

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam bidang bangunan yang dimaksud dengan beton adalah campuran dari agregat halus dan agregat kasar (pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lain) dengan semen, yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu. Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih. (Wuryati, 2001)

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen portland atau bahan tambah kimia, sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi. Namun, pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencana tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur. (Mulyono, 2003)

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa boleh menggunakan campuran 1 semen: 2 pasir: 3 batu pecah dengan slump untuk mengukur kemudahan pengerjaannya tidak lebih dari 100 mm. Pengerjaan beton dengan kuat tekan hingga 20 MPa boleh menggunakan penakaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan tekan lebih besar dari 20 MPa harus menggunakan campuran berat.

Potensi trass sebagai pozzolan alam tidak asing lagi di Indonesia. Beberapa wilayah di Indonesia memiliki potensi bahan galian trass khususnya di Jawa Tengah, yaitu trass Muria Kudus. Pemakaian trass sebagai bahan bangunan selama ini ditunjukkan sebagai bahan alternatif. Sebagai bahan Alternatif, trass berfungsi sebagai agregat halus yang dapat diaplikasikan pada campuran pasta

commit to user

semen, pembuatan batako, campuran pembuatan beton, campuran plester dan tanah urug (Susilorini, 2003).

Kinerja kuat lentur beton dengan bahan tambah berbasis gula meningkat dibandingkan kuat lentur beton tanpa bahan tambah berbasis gula. Kenaikan optimum ditunjukkan oleh benda uji beton dengan bahan tambah berbasis gula dalam dosis kecil 0.03% dari berat semen. (Susilorini & Sambowo, 2011).

Tiga kinerja yang dibutuhkan dalam pembuatan beton adalah (STP 169C, *Concrete and concrete-making materials*): 1. Memenuhi kriteria konstruksi yaitu dapat dengan mudah dikerjakan dan dibentuk serta mempunyai nilai ekonomis. 2. kekuatan tekan dan 3. durabilitas atau keawetan. Menurut PBI'71 beton dibagi dalam kelas dan mutu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kelas dan Mutu Beton

| Kelas Beton | Mutu Beton | Kekuatan Tekan Minimum (Kgf/cm ²) | Tujuan Pemakaian Beton |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| I | Bo | 50-80 | Non Struktural |
| II | B1 K125 K175 K225 | 100 125 175 225 | Rumah Tinggal Perumahan Perumahan Perumahan dan Bendungan |
| III | K>225 | >225 | Jembatan, Bangunan tinggi, Terowongan kereta api |

(Sumber : Gunawan (2000))

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pengertian Beton

Beton adalah batu tiruan yang terbuat dari campuran semen, agregat dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) dalam perbandingan tertentu. Pencampuran material penyusun beton dilakukan sampai merata sehingga diperoleh beton yang homogen. Campuran beton yang rata ditandai dengan sifat

campurannya plastis, dapat dituang dalam cetakan dan bisa dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Campuran beton akan mengalami pengerasan akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung dalam jangka waktu yang panjang atau dengan kata lain beton akan bertambah keras sejalan dengan umur beton tersebut.

2.2.2. Material Penyusun Beton

2.2.2.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982, dalam Tjokrodinuljo, 1996). Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan juga untuk mengisi rongga-rongga antar butir agregat. Empat unsur yang paling penting dalam semen adalah:

- Trikalsium silikat* (C_3S) atau $3CaO.SiO_3$
- Dikalsium silikat* (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$
- Trikalsium aluminat* (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$
- Tetrakalsium aluminoforit* (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3.FeO_2$

Tabel 2.2. Jenis Semen Portland di Indonesia Sesuai SII 0013-81

| Jenis semen | Karakteristik umum |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jenis I | Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lain |
| Jenis II | Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang |
| Jenis III | Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi |
| Jenis IV | Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah |
| Jenis V | Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat |

2.2.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (aduk) dan beton. Agregat aduk dan beton dapat juga didefinisikan sebagai bahan yang dipakai sebagai pengisi atau pengkurus, dipakai bersama bahan perekat, dan membentuk suatu massa yang keras, padat bersatu, yang disebut adukan beton. (Wuryati, 2001)

A. Agregat Halus

Menurut Tjokrodinuljo (1996), agregat halus adalah agregat yang berbutir kecil antara 0,15 mm dan 5 mm. Dalam pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Karena sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Pasir sebagai bahan pembentuk mortar bersama semen dan air, berfungsi mengikat agregat kasar menjadi satu kesatuan yang kuat dan padat.

Menurut PBI 1971 (NI-2) pasal 33, syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut :

- 1) Agregat halus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras, bersifat kekal dalam arti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.
- 2) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % terhadap jumlah berat agregat kering. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5 %, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
- 3) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak. Hal demikian dapat dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams Header* dengan menggunakan larutan NaOH.
- 4) Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat 1 (PBI 1971), harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- (a) Sisa di atas ayakan 4 mm , harus minimum 2 % berat.
- (b) Sisa di atas ayakan 1 mm , harus minimum 10 % berat.
- (c) Sisa di atas ayakan 0,25 mm , harus berkisar antara 80 % - 90 % berat.

Pasir di dalam campuran beton sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Untuk memperoleh hasil beton yang seragam, mutu pasir harus dikendalikan. Oleh karena itu pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang ditentukan. Batasan susunan butiran agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Batasan Susunan Butiran Agregat Halus

| Ukuran saringan (mm) | Persentase lolos saringan | | | |
|-------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | Daerah 1 | Daerah 2 | Daerah 3 | Daerah 4 |
| 10,00 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,80 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2,40 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1,20 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0,60 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0,30 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0,15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

(Sumber : Tjokrodinuljo (1996))

Keterangan:

Daerah 1 : Pasir kasar

Daerah 2 : Pasir agak kasar

Daerah 3 : Pasir agak halus

Daerah 4 : Pasir halus

Tabel 2.4. Syarat Mutu Kekuatan Agregat Sesuai SII.0052-08

| Kelas dan Mutu Beton | Kekerasan dengan bejana Rudeloff, bagian hancur menembus ayakan 2 mm persen% maksimum | | Kekerasan dengan bejana geser Los Angelos, bagian hancur menembus ayakan 1,7mm,% maksimum |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Fraksi butir 9,5-19 mm | Fraksi butir 19-30 mm | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Beton kelas I dan mutu B0 dan B1 | 22-30 | 24-32 | 40-50 |
| Mutu beton kelas II dan mutu K-125, K-175 dan K-225 | 14-20 | 16-24 | 27-40 |
| Beton kelas III dan mutu > K-225 atau beton pratekan | Kurang dari 14 | Kurang dari 16 | Kurang dari 27 |

b. Agregat Kasar

Menurut Tjokrodinuljo (1996) disebutkan bahwa agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar antara 5 mm dan 40 mm. Sifat dari agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan semen.

Sifat-sifat bahan bangunan sangat perlu untuk diketahui, karena dengan mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan tersebut, kita dapat menentukan langkah-langkah yang diambil dalam menangani bahan bangunan tersebut. Sifat-sifat dari agregat kasar yang perlu untuk diketahui antara lain ketahanan (*hardness*), bentuk dan tekstur permukaan (*shape and texture surface*), berat jenis agregat (*specific gravity*), ikatan agregat kasar (*bonding*), modulus halus butir (*fineness modulus*), dan gradasi agregat (*grading*).

Menurut PBI 1971 (NI-2) pasal 3.4 syarat-syarat agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut :

- 1) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20 % dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- 2) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % yang ditentukan terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1 % maka agregat kasar harus dicuci.
- 3) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
- 4) Kekerasan butir-butir agregat kasar yang diperiksa dengan bejana penguji dari Rudelof dengan beton penguji 20 ton, yang harus memenuhi syarat-syarat :
 - (a) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24 % berat.
 - (b) Tidak terjadi pembubukan sampai 19-30 mm lebih dari 22 % berat.Kekerasan ini dapat juga diperiksa dengan mesin *Los Angeles*. Dalam hal ini tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50 %.
- 5) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat 1 PBI 1971, harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - (a) Sisa diatas ayakan 31,5 mm harus 0 % berat .
 - (b) Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90 % dan 98 % berat.
 - (c) Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan, maksimum 60 % dan minimum 10 % berat.

Batasan susunan butiran agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.5. Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

| Ukuran saringan (mm) | Persentase lolos saringan | |
|----------------------|---------------------------|----------|
| | 40 mm | 20 mm |
| 40 | 95-100 | 100 |
| 20 | 30-70 | 95 – 100 |
| 10 | 10-35 | 22-55 |
| 4,8 | 0-5 | 0-10 |

Sumber : Tjokrodinuljo (1996)

Susunan untuk butiran (gradasi) yang baik akan dapat menghasilkan kepadatan (*density*) maksimum dan porositas (*voids*) minimum. Sifat penting dari suatu agregat (baik kasar maupun halus) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan.

Bentuk dari partikel agregat dapat mempengaruhi kebutuhan air, *workability*, kemampuan untuk diangkut (*mobility*), *bleeding*, kemampuan untuk membentuk hasil akhir yang baik (*finishability*) dan kekuatan. Partikel yang lebih bulat (*rounded*) memberikan *workability* yang lebih baik dibandingkan dengan partikel yang bentuknya pecah atau bersudut. Hal ini disebabkan karena sedikitnya bidang kontak antar partikel yang dialami oleh partikel bulat, sehingga gaya gesek antar partikel menjadi lebih kecil dan aliran campuran beton menjadi lebih mudah.

Bentuk agregat juga mempengaruhi kuat tekan pada beton. Campuran yang menggunakan agregat dengan bentuk pecah dan bersudut akan menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih tinggi karena kekuatan ikatan antar partikelnya besar. Kekuatan ikatan yang besar tersebut dikarenakan bidang kontak antara partikel dengan pasta yang besar.

2.2.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat dan perawatan beton, penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang memenuhi syarat sebagai air minum, memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton. Tetapi tidak berarti air harus memenuhi persyaratan air minum. Jika diperoleh air dengan standar air minum, maka dapat dilakukan pemeriksaan secara visual yang menyatakan bahwa air tidak berwarna, tidak berbau, dan cukup jernih. Menurut Tjokrodinuljo (1996), dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang merusak beton (asam, zat organik, dll) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.2.2.4 Tetes Tebu

Bahan tambah yang dibuat dengan cara mengambil bahan dasar dari alam. Dalam penelitian ini diambil contoh yaitu tetes tebu. Tebu (*Saccharum officinarum*) adalah tanaman yang ditanam untuk bahan baku gula. Tanaman ini hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis. Tanaman ini termasuk jenis rumput-rumputan. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih 1 tahun. Di Indonesia tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatra (Anwar. S. 2008).

Tetes tebu (*molase*) adalah salah satu hasil samping pabrik gula tebu yang masih mempunyai nilai ekonomi yang cukup disebabkan kandungan gulanya yang tinggi sekitar 52 persen (Baikow, 1982), sehingga memungkinkan dijadikan bahan baku berbagai industri. Industri yang memanfaatkan tetes diantaranya adalah industri yang menghasilkan produk distilasi seperti alkohol; industri fermentasi seperti

monosodium glutamat, lisin, asam sitrat, vinegar, protein sel tunggal, asetonbutanol, gum xanthan dan sebagainya.

Penggunaan larutan tebu, dari hasil penelitian terdahulu (Robert & Hartaman, 2008) jika dipakai sebagai campuran beton bisa meningkatkan kuat tekan beton dengan prosentase campuran 0,03% dan 0,3% dari berat semen *Portland* sehingga dapat meningkatkan durabilitas beton dan dapat tahan di lingkungan agresif. Penelitian yang berkembang membuktikan bahwa larutan tebu yang memiliki kandungan gula dapat digunakan sebagai *retarder* alami untuk menunda waktu ikatan (Robert Indarko & Hartaman Aris, 2008).

Suatu penelitian (Fhalma, 2002) memperlihatkan bahwa penambahan kandungan gula dengan prosentase tertentu akan memperlambat waktu ikatan adukan beton selama 1,5- 4,5 jam. Penyelidikan yang dilakukan di Lewis Institut, Chicago, untuk menentukan pengaruh kandungan gula dalam adukan semen pasir dengan perbandingan 1 : 3, terlihat bahwa hampir semua benda uji yang mengandung gula dengan konsentrasi 0,05% atau lebih (terhadap berat pasir) hancur ketika dimasukkan ke dalam air setelah satu hari diudara dan kekuatan pada umur 28 hari untuk kandungan gula 0,2% atau lebih akan berkurang hingga mencapai angka nol. Penyelidikan lain yang dilakukan di National Ready Mixed Concrete Association Research Laboratory menunjukkan bahwa penambahan kandungan gula sebesar 0,2 % terhadap berat semen pada adukan beton akan meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 hari mencapai 30%. (Fhalma, 2002)

Berdasarkan hasil penelitian tersebut di atas maka penelitian ini menggunakan tetes tebu sebagai bahan tambah dengan kadar larutan tebu yang telah digunakan oleh Hartaman & Ganis (2008) dan Sunu & Imam (2008) yaitu 0,03 % dari berat semen.

2.2.3. Tanah Padas

Tanah padas merupakan tanah yang amat padat karena mineral didalamnya dikeluarkan oleh air yang terdapat dilapisan tanah sebelah atasnya, tanah ini tidak baik untuk pertanian (<http://www.edukasi.kompasiana.com>). Trass didefinisikan sebagai batuan hasil letusan dari gunung berapi yang telah mengalami pelapukan sampai tingkat tertentu, berwarna abu-abu putih, abu-abu kebiruan, abu-abu gelap kemerah-merahan, kekuning-kuningan, dan adapula yang agak jingga (BPPI, 1983; BPPI, 1084)

Hasil penelitian (Susilorini, 2003; Susilorini, et. al, 2002; Pramono dan Wibowo, 2002; Setiawan dan Purnomo, 2002) menunjukkan bahwa trass Muria Kudus dapat dimanfaatkan sebagai agregat alternatif untuk menggantikan agregat halus pasir Muntian dalam campuran beton dengan komposisi tertentu. Perbandingan (1:2:3) untuk (semen:trass Muria Kudus:split) adalah perbandingan campuran beton yang optimal untuk kinerja kuat tekan, kuat tarik belah, maupun modulus elastisitas.

Berdasarkan Proses pembentukannya, ASTM C593 pozzolan dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

1. Pozzolan alam, merupakan material alam hasil sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif, yang bila dicampur dengan kapur padam akan menghasilkan pemuai.
2. Pozzolan buatan,
 - a. Abu terbang (*fly ash*), merupakan hasil pemisahan sisa pembakaran yang halus dari pembakaran batubara yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap
 - b. Abu sekam padi (*rice husk ash*), merupakan limbah dari tanaman padi

Semen yang memakai pozzolan akan memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Panas hidrasi akan turun karena pozzolan akan mengurangi kandungan C3A di dalam semen
- b. Faktor air semen akan meningkat dengan adanya pozzolan
- c. Kemudahan pengerjaan beton yang memakai semen pozzolan akan meningkat
- d. Mempercepat waktu pengikatan
- e. Meningkatkan kekuatan beton.

Tanah padas yang digunakan sebagai bahan penelitian berasal dari hasil tambang di daerah Wonogiri. Tanah padas yang digunakan berwarna hitam dan bertekstur lebih halus dari pasir.



Gambar 2.1 Penambangan Padas Hitam

2.2.4. Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Nilai kuat tekan beton didapat melalui pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

sampai hancur. Sedang untuk pengujian kuat tekan dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (2.1)$$

dimana:

f'_c : kuat desak beton salah satu benda uji (MPa)

P : beban desak maksimum (kN)

A : luas permukaan benda uji (mm²)

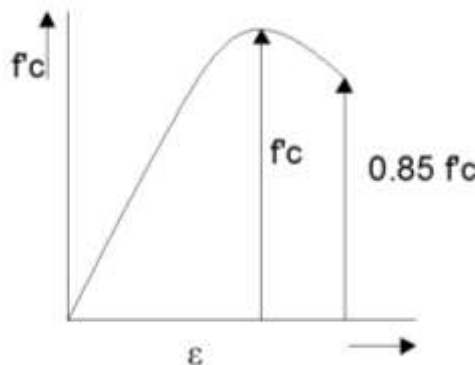
Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor antara lain:

1. Faktor air semen, hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton secara umum adalah bahwa semakin rendah nilai faktor semen semakin tinggi kuat tekan betonnya, namun kenyataannya pada suatu nilai faktor air semen tertentu semakin rendah nilai faktor air semen kuat tekan betonnya semakin rendah. Hal ini karena jika faktor air semen semakin rendah maka beton semakin sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen yang optimal yang menghasilkan kuat tekan yang maksimal.
2. Jenis semen dan kualitasnya mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
3. Jenis dan lekuk-lekuk (*relief*) bidang permukaan agregat. Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat batu pecah akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun kuat tarik yang lebih besar dari pada kerikil.
4. Efisiensi dari perawatan (*curing*). Kehilangan kekuatan sampai 40 % dapat terjadi bila pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan di lapangan dan pada pembuatan benda uji.
5. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan pertambahan suhu. Pada titik beku kuat hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
6. Umur pada keadaan yang normal. Kekuatan beton bertambah dengan bertambahnya umur, tergantung pada jenis semen, misalnya semen dengan kadar alumina tinggi menghasilkan beton yang kuat hancurnya pada 24 jam, sama dengan semen portland biasa pada 28 hari. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun.

2.2.5. Modulus Elastisitas Beton

Kajian tentang hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan perencanaan suatu bagian struktur. Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukungnya dan perubahan bentuk yang terjadi pada bahan itu amat tergantung pada sifat tegangan dan regangan tersebut.

Pada baja terjadi perubahan bentuk secara elastis pada pembebanan dibawah elastis, sehingga beban uji kembali pada bentuk semula bila pembebanan ditiadakan. Beton berubah bentuk mengikuti regangan elastis dan sebagian mengalami regangan plastis. Hal ini digambarkan pada gambar 2.2 memperlihatkan kurva tegangan-regangan tipikal yang diperoleh dari percobaan benda uji silinder beton dan dibebani tekan uniaksial selama beberapa menit.



Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan Beton yang diberi Tekanan (Nawy,1990)

Bagian kurva ini (sampai sekitar 40% f_c) pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linier. Setelah mendekati 70% tegangan hancur, material banyak kehilangan kekakuannya sehingga kurva tidak lagi linier.

Menurut Murdock dan Brook (1991:2), modulus elastisitas yang sebenarnya atau modulus pada waktu tertentu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.2)$$

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

$$\text{Regangan } (\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.4)$$

Dimana:

P : beban yang diberikan (ton)

A : luas tampang melintang (mm)

ΔL : perubahan panjang akibat P (mm)

L : panjang semula (mm)

Atau modulus elastisitas dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Modulus Elastisitas (E}_c\text{)} = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (2.5)$$

Dimana:

E_c : modulus elastisitas (MPa)

S₁ : tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,00005 (MPa).

S₂ : tegangan 40% f_c' (MPa)

ε₂ : regangan longitudinal akibat tegangan S₂

$$\text{dengan regangan } (\varepsilon) = \frac{\delta}{h} \quad (2.6)$$

dimana:

δ : deformasi longitudinal (mm)

h : tinggi efektif pengukuran (mm)

Dengan berdasarkan formulasi tersebut maka dapat dihitung nilai modulus elastisitas beton.