini terjadi karena semen telah mengaktifasi mineral phyropilit yang digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan paving stones.



## 2.7 PERENCANAAN CAMPURAN DAN PENGUJIAN BETON

Pada pembuatan beton diperlukan suatu perencanaan campuran atau lebih dikenal dengan nama mixed design. Tujuan dari perencanaan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus, agregat kasar, serta air yang memenuhi persyaratan berikut:

1. Kuat tekan, dan kuat lentur yang dicapai pada 28 hari (atau umur yang ditentukan) harus memenuhi persyaratan yang diberikan oleh perencanaan konstruksinya.
2. Workabilitas.
3. Durabilitas.
4. Penyelesaian akhir dari permukaan beton.

### 2.7.1 Kekuatan Tekan

Campuran beton biasanya direncanakan untuk memberikan kuat tekan rata-rata 28 hari setelah pencampuran, yang akan memberikan keuntungan dalam karakteristik akan kekuatan minimum persyaratan perencanaannya. Kuat silinder mengikuti suatu distribusi normal, sehingga bila jumlah silinder yang dibuat mencukupi, hanya ada beberapa yang sangat tinggi kekuatannya. Pada konsep "kekuatan minimum" terjadi 1,5% – 2,5% kegagalan atas kekuatan kubus, begitu pula dengan silinder.

Menurut SK SNI M - 14 -1989 - E kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Sedangkan menurut Mulyono (2006) mengemukakan bahwa kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur di mana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$f_c = P/A \quad (2-2)$$

Dimana :  $f_c$  = Kuat Tekan Beton (Mpa)

- P = Beban runtuh/gaya tekan (KN)  
A = Luas Penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

### 2.7.2 Workabilitas

Istilah workabilitas sulit untuk didefinisikan dengan tepat, dan Newman mengusulkan agar didefinisikan sekurang-kurangnya 3 buah, yaitu:

1. Kompaktibilitas, atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan dan rongga-rongga udara diambil.
2. Mobilitas, atau kemudahan dimana beton dapat mengalir di dalam cetakan di sekitar baja.
3. Stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen, koheren, dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi pemisahan butiran (segregasi).

Pada hal ini dapat ditambahkan kemudahan dimana tercapai penyelesaian akhir yang baik, terutama untuk permukaan vertikal yang dicetak dengan acuan dan pelat lantai, dimana dibutuhkan tenaga untuk menambalnya. Apabila beton nya dibuat untuk beberapa tujuan yang berbeda-beda, maka dalam segi penyederhanaan, maka dalam merencanakan campuran beton usahakan yang semudah mungkin untuk dikerjakan.

### 2.7.3 Durabilitas

Durabilitas atau sifat awet berhubungan dengan kekuatan desak, pada umumnya semakin besar kekuatan makin awet beton nya. Meskipun demikian, sering terjadi kekuatan yang disyaratkan dapat tercapai dengan campuran yang besar faktor air/semennya dari pada yang dapat memberikan durabilitas yang cukup terhadap lingkungan yang dialami beton. Dalam hal ini faktor air/semen yang sebenarnya dan kepadatan beton merupakan faktor yang menentukan, dan kekuatannya mungkin akan lebih besar daripada yang disyaratkan dengan ketat untuk tujuan struktural.

#### 2.7.4 Kuat Lentur Beton

Bila suatu penampang beton bertulang yang dibebani lentur, dianalisa pertama-tama perlu dipakai sejumlah kriteria agar penampang itu mempunyai probabilitas keruntuhan yang layak pada keadaan batas hancur. Penampang yang dianalisis mempunyai pengaruh yang sangat besar pada suatu prosedur atau suatu anggapan dasar tertentu yang disepakati mempunyai ada probabilitas keruntuhan yang tertentu pula.

Teori lentur untuk beton bertulang beranggapan bahwa beton akan retak di daerah tegangan tarik dan setelah retakan terjadi seluruh tarikan ditahan oleh tulangan. Teori ini juga menganggap bahwa tampang bagian konstruksi struktural yang datar akan tetap datar setelah terjadi peregangan, sehingga beton akan retak pada taraf pembebanan kecil yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik.

Tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar (momen batas). Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi penampang beton bertulang. Berdasarkan terjadinya leleh tulangan tarik atau hancurnya beton yang tertekan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Penampang *Balanced*

Tulangan tarik yang meleleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003 sedangkan regangan baja sama dengan tegangan lelehnya.

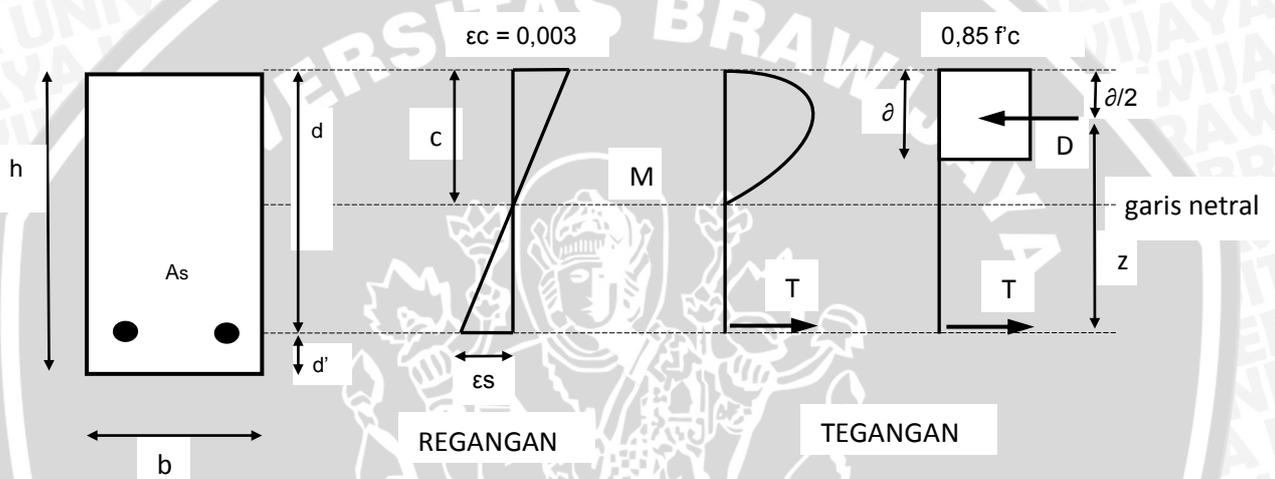
2. Penampang *Over-reinforced*

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada saat awal keruntuhan, regangan baja ( $\epsilon_s$ ) yang terjadi masih kecil dari pada regangan lelehnya ( $\epsilon_y$ ). dengan demikian tegangan baja ( $f_s$ ) juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya ( $f_y$ ). Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

3. Penampang *Under-reinforced*

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan ( $\epsilon_y$ ). Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.

Dengan demikian hampir semua peraturan perencanaan merekomendasikan perencanaan balok dengan tulangan yang bersifat *Under-reinforced* untuk memberikan peringatan cukup, seperti terjadinya defleksi yang berlebihan.



**Gambar 2.2.** Diagram tegangan dan regangan serta gaya-gaya dalam beton

Dari gambar diatas, C adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral. Sedangkan T adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah garis netral. Kedua gaya ini arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak ( $z$ ) sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam dimana nilai maksimum nya disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur lentur.

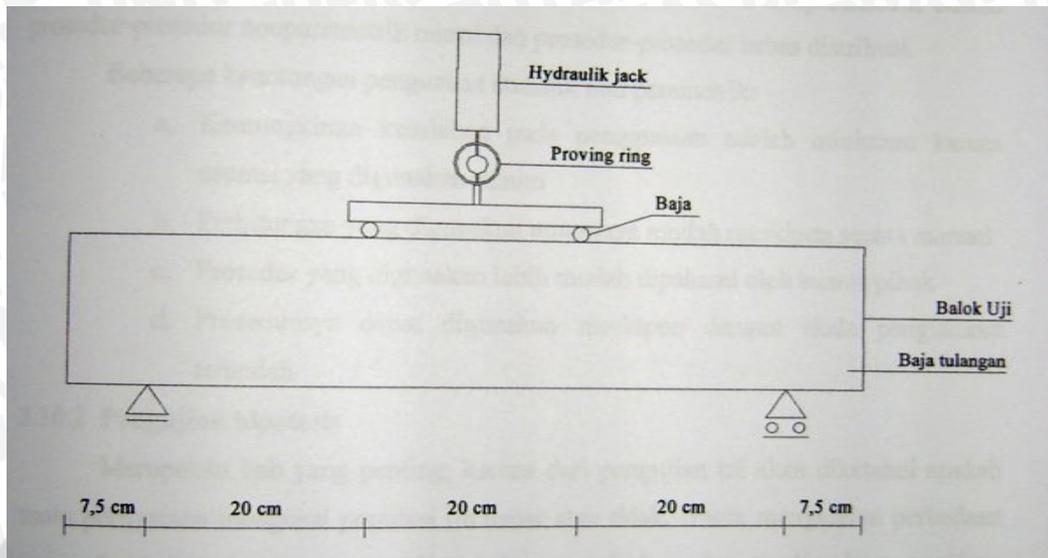
Fungsi momen tahanan dalam tersebut akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Dalam merencanakan dimensi balok beton dan jumlah besar (luas) tulangan sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam paling tidak sama

dengan momen lentur yang ditimbulkan oleh beban. Dalam peraturan membatasi tulangan maksimum sampai 75% dari yang diperlukan dari penampang *balanced*. Untuk menentukan momen tahanan dalam yang penting adalah mengetahui terlebih dahulu resultante total gaya beton tekan (C), dan letak garis gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak (z) dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan lengkung diganti dengan bentuk ekuivalen yang lebih sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak bertambah.

Bila gaya luar ditahan oleh beton tekan dan baja tulangan tarik relatif kecil, dengan tulangan pada serat terluar beton lebih kecil dan modulus tarik, seluruh serat penampang beton secara efektif dapat menahan beban tersebut secara bersama dengan baja tulangan. Deformasi baja tulangan dan serat beton lapis yang sama adalah sebanding, gaya internal baja tulangan dapat ditentukan melalui perbandingan regangan, Konsep material homogen berlaku, dan hubungan antara momen dan tegangan dapat dirumuskan melalui persamaan :

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (2-3)$$

Dimana :  $\sigma$  = tegangan lentur ( $\text{kg/cm}^2$ ).  
M = momen lentur ( $\text{kg cm}$ ).  
W = momen tahanan ( $\text{cm}^3$ ).



**Gambar 2.3.** Diagram pembebanan pada balok

Pengujian lentur pada balok menggunakan *loading test*. Gambar di atas merupakan pembebanan yang dilakukan saat akan melakukan uji kuat lentur. Peralatan yang dipakai merupakan kombinasi dari tumpuan, *hydraulic press*, serta *proving ring*. Langkah pertama meletakkan balok pada tumpuan sendi-rol dengan panjang efektif sepanjang 60 cm. Kemudian pemasangan alat *hydraulic press* serta *proving ring* sehingga saat balok hancur dapat diketahui beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok dengan membaca pembebanan pada *proving ring*.

Dengan menggunakan anggapan bahwa baja tarik mencapai keadaan batas atau telah mencapai keadaan leleh, kemudian harus diperiksa sebagai berikut :

- Gaya tekan (C) : 
$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \tag{2-4}$$

- Gaya tarik (T) : 
$$T = A_s \cdot f_y \tag{2-5}$$

- Keseimbangan gaya horizontal ( $\Sigma H = 0$ ) : 
$$C = T$$
 
$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \tag{2-6}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \tag{2-7}$$

$$Mn = T \left( d - \frac{a}{2} \right) \tag{2-8}$$

- Dimana :
- C = resultante gaya tekan (kg).
  - T = resultante gaya tarik (kg).
  - $f_c$  = tegangan beton beton (MPa).
  - $f_y$  = tegangan leleh baja (MPa).
  - a =  $\beta_1 \cdot c$  (mm).
  - $\beta_1$  = konstanta yang merupakan fungsi kelas kuat beton.
  - c = jarak serat tekan terluar ke garis netral (mm).
  - Mn = kuat lentur ideal balok (kgm).
  - q = berat sendiri balok (kg/m).
  - P = beban luar yang bekerja (kg).
  - Ln = panjang bentang bersih (m).
  - Le = panjang bentang efektif (m).



## 2.8 PENELITIAN TERDAHULU TERHADAP PIROPILIT

Mineral phyropilit dimanfaatkan pada beberapa penelitian. Review dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan diantaranya :

- Mutrofin (2005) meneliti tentang material phyropilit Sumbermanjing Malang Selatan. Diketahui bahwa ternyata phyropilit mengandung unsur Silika yang cukup besar (85% dari total unsur penyusun phyropilit), dan sangat bagus digunakan sebagai filler mengingat ukuran butirannya sesuai dengan ukuran butiran filler.
- Anggraini, dkk (2006) mencoba memanfaatkan phyropilit sebagai bahan tambahan dalam pembuatan paving stones. Dengan penambahan 10% mineral phyropilit, maka akan menghasilkan kekuatan yang meningkat sampai lebih kurang 20% dari kekuatan awal. Peningkatan kekuatan ini terjadi karena semen telah mengaktifasi mineral phyropilit yang digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan paving stones.
- Anggraini (2007) penggunaan phyropilit sebagai bahan tambahan pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga lebih kurang 42% pada variasi phyropilit 15%. Semen adalah bahan yang bisa memacu proses aktifasi mineral phyropilit. Sejalan dengan tercapainya proses aktifasi mineral phyropilit inilah maka peningkatan kuat tekan beton bisa terjadi.
- Haris Herman P (2012) penambahan piropilit dari Sumbermanjing Malang Selatan, dengan kadar piropilit sebesar 10% mampu menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal umur 28 hari dan 56 hari. Sebesar 54,14% untuk beton dengan umur 28 hari. Dan sebesar 52,17% untuk beton dengan umur 56 hari.
- Hendi, Zainul (2009) piropilit merupakan batuan jenis metamorf yang memiliki sifat dapat teraktifasi oleh pengaruh asam dan panas. Maka dilakukan penelitian pemanfaatan batu piropilit sebagai bahan perkerasan jalan HRS (*Hot Rolled Sheet*), dimana piropilit digunakan sebagai agregat dalam campuran HRS yang diproporsikan dengan batu pecah pada

campuran aspal pada perkerasan lentur. Dan ternyata menghasilkan karakteristik campuran yang memenuhi standar yang berlaku.

Karakteristik	Persyaratan Bina Marga	KAO = 8.2 %	Keterangan
% Rongga dalam campuran	1% - 4%	1.588%	Memenuhi
% Rongga antar butiran agregat	>18%	18.463%	Memenuhi
Stabiilitas	>800 kg	800.752 kg	Memenuhi
Flow	>2mm	3.296 mm	Memenuhi
MQ	> 200 kg/mm	264.129 kg/mm	Memenuhi

- Lasmini, Zainul (2009) melakukan penelitian mengenai campuran *Hot Rolled Sheet* (HRS) dengan material piropilit sebagai *filler* yang tahan hujan asam. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :
  - a. Berdasarkan hasil analisis Marshall pada kondisi kadar aspal optimum dan kadar *filler* optimum, dengan perlakuan terendam asam selama 28 hari menunjukkan bahwa nilai stabilitas sebesar 1269,151 kg dan nilai IKS sebesar 98,551 % dimana nilai tersebut masih memenuhi spesifikasi campuran beraspal panas seksi 6.3 DPU 1998.
  - b. Dari dari hasil analisis Marshall pada kondisi kadar aspal optimum 6,336 % dan kadar *filler* optimum 4/5 % diperoleh nilai IKS sebesar 85,910 % menunjukkan bahwa nilai tersebut memenuhi spesifikasi campuran beraspal panas seksi 6.3 DPU 1998.
  - c. Sedangkan pada analisa varian satu arah diperoleh bahwa dengan penggunaan filler piropilit pada campuran HRS tidak terpengaruh dengan perlakuan terendam asam dengan kadar aspal dan kadar filler dalam kondisi optimum. Dimana nilai stabilitas dan durabilitas campuran HRS tidak mengalami penurunan akibat perendaman campuran asam selama 28 hari. Bahkan HRS dengan menggunakan filler piropilit dengan perlakuan asam dapat meningkatkan potensi durabilitas campuran sebesar 14,714

- Zainul. M, dkk (2008) Piropilit merupakan salah satu batuan mineral yang mempunyai kandungan silika yang cukup tinggi. Maka dari itu dilakukan penelitian terhadap pengaruh penggunaan komposisi batu pecah dan piropilit sebagai agregat kasar dengan variasi kadar aspal terhadap stabilitas dan durabilitas campuran HRS (Hot Rolled Sheet). Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :
  - a. Pengaruh penggunaan piropilit sebagai agregat kasar pada komposisi tertentu akan meningkatkan nilai stabilitas, sedangkan penambahan kadar aspal pada kadar tertentu akan meningkatkan nilai stabilitas. Penggunaan piropilit sebagai komposisi agregat kasar juga mempengaruhi penggunaan aspal, yaitu penghematan aspal sebesar 4% dibandingkan dengan campuran tanpa menggunakan piropilit sebagai komposisi agregat kasar.
  - b. Berdasarkan hasil analisis Marshall pada kondisi kadar aspal dan komposisi agregat kasar optimum dengan perendaman asam selama waktu perlakuan 1, 7, 14, 21 dan 28 hari diperoleh nilai stabilitas maksimum pada waktu perlakuan 1 hari sebesar 1320,586 kg dan nilai stabilitas minimum sebesar 1165,46 kg. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) minimum berkisar antara 89,5404 % - 96,5051% dan mencapai nilai maksimum pada waktu perlakuan 21 hari sebesar 98,2804 %. Nilai IKS an Stabilitas yang dicapai masih memenuhi spesifikasi Bina Marga.

## 2.9 HIPOTESIS

Dari berbagai kajian teori dan permasalahan yang telah diuraikan diatas, maka pada penelitian yang disajikan hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. Terdapat pengaruh penggunaan piropilit terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton piropilit.
2. Terdapat perbedaan nilai kuat lentur beton hasil pengujian laboratorium dengan hasil perhitungan secara analitis, akibat pengaruh pencampuran piropilit.

