

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Beton

#### 2.1.1. Pengertian Beton

Beton merupakan Campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). (SNI 2847;2013). Menurut Pedoman Beton 1989, *Draft Konsesus* (SKBI.1.4.53, 1989 : 4-5), beton didefinisikan sebagai campuran semen Portland atau sembarang semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan.

Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBTU 1971), beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen Portland dan air tanpa atau dengan menambahkan zat aditif. Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI) 1982, beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dan semen Portland atau bahan pengikat hidrolis lain yang sejenis, dengan atau tanpa bahan tambahan lain. Campuran dari agregat halus, air dan semen saja disebut adukan (mortar).

Menurut Nawy (1985:8) beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimia sejumlah material pembentuknya. Menurut Kardiono Tjokrodinuljo (2004), beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan aditif .

Berdasarkan pengertian-pengertian di atas, dapat disimpulkan bahwa beton adalah suatu campuran yang terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambahan dengan perbandingan tertentu yang kemudian diaduk dan dituang dalam cetakan hingga mengeras sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Pengerasan terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara semen dengan air.

### 2.1.2. Sejarah Perkembangan

Beton merupakan materi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Sejarah permulaan teknologi beton dimulai dari tahun 6500 SM ditepian sungai Danube di Lepenski Vir, daerah Negara Yugoslavia. Ada catatan bahwa bangsa Assyria dan Babilonia kuno menggunakan tanah liat sebagai bahan semen pengikat. Bahkan ada kemungkinan bahwa api ditemukan untuk tujuan mengubah batu kapur menjadi gamping, yang memanaskan waktu dicampur dengan air, dan secara lambat menjadi kaku.

Sekitar tahun 3000 SM, orang mesir kuno juga telah menggunakan tanah liat yang dikombinasikan dengan jerami untuk mengikat batu bata yang dikeringkan, dan membangun piramida-piramida Ramses yang terkenal. Ilustrasi pengecoran beton yang paling dini terdapat pada mural di Thebes, dari tahun 1950 SM. (Mulyono,2004:3-4). Kemudian keterampilan membuat beton menyebar dari Mesir ke laut tengah (Mediterranean) bagian timur, dan pada tahun 500 SM digunakan di Yunani kuno. Orang Yunani menggunakan komposisi dasar kapur untuk menutupi dinding dari bata yang tidak dibakar. Istana Croesus dan Attalus dibangun dengan cara ini. Beton pada masa itu terdiri dari batu-batu besar yang diikat menjadi datu oleh satu mortar kapur dan pasir.

Sekitar abad kedua sebelum masehi orang romawi menggali bahan seperti pasir berwarna jambu dari sumber di Pozzuoli, dekat Gunung Vesuvius Italia. Penemuan ini sangat berpengaruh pada bangunan dalam 800 tahun berikutnya karena material tersebut bukanlah pasir tapi abu gunung berapi yang mengandung silica dan alumina, yang kombinasinya secara kimiawi dengan kapur menghasilkan apa yang dikenal sebagai semen pozzolan. Lalu mereka membuat bangunan penting seperti Pantheon atau Colosseo.

Pozzolana adalah jenis pasir yang luar biasa dimana reaksi kimianya dengan kapur dan air, menjadi sebuah bebatuan yang memiliki massa. Selanjutnya, kimia itu adalah silica dan aluminium dimana bereaksi dengan Kalsium Hidroksida untuk membentuk senyawa dengan sifat semen

Penggunaan beton dan bahan-bahan beton sudah digunakan sejak zaman Romawi. Pada tahun 1801, F. Coignet menerbitkan tulisannya mengenai prinsip-prinsip konstruksi dengan meninjau kelembaban bahan beton terhadap taruknya. Tahun 1848 J.L Lambot untuk pertama kalinya membuat kapal kecil dari bahan semen untuk dipamerkan pada pameran dunia tahun 1855 di Perancis.

J.Monier seorang ahli taman dari Perancis mematenkan rangka metal sebagai tulangan beton untuk mengatasi taruknya yang digunakan untuk tempat tanamannya. W. Wilkinson dari Newcastle telah memperkenalkan beton bertulang pada bangunan-bangunan rumah pada tahun 1854, dia menggunakan hak patennya untuk konstruksi dari rumah tinggal tahan api, gudang, bangunan lainnya serta bagian-bagian lainnya yang sama (*construction of fireproof dwellings, warehouses, other buildings and parts of the same*). Wilkinson mendirikan sebuah pondok pelayan bertingkat dua yang kecil, lantai beton bertulang, dan atap dengan batang besi dan tali kawat. Dia telah membangun beberapa struktur pada jenis ini dan dia percaya akan keharusan untuk membangun bangunan dengan beton bertulang pertama.

Pada tahun 1866, Koenen menerbitkan tulisan mengenai teori dan perancangan struktur beton. C.A.P Turner mengembangkan pelat slab tanpa balok pada tahun 1906. Seiring dengan kemajuan besar yang terjadi dalam bidang ini, terbentuklah German Committee Reinforce, Australian Concrete Committee, American Concrete Institute, dan British Concrete Institute (Mulyono,2004:5-6).

Bangunan beton bertulang US pertama dibangun oleh W. E. Ward antara tahun 1871 dan 1875, tepatnya rumah di Port Chester, New York. Ward menggunakan bahasa Prancis untuk Concrete, yaitu Beton dan pada tahun 1883, dia menyampaikan selebaran yang menggambarkan rumah yang disebutkan tadi kepada Himpunan Insinyur Mekanik Amerika (*The American Society of Mechanical Engineers*) selebaran itu berjudul *Beton in Combination with Iron As a Building Material*.

Kata beton dalam bahasa Indonesia berasal dari kata yang sama dengan kata Belanda. Kata *concrete* dalam bahasa Inggris berasal dari kata Latin yaitu *concretus* yang berarti tumbuh bersama atau menggabungkan menjadi satu. Dalam bahasa Jepang digunakan kata *kotau-zai*, yang artinya harafiahnya material-material seperti tulang, mungkin karena agregat mirip tulang-tulang hewan (Nugraha & Antoni, 2004:1).

Nawy (dalam Mulyono, 2004:3) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Nilai kekuatan dan daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, antaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pembuatan adukan beton, temperatur dan kondisi perawatan pengerasannya.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibanding kuat tariknya, dan merupakan bahan getas. Nilai kuat tariknya berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya, pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerjasama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang bekerja menahan tarik (Dipohusodo, 1994).

### 2.1.3. Karakteristik

Beton memiliki karakteristik-karakteristik yang membedakannya dengan bahan-bahan bangunan lainnya. Karakteristik-karakteristik yang dimiliki oleh beton antara lain adalah sebagai berikut.

- a. Karakteristik beton adalah mempunyai tegangan hancur tekan yang tinggi serta tegangan hancur tarik yang rendah;
- b. Beton tidak dapat dipergunakan pada elemen konstruksi yang memikul momen lengkung atau tarikan;
- c. Beton sangat lemah dalam menerima gaya tarik, sehingga akan terjadi retak yang makin – lama makin besar;
- d. Proses kimia pengikatan semen dengan air menghasilkan panas dan dikenal dengan proses hidrasi;

- e. Air berfungsi juga sebagai pelumas untuk mengurangi gesekan antar butiran sehingga beton dapat dipadatkan dengan mudah
- f. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan akan menyebabkan butiran semen berjarak semakin jauh sehingga kekuatan beton akan berkurang;
- g. Dengan perkiraan komposisi (*mix desain*) dibuat rekayasa untuk memeriksa dan mengetahui perbandingan campuran agar dihasilkan kekuatan beton yang tinggi;
- h. Selama proses pengerasan campuran beton, kelembaban beton harus dipertahankan untuk mendapatkan hasil yang direncanakan;
- i. Setelah 28 hari, beton akan mencapai kekuatan penuh dan elemen konstruksi akan mampu memikul beban luar yang bekerja padanya;
- j. Untuk menjaga keretakan yang lebih lanjut pada suatu penampang balok, maka dipasang tulangan baja pada daerah yang tertarik;
- k. Pada beton bertulang memanfaatkan sifat beton yang kuat dalam menerima gaya tekan serta tulangan baja yang kuat menerima gaya tarik;
- l. Dari segi biaya, beton menawarkan kemampuan tinggi dan harga yang relatif rendah;
- m. Beton hampir tidak memerlukan perawatan dan masa konstruksinya mencapai 50 tahun serta elemen konstruksinya yang mempunyai kekakuan tinggi serta aman terhadap bahaya kebakaran;
- n. Salah satu kekurangan yang besar adalah berat sendiri konstruksi;
- o. Kelemahan lainnya adalah perubahan volume sebagai fungsi waktu berupa susut dan rangkai.



#### 2.1.4. Kelebihan dan Kekurangan

Penggunaan konstruksi beton diminati karena beton memiliki sifat – sifat yang menguntungkan namun juga memiliki kekurangan.

Adapun keunggulannya antara lain adalah:

- a. Beton memiliki kuat tekan yang relatif tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain.
- b. Beton bertulang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api, air, aus, korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan
- c. Struktur beton bertulang sangat kokoh.
- d. Beton tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi. e. Usia layan beton sangat panjang.
- f. Merupakan bahan yang cukup ekonomis.
- g. Beton dapat dicetak dalam bentuk yang beragam.
- h. Beton dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisi kedalaman retakan beton dalam proses perbaikan.

Adapun kekurangannya antara lain:

- a. Beton bersifat getas dan kuat tariknya sangat rendah sehingga diperlukan penggunaan ruangan tarik.
- b. Waktu pengerjaan lebih lama.
- c. Kualitas beton variatif tergantung pada kualifikasi para pembuatnya.
- d. Dibutuhkan bekisting penahan pada saat pengecoran beton agar tetap ditempatnya sampai beton tersebut mengeras.
- e. Diperlukannya penopang sementara untuk menjaga agar bekisting tetap berada pada tempatnya sampai beton mengeras dan cukup kuat untuk menahan beratnya sendiri.
- f. Biaya bekisting relatif mahal.
- g. Proses penuangan dan perawatan beton tidak bisa dikontrol dengan ketepatan maksimal.

h. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi (*expansion joint*) untuk mencegah terjadinya retakan-retakan akibat terjadinya perubahan suhu.

### 2.1.5 Klasifikasi

Klasifikasi beton pada dasarnya berkembang dari waktu ke waktu, dan menyesuaikan pula dengan kebutuhan di tiap negara atau instansi yang berkepentingan.

Berikut ini adalah beberapa klasifikasi beton berdasarkan:

#### a. Kuat Tekan

Berdasarkan nilai kuat tekan yang diuji dengan benda uji silinder (diameter 15 cm, tinggi 30 cm); SNI 03-6468-2000, ACI 318, dan ACI 363R-92;

beton dibagi menjadi:

- 1) Beton mutu rendah (*low strength concrete*) :  $f'c' < 20$  MPa
- 2) Beton mutu sedang (*medium strength concrete*) :  $f'c' = 21$  MPa – 40 Mpa
- 3) Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) :  $f'c' > 41$  MPa

#### b. Cara Pembuatannya

Dari cara pembuatannya, beton pada umumnya dikelompokkan:

- 1) Beton *cast in-situ*, yaitu beton yang dicor di tempat, dengan cetakan atau acuan yang dipasang di lokasi elemen struktur pada bangunan atau gedung atau infrastruktur.
- 2) Beton *pre-cast*, yaitu beton yang dicor di lokasi pabrikasi khusus, dan kemudian diangkut dan dirangkai untuk dipasang di lokasi elemen struktur pada bangunan atau gedung atau infrastruktur.

c. Tegangan Pra-Layan

Pemberian tegangan pra-layan pada umumnya dirancang untuk memberikan gaya berlawanan dengan gaya layan, sehingga pada saat konstruksi beton bertulang tersebut memikul beban, secara praktis mengurangi beban kerja. Maka berdasarkan tegangan pra-layannya beton dibagi menjadi:

- 1) Beton konvensional, adalah beton normal yang tidak mengalami tegangan pra layan
- 2) Beton *pre-stressed*, adalah beton yang diberikan tegangan pra-layan pada saat pembuatannya, dengan sistem pre-stressing.
- 3) Beton *post-tensioned*, adalah beton yang diberikan tegangan pra-layan pada saat pembuatannya, dengan sistem post-tensioning.

d. Berat Satuan

Beton dibagi menjadi beberapa bagian sesuai berat satuannya, yaitu:

- 1) Beton ringan : berat satuan  $< 1.900 \text{ kg/m}^3$
- 2) Beton normal : berat satuan  $2.200 \text{ kg/m}^3 - 2.500 \text{ kg/m}^3$
- 3) Beton berat : berat satuan  $> 2.500 \text{ kg/m}^3$

e. Lingkungan

Beton di lingkungan khusus pada umumnya dikelompokkan berdasarkan kondisi yang mengancam ketahanan konstruksi beton bertulang yaitu:

- 1) Beton di lingkungan korosif, karena pengaruh sulfat, klorida, garam alkali, dsb
- 2) Beton di lingkungan basah non korosif
- 3) Beton di lingkungan yang terpapar cuaca
- 4) Beton di lingkungan yang terlindung dari cuaca



### 2.1.7. Jenis-Jenis

Beton adalah bahan bangunan paling banyak digunakan dalam konstruksi gedung saat ini. Bahan bangunan komposit ini menjadi pilihan yang paling diminati karena berbagai keunggulan yang dimilikinya. Berbagai jenis beton tercipta akibat dari adanya inovasi dan perkembangan ilmu pengetahuan serta tuntutan kebutuhan.

Jenis-jenis beton digunakan sesuai dengan keperluan agar dapat menjalankan fungsi yang dikehendaki dengan baik. Adapun jenis-jenis beton adalah sebagai berikut:

a. Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

b. Beton Normal

Beton normal merupakan beton yang mempunyai berat satuan 2200 kg/m<sup>3</sup> sampai 2500 kg/m<sup>3</sup> dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

c. Beton Polos

Beton polos merupakan beton tanpa tulangan atau mempunyai tulangan tapi kurang dari ketentuan minimum.

d. Beton Pracetak

Elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.

e. Beton Prategang

Beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja.

f. Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ .

g. Beton Ringan-Pasir

Beton ringan-pasir adalah beton ringan yang semua agregat halus nya merupakan pasir berat normal.

h. Beton Ringan-Total

Beton ringan-total adalah beton ringan yang agregat halus nya bukan merupakan pasir alami.

i. Beton Serat

Beton serat adalah beton yang ditambah dengan serat untuk meningkatkan daktilitas, ketahanan impact, kuat tarik dan lentur, ketahanan terhadap kelelahan, ketahanan terhadap pengaruh susutan, ketahanan abrasi, ketahanan terhadap pecahan atau fragmentasi, dan ketahanan terhadap pengelupasan.

### 2.1.7 Standar Desain

Standar desain merupakan acuan yang memberikan batasan-batasan desain dan metoda perhitungan agar beton hasil rancangan seragam dan dapat memenuhi persyaratan yang harus dipenuhi. Standar desain beton yang ada (yang pernah berlaku) di Indonesia adalah:

- a. SNI 03-2834-2000; Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal
- b. SNI 03-6883-2002; Spesifikasi toleransi untuk konstruksi dan bahan beton
- c. SNI 1972-2008; Cara uji slump beton
- d. SNI 1973-2008; Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar udara beton
- e. SNI 6429-2000; Metode pengujian kuat tekan beton silinder dengan cetakan silinder di dalam tempat cetakan

## 2.2. *Self Compacting Concrete*

### 2.2.1. Umum

*Self Compacting Concrete* atau yang umum disingkat dengan istilah SCC adalah beton segar yang sangat plastis dan mudah mengalir karena dengan sendirinya mengisi keseluruhan cetakan yang dikarenakan beton tersebut memiliki sifat-sifat untuk memadatkan sendiri, tanpa adanya bantuan alat penggetar (*vibrator*) untuk pemadatan. Beton SCC yang baik harus tetap homogen, kohesif, tidak segregasi, tidak terjadi blocking, dan tidak bleeding.

SCC cocok untuk struktur-struktur yang sangat sulit untuk dilakukan pemadatan manual misalnya karena tulangan yang sangat rapat ataupun karena bentuk bekisting tidak memungkinkan, sehingga dikhawatirkan akan terjadi keropos apabila dipadatkan secara manual. Selain itu bisa juga diaplikasikan untuk lantai, dinding, tunnel, beton precast dan lain-lain.

Di Indonesia sendiri, saat ini relatif tidak menemukan kesulitan untuk membuat SCC. Namun untuk beton dengan tujuan pencapaian kekuatan awal tinggi, SCC masih memerlukan bahan tambahan lain sehingga

menghasilkan SCC dengan kekuatan awal tinggi yang biasa disebut *High Early Strength Self Compacting Concrete* (HESSCC).

Penggunaan Silica Fume sebesar 2% dan Glenium Ace-80 sebesar 2.5 % sudah mampu mencapai kriteria *self compactible* sekaligus kuat tekan awal (*High Early Strength*) yang baik pula, karena nilai *water-binder ratio* tetap dijaga pada nilai yang rendah.

### 2.2.2. Sejarah Perkembangan

Perkembangan beton sudah berlangsung selama beribu-ribu tahun dan tak pernah berhenti. Ide dan inovasi yang muncul dari pemikiran para kaum intelektual terus menghasilkan produk baru untuk mengatasi permasalahan dan kekurangan pada beton.

Permasalahan beton dapat timbul karena berbagai faktor, salah satunya kondisi alam dan geografi. Tempat tinggal yang berada di wilayah yang rentan terjadi bencana alam seperti gempa bumi tentu harus dibangun bangunan dengan konstruksi beton bermutu tinggi.

Jepang merupakan negara yang berada di wilayah yang sering terjadi gempa. Hal ini membuat bangunan-bangunan di negara ini cepat rusak akibat gempa. Para ahli sipil di Jepang melakukan berbagai percobaan untuk mendapatkan bahan konstruksi beton yang bermutu tinggi agar permasalahan yang mereka hadapi dapat diatasi.

Beton SCC merupakan penelitian yang sudah lama dilakukan di Jepang mulai era tahun 1980'an. Penelitian ini berhasil diselesaikan pada tahun 1988, dan untuk pertama kali diperkenalkan oleh Okamura pada tahun 1990'an sebagai upaya mengatasi masalah pengecoran di Jepang. Beton jenis ini menawarkan banyak kemudahan dalam pengerjaannya.

Dalam pelaksanaan beton konvensional di lapangan, membutuhkan banyak tenaga untuk melakukan pemadatan dengan bantuan alat seperti vibrator. Oleh karena itu *Self Compacting Concrete* hadir untuk mengatasi masalah tersebut sehingga dalam proses pengerjaannya tidak memerlukan banyak pekerja.

Dewasa ini, beton SCC (*Self Compacting Concrete*) sudah banyak digunakan, terutama untuk melakukan perbaikan dan perkuatan pada bagian struktur yang diprediksi tidak memenuhi standar atau rusak. Hal ini terjadi karena beton *Self Compacting Concrete* yang memiliki mutu tinggi. Selain itu, beton ini juga sangat plastis karena memiliki nilai *slump* yang tinggi sehingga sangat mudah dalam pengerjaannya.

### 2.2.3. Karakteristik

Beton SCC memiliki karakteristik-karakteristik yang membedakannya dengan bahan-bahan bangunan lainnya. Karakteristik-karakteristik yang dimiliki oleh beton SCC antara lain adalah sebagai berikut.

#### a. Pada Beton Segar

Berdasarkan spesifikasi SCC dari EFNARC, workabilitas atau kelecakan campuran beton segar dapat dikatakan sebagai beton SCC apabila memenuhi kriteria sebagai berikut yaitu:

##### 1) *Filling Ability*

*Filling ability* adalah kemampuan beton SCC untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan melalui berat sendirinya.

##### 2) *Passing Ability*

*Passing ability* adalah kemampuan beton SCC untuk mengalir melalui celah-celah antar besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan tanpa terjadi adanya segregasi atau blocking.

##### 3) *Segregation Resistance*

*Segregation resistance* adalah kemampuan beton SCC untuk menjaga tetap dalam keadaan komposisi yang homogen selama waktu transportasi sampai pada saat pengecoran.

#### b. Pada Beton Keras (*Hardened Concrete*)

- 1) Memiliki tingkat absorpsi dan permeabilitas yang rendah.
- 2) Memiliki tingkat durabilitas yang tinggi.
- 3) Mampu membentuk campuran beton yang homogen

Kelebihan-kelebihan dalam penggunaan SCC antara lain:

- a. Tidak memerlukan pemadatan dengan menggunakan vibrator.
- b. Tenaga kerja yang diperlukan menjadi lebih sedikit.
- c. Mengurangi kebisingan yang mengganggu lingkungan sekitar.
- d. Pengecoran pada bagian elemen struktur betonyang sulit dipadatkan dengan vibrator menjadi lebih mudah.
- e. Waktu Pelaksanaan Proyek menjadi lebih cepat.
- f. Meningkatkan durabilitas struktur.

Kekurangan-kekurangan dalam penggunaan SCC antara lain:

- a. Dari segi biaya , SCC lebih mahal dari beton konvensional.
- b. Pembuatan bekisting beton harus sangat diperhatikan. Bekisting tidak boleh mengalami kebocoran akibat keenceran campuran beton.
- c. Kelemahan yang paling mendasar dan paling penting untuk diperhatikan adalah beton tidak boleh mengalami segregasi namun tetap harus memenuhi syarat flowabilitas.

## **2.3. Kuat Tekan dan Umur Rencana**

### **2.3.1. Umum**

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat desak beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan desak beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran.



Perbandingan dari air semen merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan desaknya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan (mudahnya beton untuk dicorkan) akan tetapi menurunkan kekuatan (Chu Kia Wang dan C. G. Salmon, 1990).

Perhitungan kuat tekan beton dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Nilai kuat tekan beton diperoleh dari alat uji tekan, yaitu *Compression Testing Machine*. Dengan mengetahui nilai kuat tekan, maka dapat diketahui seberapa besar kemampuan beton untuk menahan atau menopang beban yang diterimanya.

### 2.3.2. Standar Desain

Untuk konstruksi yang maksimal, maka beton perlu didesain agar mencapai nilai kuat tekan yang sesuai dengan fungsinya. Dalam mendesain beton terdapat aturan yang dibuat berdasarkan hasil penelitian agar sesuai dengan standar. Berikut adalah beberapa standar desain kuat tekan beton yang ada (yang pernah berlaku) di Indonesia, yaitu:

- a. SNI 03-6806-2002; Tata Cara Perhitungan Beton Tidak Bertulang Struktural
- b. SNI 2834-2000; Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal
- c. SNI 03-6369-2000; Tata Cara Pembuatan Kaping untuk Benda Uji Silinder Beton
- d. SNI 1974:2011; Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder

### 2.3.3. Rumus

#### a. Kuat Tekan

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kekuatan beton akan meningkat dengan bertambahnya umur beton. Biasanya kekuatan tekan rencana beton adalah hitungan pada umur 28 hari.

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai faktor air semen, maka semakin rendah mutu beton. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kekuatan dan kualitas agregat, kekuatan semen dan kekuatan lekatan antara semen dengan agregat. Kuat tekan beton dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Kuat Tekan Beton =  $P / A$  (N/cm<sup>2</sup>) Keterangan:

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (cm<sup>2</sup>)

Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- 1) Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kuat tekan rata-rata dan kuat batas beton.
- 2) Jenis dan tekstur bidang permukaan agregat.
- 3) Perawatan beton harus diperhatikan, sebab kehilangan kekuatan akibat pengeringan sebelum waktunya adalah sekitar 40%.
- 4) Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan.
- 5) Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya.

Kecepatan bertambahnya kekuatan, bergantung pada jenis semen yang digunakan, misal semen dengan almina yang tinggi akan menghasilkan beton dengan kuat hancur pada umur 24 jam sama dengan semen portland biasa umur 28 hari. Pengerasan berlangsung terus seiring dengan pertambahan umur beton.

Berdasarkan kuat tekannya beton dibagi berapa jenis seperti yang dapat dilihat pada table dibawah ini:

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana ( <i>plain concrete</i> )	Sampai 10
Beton normal	15-30
Beton prategang	30-40
Beton kuat tekan tinggi	40-80
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80

Tabel 2.1. Beberapa jenis beton menurut kuat tekannya



#### b. Umur Rencana

Umur rencana adalah masa yang digunakan untuk melakukan pengujian kuat tekan beton. Beton akan mengalami pengerasan secara sempurna adalah setelah 28 hari, sehingga pada hari-hari sebelumnya akan mempunyai kuat tekan yang berbeda.

Rumus tabel konversi beton umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dapat digunakan untuk mengetahui variasi kuat tekan beton. Nilai ini biasanya diperlukan ketika hendak menetapkan waktu pembongkaran bekisting sehingga tidak perlu menunggu sampai 28 hari dan bekisting bisa digunakan untuk bagian pekerjaan beton yang lain.

### 2.4 Konsep Desain / Perencanaan Struktur

Konsep tersebut merupakan dasar teori perencanaan dan perhitungan struktur, yang meliputi desain terhadap beban lateral (gempa), denah dan konfigurasi bangunan, pemilihan material, konsep pembebanan, faktor reduksi terhadap kekuatan bahan, konsep perencanaan struktur atas dan struktur bawah, serta sistem pelaksanaan.

#### 2.4.1 Konsep Terhadap Beba Lateral (Gempa)

Dalam mendesain struktur, kestabilan lateral adalah hal terpenting karena gaya latera mempengaruhi desain elemen-elemen vertical dan horizontal struktur. Mekanisme dasar untuk menjamin kestabilan lateral diperoleh dengan menggunakan hubungan kaku dan untuk memperoleh bidang geser kaku yang dapat memikul beban lateral.

Beban Lateral yang paling berpengaruh terhadap stuktur adalah beban gempa dimana efek dinamisnya menjadikan analisisnya lebih kompleks. Tinjauan ini dilakukan untuk mengetahui pemilihan metode dan kriteria dasar perancangannya.

#### 2.4.2 Landasan Teori

##### 2.2.1 Sistem Struktur Bangunan

Sistem struktur dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem vertikal dan sistem horizontal. Sistem vertikal mencakup sistem struktur lateral yang dapat meningkatkan nilai kekakuan dan kekuatan komponen vertikal. Sistem penampang horizontal mencakup pengaku-pengaku horizontal atau

horizontal *bracing* berupa lantai dan sistem *deck framing* yang biasa disebut dengan diafragma horizontal. (Majore, 2015). Dalam SNI 1726:2012, telah ditentukan sistem dan sub-sistem dari struktur gedung terdapat 7 klasifikasi. Klasifikasi sistem dan sub sistem seperti berikut ini.

a. Sistem Dinding Penumpu

Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Sistem dinding penumpu ini hanya menggunakan satu buah sistem untuk setiap beban yang dipikul Sistem ini beban gravitasinya dipikul oleh dinding penumpu dan sistem *bracing*. Sedangkan beban lateral akibat gaya gempa dipikul oleh dinding geser atau rangka *bracing* (SNI 1726:2012).

b. Sistem Ganda

Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser. Selain itu, gaya gempa pada sistem ini juga bisa dipikul oleh rangka pemikul momen dan rangka *bracing*. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral yang bekerja. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral gempa, dengan memperhatikan interaksi keduanya (SNI 1726:2012).

c. Sistem Interaksi Dinding Geser dan Rangka

Sistem struktur ini menggunakan kombinasi dinding geser dan sistem rangka beton bertulang biasa. Penggunaan beton bertulang dalam konstruksi gedung sudah umum dilakukan. Salah satu kekurangannya adalah bervariasinya kuat tekan beton yang sangat dipengaruhi oleh jenis, kualitas, dan komposisi material pembentuknya (agregat, semen dan air), serta cara pengerjaannya. Oleh sebab itu, kontrol kualitas beton biasanya cukup ketat baik dalam proses pengadukannya, pengecorannya serta perawatan setelah dicor (SNI 1726:2012).

d. Sistem Kolom Kantilever

Sistem struktur penahan gaya gempa, di mana gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa disalurkan ke kolom. Kolom berperilaku sebagai kolom kantilever yang terjepit di bagian dasar gedung. Kolom kantilever adalah kolom yang salah satu tumpuannya adalah jepit, sementara ujung yang lain bebas. Pada sistem ini, kolom harus dirancang kuat dalam menahan gaya gempa, karena kolom merupakan satu-satunya penahan gaya gempa (SNI 1726:2012).

e. Sistem Rangka Gedung

Sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Sistem rangka ruang adalah pengembangan dari sistem struktur rangka batang dengan penambahan rangka batang ke arah tiga dimensi. Struktur rangka ruang adalah komposisi dari batang-batang yang masing-masing berdiri sendiri, memikul gaya tekan atau gaya tarik yang sentris dan dikaitkan satu sama lain dengan sistem tiga dimensi atau ruang. Pada sistem rangka gedung, beban lateral 16 yang diakibatkan oleh gempa dipikul dinding geser ataupun oleh rangka *bracing* (SNI 1726:2012).

f. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (*Moment Resisting Frame*) ini terbagi menjadi

3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). SRPMB merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar. SRPMM adalah suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitik beratkan kewaspadaannya terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. SRPMB adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur (SNI 1726:2012).



g. Struktur Tipe Bandul Terbalik

Suatu struktur kantilever langsing yang lebih dari 50% massa strukturnya terpusat di puncak struktur, dan stabilitas puncak strukturnya ditentukan oleh kekangan rotasi terhadap puncak elemen kantilever. Kolom pendukung pada sistem ini harus didesain terhadap momen lentur yang dihitung didasar kolom yang ditentukan dengan menggunakan prosedur yang terdapat pada SNI

1726:2012 point 7.8. Kolom pendukung harus bervariasi secara seragam hingga momen di puncak yang besarnya sama dengan setengah momen lentur yang dihitung di dasar kolom (SNI 1726:2012).

### 2.2.2 Struktur Bangunan Tidak Beraturan

Menurut SNI 1726:2012, struktur gedung dapat diklasifikasikan sebagai bangunan beraturan dan tidak beraturan. Kriteria ini harus berdasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

a. Ketidakberaturan Horizontal

Struktur bangunan gedung dapat mempunyai satu atau lebih ketidakberaturan horizontal jika memenuhi syarat-syarat yang akan dijelaskan. Ketidakberaturan horizontal menurut SNI 1726:2012 dapat diklasifikasi sebagai berikut ini.

1) Ketidakberaturan Torsi

Ketidakteraturan torsi menurut SNI terdapat dua buah klasifikasi ketidakberaturan torsi berdasarkan simpangan antar lantai tingkatnya, yaitu ketidakberaturan torsi, dan ketidakberaturan torsi berlebihan.

Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi

berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.

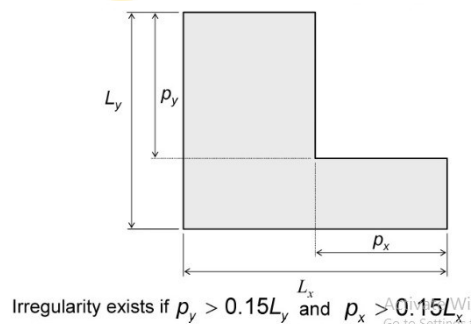
Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakteraturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.



## 2) Ketidakteraturan Sudut

Dalam

Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.



Gambar 2. 17 Ketidakteraturan sudut dalam (Indarto, 2013)

### 3) Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

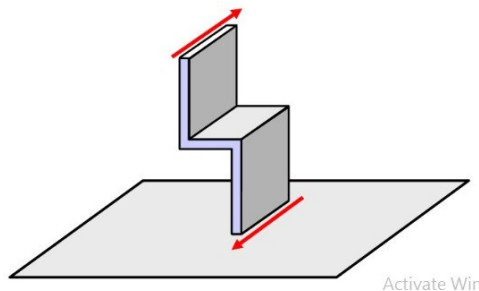
Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.



Gambar 2. 18 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

(Indarto,  
2013)

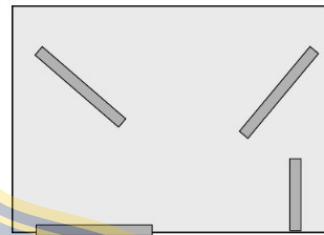
4) Ketidakberaturan Pergeseran Melintang Terhadap Bidang  
Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.



Gambar 2. 19 Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang (Indarto, 2013)

### 5) Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa.



Gambar 2. 20 Ketidakberaturan sistem nonparalel (Indarto, 2013)

#### b. Ketidakberaturan Vertikal

Struktur bangunan gedung dapat mempunyai satu atau lebih ketidakberaturan vertikal jika memenuhi syarat-syarat yang akan dijelaskan. Ketidakberaturan vertikal menurut SNI 1726:2012 dapat diklasifikasi sebagai berikut.

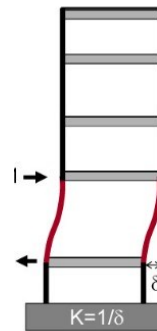
##### a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak menurut SNI terdapat dua buah klasifikasi kekakuan lateralnya, yaitu ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari

70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari

60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.



Gambar 2. 21 Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (Indarto, 2013)

b. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakteraturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.

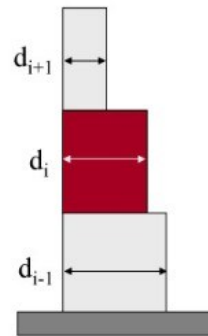


Gambar 2. 22 Ketidakberaturan berat (Indarto, 2013)

c. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakteraturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat

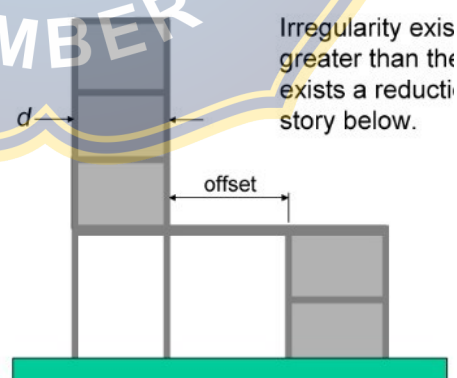
lebih dari 130 persen dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.



Gambar 2. 23 Ketidakberaturan geometri vertikal (Indarto, 2013)

d. Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.



Gambar 2. 24 Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal (Indarto, 2013)

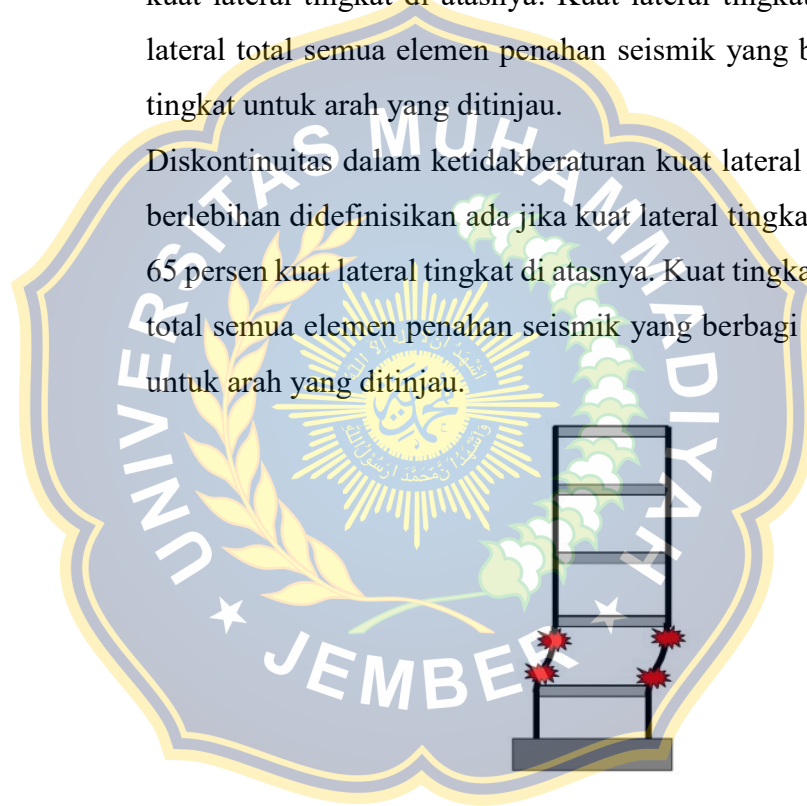


## 7. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat menurut SNI terdapat dua buah klasifikasi kekakuan lateralnya, yaitu diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan.

Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.

Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.



Gambar 2. 25 Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat (Indarto, 2013)

### 2.2.3 Kekakuan

Kekakuan elastik didefinisikan sebagai kemiringan kurva beban-simpangan atau kurva *envelope* pada beban saat  $0,4P_{\text{peak}}$ . Kemiringan garis digunakan untuk menentukan dan mengetahui bagian elastis kurva. Hal ini juga digunakan untuk menemukan parameter seperti daktilitas,  $P_{\text{yield}}$ , dan  $\Delta_{\text{yield}}$ .

#### 2.2.4 Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar merupakan penyederhanaan getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan. Gaya geser dasar selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung. Gaya geser dasar pada struktur gedung beraturan dapat ditentukan dengan metode statik ekuivalen, sedangkan untuk struktur gedung tidak beraturan ditinjau dengan metode dinamik (Cornelis, Bunganaen, & Uumbu Tay, 2014).

Gaya geser dasar akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal tingkat yang bekerja pada masing-masing tingkat bangunan. Dengan menjumlahkan gaya horizontal pada tingkat-tingkat yang ditinjau dapat diketahui gaya geser tingkat yaitu gaya geser yang terjadi pada dasar tingkat yang ditinjau. Akibat dari gaya yang terjadi pada tingkat-tingkat tersebut maka akan mengakibatkan terjadinya perpindahan dan simpangan pada tingkat-tingkat tersebut (Cornelis, Bunganaen, & Uumbu Tay, 2014).

#### 2.2.5 Perpindahan tingkat (*story displacement*)

Perpindahan adalah simpangan suatu lantai yang diukur dari dasar lantai. Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.8.6, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau.

Menurut SNI 1726:2012, bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik yang memiliki ketidakberaturan horizontal torsi, simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ), harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik atas dan di bawah tingkat yang letaknya segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Simpangan dinyatakan dalam bentuk *drift indeks*. *Drift indeks* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

### 2.2.6 Simpangan antar tingkat (*story drift*)

Respons struktur bangunan saat terjadi gempa dapat dilihat dengan adanya simpangan antar tingkat (*story drift*) pada bangunan. Simpangan *drift* adalah simpangan suatu lantai yang diukur dari dasar lantai di

### 2.2.7 Percepatan Gempa

Setiap gempa yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat. Nilai percepatan tanah yang biasa diperhitungkan pada perencanaan bangunan yaitu percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA). Semakin besar nilai percepatan tanah maka semakin besar pula risiko gempa bumi yang akan terjadi. Pengukuran percepatan tanah dilakukan secara empiris dengan pendekatan dari beberapa rumus yang diturunkan dari magnitude gempa atau data intensitas.

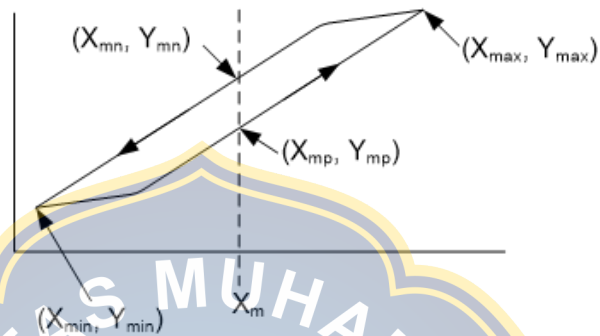
Massinai dkk. (2016) menyatakan bahwa percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan terbesar pada permukaan yang pernah terjadi di suatu wilayah dalam periode waktu tertentu akibat getaran gempa. Dampak dari gempa bumi yang dialami suatu lokasi dapat dipahami dengan menggunakan data PGA.

Parameter getaran gelombang gempa yang dicatat oleh seismograf adalah simpangan kecepatan dalam satuan kine (cm/dt), simpangan dalam satuan mikrometer, dan percepatan dalam satuan gal atau  $\text{cm/dt}^2$ . Parameter yang terpenting dalam seismologi teknik atau *earthquakes engineering* adalah nilai percepatan tanah. Nilai percepatan tanah dapat dihitung langsung oleh seismograf khusus atau disebut juga *strong motion seismograph* atau *accelerograf*, tetapi jaringan *accelerograf* tidak lengkap dalam segi periode waktu maupun tempatnya, maka perhitungan empiris sangat perlu dibuat.

### 2.2.8 Histerisis Energi

Kurva hysteretic loop yang dihasilkan dari pengujian dengan pembebanan bolak-balik merupakan hubungan antara beban (load) dan simpangan (displacement). Hubungan ini menunjukkan kapasitas dan perilaku struktur dalam menerima dan menahan beban pada tiap siklusnya.

Semakin datar hysteretic loop yang terjadi pada tiap siklus menunjukkan semakin rendahnya kekakuan geser yang terjadi akibat beban luar. Selain itu dari kurva hysteretic loops dapat diketahui kandungan energi yang diserap maupun yang lepas oleh masing-masing struktur pada setiap siklusnya. Energi Hysteresis merupakan luasan total dari kurva tertutup (bentuk daun) pada hysteretic loops yang diambil pada setiap siklusnya.



Gambar 2. 26 Kurva Histerisis

