

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Material Penyusun Beton

#### 2.1.1 Semen

Semen merupakan suatu bahan hasil produksi dari industri, dan merupakan campuran dari beberapa bahan yang dibakar menjadi satu dalam suatu proses menjadi bubuk. Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Semen yang digunakan adalah semen portland yang berbentuk serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan silikat. Penambahan air pada mineral ini akan menghasilkan suatu pasta yang apabila mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu (Mulyono, 2005).

Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Bahan baku pembuatan semen adalah batu kapur, pasir silika, tanah liat dan pasir besi.

Semen dibedakan atas beberapa tipe yakni sesuai dengan kebutuhan penggunaannya, berikut adalah perbedaan antara tipe-tipe semen yang ada :

1. Semen tipe I

Semen portland biasa yang standar digunakan untuk semua bangunan beton yang tidak akan mengalami perubahan cuaca yang dahsyat atau dibangun dalam lingkungan yang sangat korosif.

2. Semen tipe II

Semen ini digunakan untuk bangunan yang menggunakan pembetonan secara masal, seperti dam, dan mengeluarkan panas hidrasi rendah dan kecepatan penyebaran yang rendah. Contoh penggunaan adalah di dalam pembangunan dam yang mana penecoran dilakukan secara massal dan panas hidrasi tertahan didalam bangunan untuk jangka waktu yang lama. Pada saat terjadi pendinginan timbul tegangan-tegangan akibat perubahan panas yang akan menimbulkan retak-retak pada bangunan, oleh karena itu digunakan semen tipe II.

3. Semen tipe III

Semen ini adalah jenis semen yang cepat untuk mengeras dan cocok untuk pengecoran beton pada suhu yang rendah. Kadar  $C_3S$  dan  $C_3A$  adalah tinggi tanpa batas atas pada presentase  $C_3S$ , sedangkan  $C_3A$  cukup tinggi yang tidak akan dicapai

oleh semen tipe I. Butirannya digiling lebih halus daripada semen tipe I untuk dapat mempercepat proses hidrasi (Wibowo & Setyowati, 2003).

4. Semen tipe IV

Semen tipe ini menimbulkan panas hidrasi rendah.

5. Semen tipe V

Semen tipe ini merupakan semen yang tahan terhadap serangan sulfat serta mengeluarkan panas. Semen ini tahan dengan serangan-serangan sulfat dan reaksi-reaksi dari hasil kimia.

Sedangkan apabila ditinjau dari kekuatan, semen Portland dibedakan menjadi 4:

1. Semen Portland mutu S-400, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar  $400 \text{ kg/cm}^2$ .
2. Semen Portland mutu S-475, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar  $475 \text{ kg/cm}^2$ .
3. Semen Portland mutu S-550, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 28 hari sebesar  $550 \text{ kg/cm}^2$ .
4. Semen Portland mutu S-S, yaitu semen Portland dengan kekuatan tekan pada umur 1 hari sebesar  $225 \text{ kg/cm}^2$ , dan pada umur 7 hari sebesar  $525 \text{ kg/cm}^2$ .

### 2.1.2 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% - 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh masa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar. Adapun jenis agregat dibagi dua yaitu:

1. Agregat kasar, disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi  $\frac{1}{4}$  inch (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. Jenis agregat kasar yang umum antara lain: Batu pecah alami, kerikil alami, agregat kasar buatan dan lain sebagainya.
2. Agregat halus, merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran no.4 dan no.100 saringan standar ASTM. Agregat halus yang baik

harus bebas dari bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan saringan dari ASTM. (Nawi, 1998)

### 2.1.3 Air

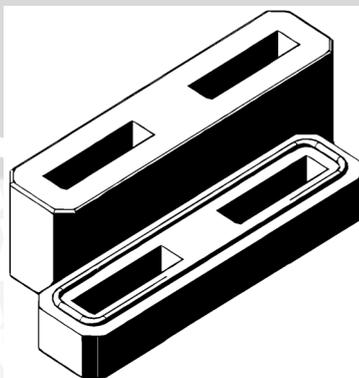
Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang digunakan harus bersih dan bebas dari senyawa-senyawa yang berbahaya. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan berkurang kekuatannya (Nawy, 1998).

## 2.2 Beton Bertulang

Beton sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), udara dan kadang-kadang campuran tambahan lainnya. Campuran yang masih plastis ini dicor kedalam acuan dan dirawat untuk mempercepat campuran hidrasi campuran semen-air, yang menyebabkan pengerasan campuran beton. Bahan yang berbentuk ini mempunyai kekuatan yang tinggi, dan ketahanan terhadap tarik rendah. Maka penguatan tarik dan geser harus diberikan pada daerah tarik pada penampang tuk mengatasi kelemahan pada daerah tarik dari elemen beton bertulang. (Nawi, 1998)

### 2.3 Bata Beton Bertulang

Bata adalah salah satu bahan bangunan tertua yang digunakan oleh manusia sebagai bukti dari sisa-sisa bersejarah Mesir dan Yunani. Bata pertama adalah batu alam kasar dengan pengisi mortar tanah disela-sela tumpukan. Jenis batu besar bisa menahan kekuatan tekan yang besar dan cukup tahan lama, meskipun kekuatan tarik rendah.



Gambar 2.3.1 Bata Beton Bertulang

Keterbatasan ini telah menyebabkan insinyur dan pembangun untuk mencari bentuk yang ulet dan tahan gempa. Seiring dengan perkembangan dilakukan penggabungan kekuatan tekan tinggi yang dimiliki beton bersama dengan grouting dan baja tulangan untuk lebih efisien menahan tegangan tarik dan memberikan keuletan dan sistem yang handal. Sepanjang 70 tahun terakhir, jenis konstruksi telah digunakan secara luas di wilayah gempa tinggi di seluruh Amerika Serikat dan, berdasarkan kinerja masa lalu, secara luas dianggap sebagai salah satu sistem yang paling tahan gempa. (Fódi & Bódi, 2011)

Elemen struktur terbuat dari bata beton bertulang efektif menahan beban melalui penerapan gabungan kekuatan tarik dari baja dan kuat tekan dari beton. Manfaat menggabungkan kekuatan dapat meningkatkan daktilitas, keutuhan struktur, dan tahan terhadap tegangan lentur dan geser. (CCI Industries Ltd.)

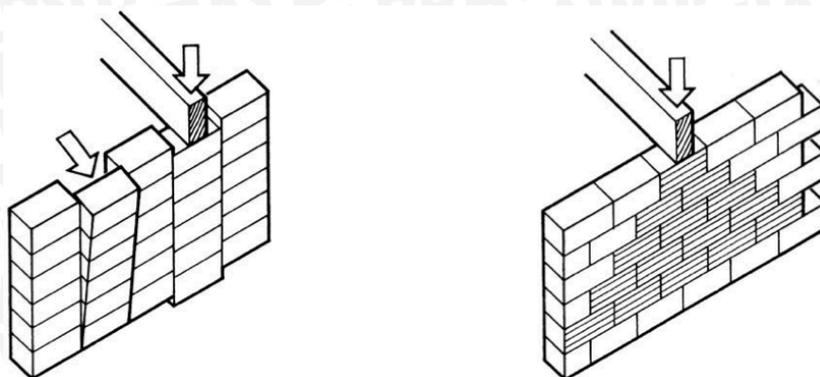
#### **2.4 Grouting**

ACI mendefinisikan grouting sebagai campuran bahan semen dan air dengan atau tanpa agregat proporsional untuk menghasilkan campuran cair tanpa segregasi. Grouting mungkin juga mengandung fly ash, slag, dan admixture cair.

Grouting digunakan untuk mengisi ruang atau rongga dan memberikan kontinuitas antara elemen bangunan. Dalam beberapa aplikasi, grouting akan bertindak dalam kapasitas struktural, seperti dalam konstruksi dinding pasangan. Dalam konstruksi bangunan, grouting dapat meningkatkan kinerja bangunan, tahan ledakan dan meningkatkan ketahanan termal dari elemen bangunan. (NRMCA, 2005)

#### **2.5 Dinding Bata**

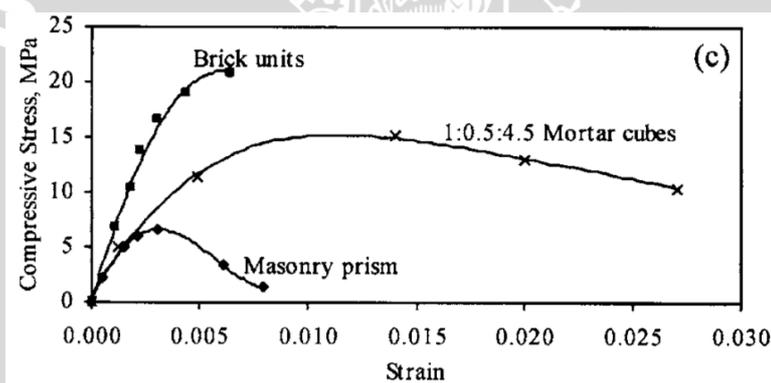
Dinding bata adalah bahan homogen dan terdiri dari dua komponen dasar batu bata dan mortar. Hubungan antara keduanya merupakan hal yang penting. Sifat batu bata dari tanah liat dan mortar yang berbeda secara terpisah atau bersama-sama bersatu, keduanya bertindak dengan cara yang berbeda. Berikut karakteristik yang paling penting dan fitur dari dinding bata satu per satu. (Fódi & Bódi, 2011)



Gambar 2.5.1 Mode lewatan pemasangan bata untuk dinding pasangan

### 2.5.1 Kuat Tekan Arah Memanjang Bata

Kuat tekan bata tergantung pada kekuatan dan kapasitas deformasi batu bata dan mortar. Gambar menunjukkan diagram tegangan-regangan dari batu bata tanah liat, mortar dan bata beton. Hal ini menunjukkan bahwa sifat-sifat batu bata dan bata beton berbeda. Penting untuk dicatat bahwa alasan itu tidak hanya karena mortar, melainkan ikatan batu bata.

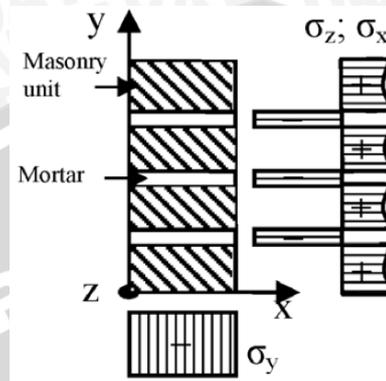


Gambar 2.5.2 Hubungan tegangan-regangan untuk batu bata, kubus mortar dan masonry (batu bata dan mortar)

Sumber: (Kaushik, Rai, & Jain, 2007)

Dalam tegangan yang lebih kecil dari kuat tekan mortar, deformasi bata beton ini sangat mirip dengan deformasi mortar dan batu bata. Jika tegangan dari bata beton sama dengan kuat tekan uniaxial mortar, maka deformasi lateral mortar lebih kuat. Bata beton mencoba untuk mencegah deformasi lateral mortar melalui ikatan diantaranya. Sebagai hasil dari pemeriksaan tegangan ini, tegangan tarik dalam batu bata dan tegangan tekan pada mortar yang terjadi tegak lurus terhadap arah beban. Dalam kasus tekanan yang cukup kuat, kondisi tegangan tekan multiaksial muncul di arah memanjang mortar, sedangkan kondisi tegangan tekan berada di bata beton. Karena kuat tekan mortar lebih tinggi dari kuat tekan uniaxial nyata. Kuat tekan bata lebih kecil dari kuat tekan uniaxial. Hal ini penting untuk menerapkan tegangan mortar dengan tegangan bata, sebagai kekuatan yang lebih rendah dari batu bata (modulus Young rendah) dibangun dengan

kekuatan mortar yang lebih tinggi dapat menyebabkan retak di atas kepala sendi. Mortar pada sendi dapat rusak, dan konsentrasi tegangan terjadi. Kekuatan bata beton juga dipengaruhi oleh permukaan dan ukuran bata beton, dengan ketebalan mortar dan dengan mengisi sendi. Sangat menarik untuk dicatat bahwa jika tidak ada mortar digunakan antarabata beton, kuat tekan bata adalah nol. (Eurocode 6, 1996)



**Gambar 2.5.3** Tegangan Regangan pada Mortar  
Sumber: (Fódi & Bódi, 2011)

### 2.5.2 Tarik dan kekuatan lentur

Kekuatan tarik dari bata beton arah melintang bata dapat ditentukan dari kohesi antara batu bata dan mortir atau dari kegagalan tarik dari bata beton, salah satu yang menawarkan resistensi yang lebih kecil akan menyebabkan modus kegagalan yang sebenarnya. Kekuatan tarik mungkin memiliki nilai yang berbeda secara signifikan, dan sebagai akibatnya kekuatan tarik bata beton arah melintang bata tidak dipertimbangkan selama desain.

Dalam kasus tegangan tarik arah memanjang batu bata, kegagalan bata dapat terjadi ketika tegangan geser antara bata beton dan mortar menghilang atau kekuatan tarik dari bata beton melebihi nilai batas. Dalam Gambar garis tebal menunjukkan lokasi celah-celah untuk dua mode kegagalan yang berbeda. Kedua jenis kegagalan tarik arah memanjang bata beton adalah retak meliputi ujung dan arah pangkal bata beton, dan celah-celah yang berjajar secara vertikal melalui ujung sendi. Sifat khas dari itu adalah kekuatan tekan mortar lebih kecil dari setengah dari kuat tekan bata beton. Dalam hal ini dengan kekuatan tekan yang sama dari bata beton dan mortar, maka bata beton akan runruh terlebih dahulu. (Dulácska, 2000)

### 2.5.3 Kekuatan Geser

Jika dinding terkena beban vertikal dan horisontal, maka kecondongan akibat tekanan akan muncul. Dalam kasus beban tanah, kondisi tegangan biaksial terjadi pada

bidang dinding yang dihasilkan dari gaya normal dan geser tegangan. Mekanisme kegagalan berikut ini dapat timbul dari beban horisontal:

1. Dalam kasus beban vertikal yang lebih rendah kegagalan terjadi pada sendi antara bata beton akibat gesekan.
2. Jika beban yang bekerja vertikal memiliki intensitas yang lebih tinggi, batu bata akan rusak karena tegangan tarik.
3. Intensitas beban tertinggi akan mengakibatkan kegagalan tekan batu bata.

Eurocode 6 menyarankan menghitung kekuatan geser dari bata dari uji geser. Jika tidak ada hasil tes yang tersedia, kekuatan geser dari batu dapat bekerja dari jumlah kekuatan geser tanpa tegangan tekan dan efek dari tegangan tekan tegak lurus geser. Kekuatan geser karakteristik bata beton dapat dihitung sebagai jumlah dari kekuatan geser awal dinding dan salah satu bagian dari tegangan tekan tegak lurus geser. Nilai ini dari Eurocode 6 sebesar 40 %. (Eurocode 6, 1996)

#### 2.5.4 Bata Beton Bertulang Berongga

Penggunaan bata beton sebagai dinding pasangan dapat juga dibuat jenis unit bata beton berongga. Kedua bahan tanah liat maupun blok beton dapat digunakan untuk konstruksi tersebut. Block bata beton berongga diletakkan dengan permukaan atas (suar horizontal) yang diselimuti oleh mortar sedangkan bagian badan atau bagian dalam rongga diisi oleh mortar yang lebih kokoh. Untuk tujuan pengikatan dalam bata beton perlu ditempatkan bergiliran dalam arah vertikal atau horizontal dengan sifat saling mengikatnya dapat diposisikan dalam rangka untuk meningkatkan kekuatan tarik dan lentur dinding. Jenis konstruksi bata beon bercelah dapat diterapkan dalam grouting atau dalam bentuk tidak digrouting tapi lebih banyak perencanaan lebih disukai dalam konstruksi menggunakan grouting untuk memperkuat struktur. (Fódi & Bódi, 2011)



**Gambar 2.5.4** Konstruksi bata beton berongga penggunaan sebagai dinding anti gempa

Sumber: (Müller, 2004 )

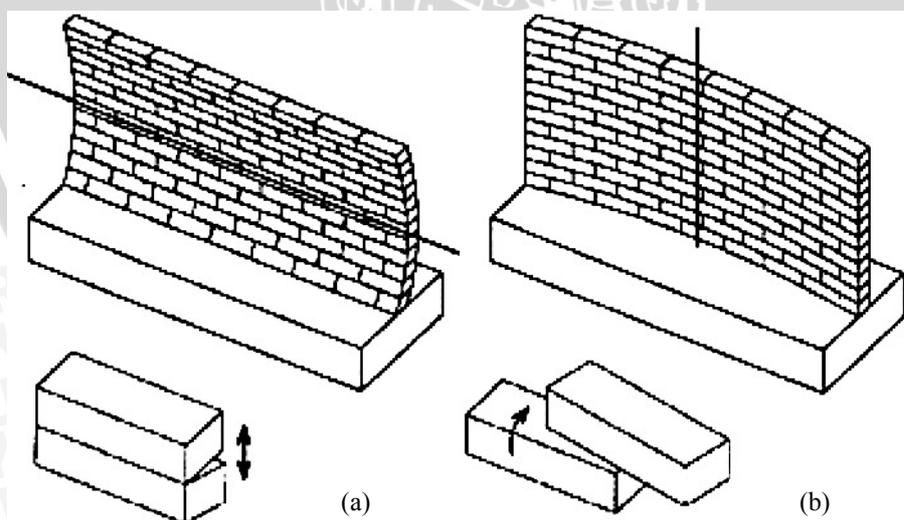
### 2.5.5 Bata Beton Grouting Bertulang

Hal ini sangat mirip dengan dinding dengan rongga, namun ruang kosong dinding diisi dengan grout atau beton dengan tulangan. Dengan mengisi kekosongan, grout memainkan peran penting. Grout mampu menembus ruang kecil jika agregat grout berkualitas baik, halus, dan terdiri dari kerikil kecil. Hal ini penting untuk mengisi ruang di sekitar tulangan secara menyeluruh karena untuk menghindari bahaya korosi. Untuk grout dinding bata beton dapat dilakukan dalam dua prosedur yang ada: *low-lift* dan *high-lift*. Dalam kasus pertama selama konstruksi penyusunan bata beton setiap level bata beton dilakukan pengisian rongga, dalam kasus lain konstruksi bata beton keseluruhan dibangun terlebih dahulu, kemudian grouting dimulai dari celah yang tersedia di bagian atas dinding. (Fódi & Bódi, 2011)

### 2.5.6 Model Keruntuhan Dinding Pasangan

Mode kegagalan pada dinding pasangan bata dapat dibedakan dalam dua kategori besar: kegagalan *in-plane*, dimana arah gaya berada di dalam bidang dinding, dan kegagalan *out-of-plane*, dimana arah datang gaya tegak lurus ke bidang dinding.

Ada dua mode kegagalan *out-of-plane* yang berbeda dari dinding yang mengalami gaya horisontal, tergantung pada jenis kondisi tumpuan dan lentur. Satu jenis adalah bahwa kegagalan sejajar dengan arah bata beton, dan yang lain adalah kegagalan tegak lurus terhadap arah bata beton.



**Gambar 2.5.5** Pembebanan *out-of-plane* pada dinding: (a) sejajar siar horizontal; (b) tegak lurus siar horizontal

### 2.5.7 Celah Dinding

Pada dinding penahan tanah celah dinding berfungsi sebagai lubang sulingan dan harus ditempatkan pada baris pertama bata beton di atas permukaan tanah, di atas dinding

fondasi atau slab, bukaan dinding, dan pada titik-titik lain dukungan termasuk lantai struktural, dan sudut.

Celah dinding harus ditempatkan di bagian sisi dinding pasangan bata dengan jarak maksimum 33 inci (838 mm) antara satu dengan yang lain. Ketentuan yang harus dilakukan adalah untuk memastikan bahwa di bawah dinding terdapat ruang bebas untuk aliran air dengan instalasi saluran air. Bila diperlukan penambahan saluran tambahan untuk meringankan air dari bawah. Pipa saluran harus dari ukuran yang cukup untuk memadai aliran air ke lokasi yang dituju, tetapi terdapat ukuran minimal diameter 4 inci (10 mm). Ketentuan harus dibuat untuk mencegah sistem drainase dari menjadi tersumbat. (International Conference of Building Officials, 2006)

Struktur dinding penahan tanah yang disyaratkan oleh IBC memiliki luasan celah dinding minimal yang dibutuhkan untuk sebuah dinding persegi sisi 1 m x 1 m (10000 cm<sup>2</sup>) adalah 235 cm<sup>2</sup> atau mencapai 2.3% dari total luas dinding. Pada skala model yang digunakan penelitian ini maka didapatkan luasan celah setiap dimensi dinding adalah 192 cm<sup>2</sup> atau mencapai 3.1 % dari total luas dinding.

## **2.6 Pertimbangan Teoritis**

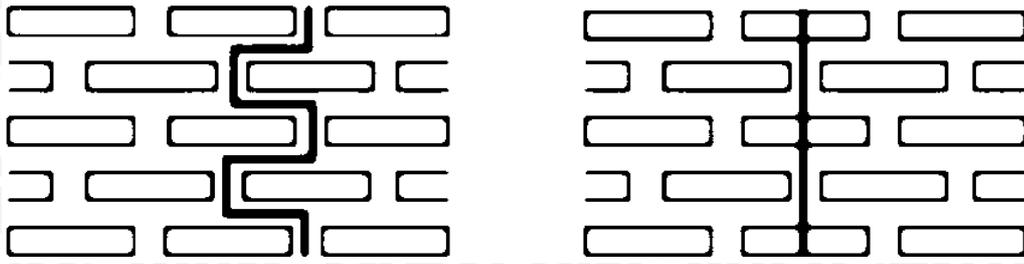
Model keruntuhan dapat digambarkan dengan beberapa bentuk kegagalan. Diidentifikasi bahwa dinding pasangan bata beton bertulang dengan grouting bisa mempunyai empat model kegagalan bahan untuk menahan gaya.

### **2.6.1 Kekuatan Bata Beton Bertulang**

Kuat tekan bata beton bertulang didasarkan pada gaya yang diperlukan satu unit bata beton bertulang untuk hancur. Bata beton bertulang memiliki tulangan di dalamnya. Kekuatan satu elemen bata diperoleh dari kemampuan beton dalam menahan tekan dan kemampuan tulangan untuk memperkuat bata dalam menahan tegangan tarik yang terjadi pada arah tegak lurus gaya.

### **2.6.2 Kuat Lentur Bata Beton Bertulang**

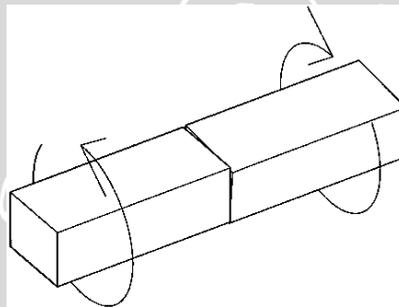
Garis tebal menunjukkan dua lokasi retak untuk dua model kegagalan yang berbeda. Kedua jenis kegagalan terjadi karena tekanan pada dinding pembebanan *out-of-plane*. Retak pada gambar pertama terjadi karena kuat tekan mortar lebih kecil dari setengah kuat lentur bata. Namun jika kuat lentur bata dan mortar sama maka akan terjadi retak vertikal seperti pada gambar kedua. Mortar dan bata akan hancur bersama.



**Gambar 2.6.1** Pola retak dimungkinkan karena tegangan pada bata akibat beban luar

### 2.6.3 Kuat Torsi Grouting

Gambar menunjukkan lokasi retak ketika grouting mengalami kegagalan torsi. Gaya berlawanan arah diperoleh dari ikatan antar bata beton yang dihubungkan oleh grouting. Gaya yang diberikam oleh dinding akan menghasilkan lentur pada bata sehingga bata akan bergerak untuk memuntir ikatan grouting. Retak pada grouting terjadi ketika kuat tekan grouting lebih kecil dari pada kuat tekan bata. Kegagalan terjadi pada koneksi antar bata beton.



**Gambar 2.6.2** Retak dimungkinkan karena kegagalan pada grouting

### 2.6.4 Kuat Lekat Bata Beton Bertulang dengan Mortar

Keunggulan dari bata dengan kuat tekan tinggi adalah tidak mudah hancur ketika menerima beban, namun kegagalan akan berpindah pada material yang lebih lemah yaitu mortar. Kuat lekat mortar dengan bata diperoleh dari tegangan gesek yang terjadi pada bata dengan mortar. Hilangnya tegangan gesek antara mortar dengan bata dapat berakibat kegagalan struktur sehingga retak akan muncul.

### 2.7 Balok Segiempat

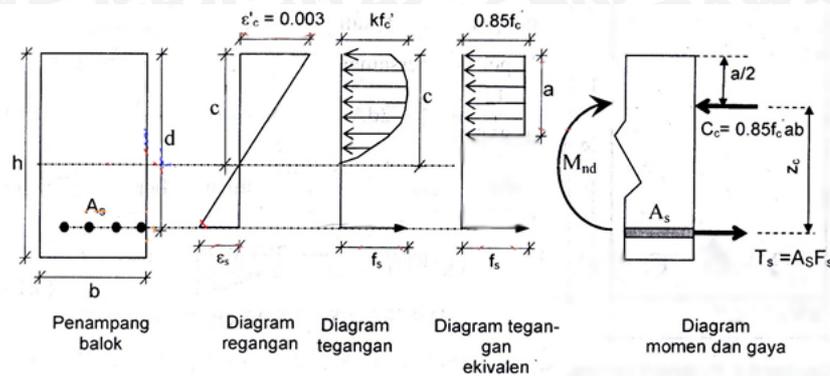
Distribusi tegangan tekan aktual yang terjadi pada penampang mempunyai bentuk parabola. Blok tegangan ekuivalen ini mempunyai tinggi  $a$  dan tegangan tekan rata-rata sebesar  $0,85f'_c$ . Gaya  $T$  dapat ditulis sebagai  $A_s f_y$ . (Nawi, 1998)

Jadi persamaan keseimbangan dapat ditulis:

$$0.85f'_c b a = A_s f_y$$

Momen tahapan penampang, yaitu kekuatan nominal  $M_n$ , dapat ditulis sebagai:

$$M_n = (A_s f_y) j d \quad \text{atau} \quad M_n = (0,85 f'_c b a) j d$$



**Gambar 2.7.1** Diagram tegangan regangan penampang balok

## 2.8 Kuat Lentur Balok

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu yang diberikan padanya sampai balok beton patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa). Kuat tarik dalam lentur dikenal sebagai modulus runtuh (*Modulus of Rupture*). Untuk batang yang mengalami lentur yang dipakai dalam desain adalah besarnya modulus runtuh (*fr*). Dalam sebuah balok elastis homogen yang menerima momen lentur, tegangan- tegangan.

Patahnya benda uji di daerah pusat pada 1/3 jarak titik perletakan dan bagian tarik beton, kuat lentur beton dihitung dengan rumus:

$$f_r = \frac{P \cdot l}{b \cdot d^2}$$

(Sumber: SNI 03-4431-1997)

Sedangkan untuk menghitung kuat lentur beton, dimana patahnya benda uji di luar pusat adalah:

$$f_r = \frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot d^2}$$

(Sumber: SNI 03-4431-1997)

Keterangan :

$f_r$  = Kuat lentur benda uji ( $\text{N/mm}^2$ ),

$P$  = Beban maksimum dari mesin benda uji (N)

$l$  = Jarak perletakan (mm),

$b$  = Lebar tampang lintang patah horizontal (mm)

$d$  = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

$a$  = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar (mm)

## 2.9 Kekakuan

Nilai kekakuan berdasarkan rumus defleksi yang ada didapatkan dari persamaan berikut :

$$K = \frac{P}{\Delta} \qquad K = \frac{2EI}{eL^2}$$

Kekakuan lentur pada awalnya tergantung pada ukuran geometri elemen dan modulus elastisitas materialnya. Hubungan tersebut tidak berlaku secara sederhana pada struktur beton bertulang karena harus mempertimbangkan pengaruh retakan dan kontribusi beton terhadap tegangan tarik (Paulay, 1992).

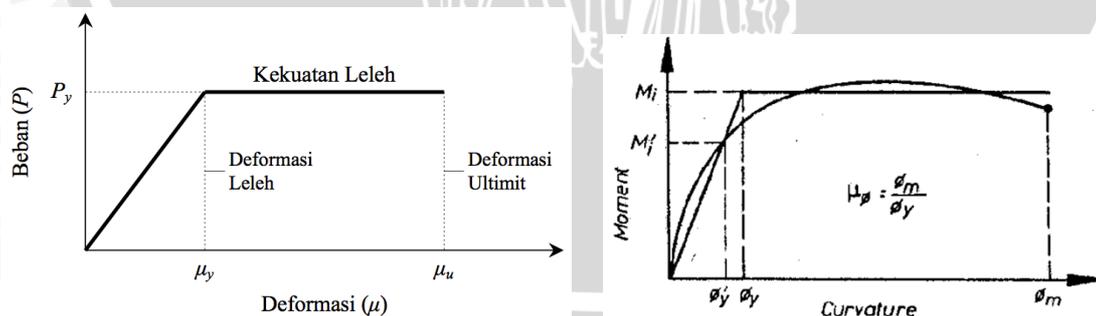
## 2.10 Daktilitas

Daktilitas merupakan kemampuan struktur atau sub-struktur untuk menahan respon inelastik yang dominan dalam memikul beban dan menyerap energi agar tidak runtuh. Secara matematis, nilai daktilitas ( $\mu$ ) struktur didefinisikan sebagai perbandingan antara suatu parameter deformasi rencana maksimum struktur ( $\delta_u$ ) diambil nilai deformasi dari penurunan 20% beban puncak (ACI Committee 374, 2005) / 15% beban puncak (Ujianto, 2006) dari beban maksimum, dengan deformasi pada saat terjadinya leleh pertama pada struktur yang ditinjau ( $\delta_y$ ), seperti yang diberikan dalam persamaan berikut:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

Sumber: (Priestly & Prienstly, 1992)

Parameter deformasi yang umum dikenal adalah kurvatur (*curvature*), putaran sudut (*rotational*), regangan (*strain*) dan perpindahan (*displacement*).



**Gambar 2.10.1** Definisi  $\mu$  dari Daktilitas

Macam-macam daktilitas, antara lain adalah:

1. Daktilitas regangan (*strain ductility*,  $\mu_e$ ), merupakan perbandingan regangan maksimum dengan regangan saat leleh, pada balok yang mengalami pembebanan aksial tarik atau tekan.

$$\mu_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{u,max}}{\varepsilon_y}$$

2. Daktilitas kelengkungan (*curvature ductility*,  $\mu_{\phi}$ ), merupakan perbandingan sudut lengkungan (*angle of curvature*) maksimum dengan sudut kelengkungan leleh elemen struktur akibat momen lentur.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_{u,max}}{\phi_y}$$

3. Daktilitas rotasi (*rotational ductility*,  $\mu_{\theta}$ ), merupakan perbandingan antara putaran sudut maksimum sendi plastis terhadap putaran sudut leleh.

$$\mu_{\theta} = \frac{\theta_{u,max}}{\theta_y}$$

4. Daktilitas perpindahan (*displacement ductility*,  $\mu_{\delta}$ ), merupakan perbandingan perpindahan (deformasi) maksimum struktur (arah lateral) dalam kondisi *post-elastic* terhadap perpindahan (deformasi) struktur saat leleh.

$$\mu_{\delta} = \frac{\delta_{u,max}}{\delta_y}$$

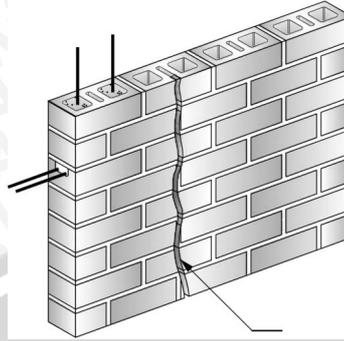
Sumber: (Priestly & Priestly, 1992)

### 2.11 Pola Retak

Bata beton adalah jenis struktur termasuk produk keramik. Bata beton dapat dimodelkan dalam tingkat mikro dan juga makro. Tingkat mikro adalah tingkat atom. Kepadatan dibangun oleh adanya ikatan primer yang terbentuk antara atom dan yang melibatkan pertukaran atau berbagi elektron. Keramik memiliki *covalence internal* yang kuat (ikatan ion). Ketika keduanya stabil maka akan kuat dan kaku karena kontak antaratom tersebut. Struktur mikro keramik lebih berperan untuk menanggulangi kembali keretakan, bahkan dalam kasus retak kecil, kegagalan sistem obligasi dapat terjadi secara keseluruhan dimulai tiba-tiba karena retak lokal dari kristal kisi. Di tingkat makro efek ini dapat menyebabkan perilaku bahan rapuh. Biasanya, keramik yang ditandai dengan rapuh ketika ditekan, karena terjadi kontak yang kuat, kuat tekan dan modulus runtuh yang tinggi, tetapi ketangguhan bata beton jauh lebih rendah dibandingkan dengan logam, dan sangat sensitif terhadap retak. Peningkatan kekuatan ini dimungkinkan dengan menggunakan tulangan didalamnya.

Kegagalan bata beton disebabkan oleh retakan yang berbeda tergantung pada jenis pembebanan. Jika elemen tersebut dibebani oleh tegangan, konsentrasi tegangan di ujung

membawa penyebaran microcracks, kemudian macrocracks ke dalam dan jika tidak stabil maka stabilitas bahan hilang, kegagalan tiba-tiba terjadi.



**Gambar 2.11.1** Pola retak pada dinding bata beton bertulang

Faktor utama yang menyebabkan retak adalah tegangan yang terjadi, terutama tegangan tarik. Pembatasan retak dapat dicapai dengan membatasi tegangan (Vis & Kusuma, 1993).

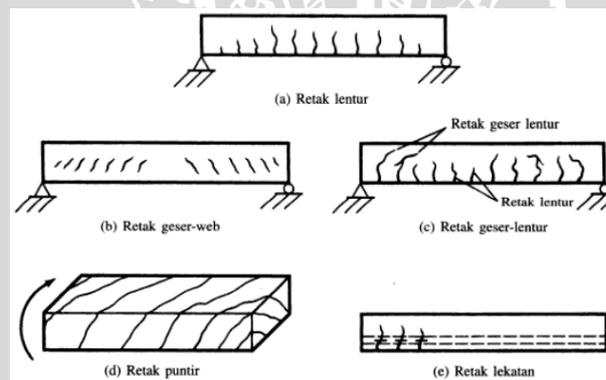
Menurut Nawy (1990), perilaku retak pada pelat umumnya terbagi atas tiga daerah yaitu:

1. Daerah I yaitu praretak dimana pelat bebas dari retak akibat pembebanan. Segmen praretak ini berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Kekakuan lentur  $EI$  dari pelat dapat diestimasi dengan menggunakan modulus Young  $E_c$  dari beton dan momen inersia penampang beton tidak retak. Perilaku beban lendutan sangat tergantung pada hubungan tegangan-ragangan beton. Besarnya  $E_c$  dapat diestimasi dengan menyertakan besaran berat volume antara 1500 sampai 2500  $\text{kg/m}^3$ ,  $E_c$  diambil sebesar  $0,043 w_c^{1,5} \sqrt{f_c}$  dan untuk beton normal  $E_c$  boleh diambil sebesar  $4700 \sqrt{f_c}$  dengan  $w_c$  dalam  $\text{kg/m}^3$  dan  $f_c$  dalam Mpa.
2. Daerah II taraf beban pasca retak. Daerah praretak diakhiri dengan mulainya retak pertama dan mulai bergerak menuju daerah II. Hampir semua pelat terletak pada daerah ini pada saat beban kerja. Pelat yang dibebani pada tumpuan sederhana, mengalami retak yang semakin lebar dan dalam pada lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi retak lentur, kontribusi kekuatan tarik beton sudah hilang. Sehingga kekakuan lentur penampangnya telah berkurang dan akibatnya kurva beban lendutan pada daerah ini semakin landai dibandingkan daerah taraf praretak.
3. Daerah III yaitu taraf retak *post serviceability* dan keadaan limit perilaku lendutan pada daerah tumpuan III. Kurva pada daerah ini jauh lebih datar dibandingkan dengan daerah sebelumnya. Ini disebabkan oleh hilangnya kekakuan penampang

karena retak yang cukup banyak dan lebar disepanjang bentang pelat. Apabila beban semakin ditambah, maka daerah tarik akan mengalami kehancuran.

Menurut McCormac (2001), pola retak untuk balok dan pelat satu arah dibedakan menjadi 5 macam yaitu: retak geser, retak lentur, retak geser-lentur, retak puntir, dan retak lekatan.

Menurut McCormac (2001), retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik dan mengarah ke atas sampai daerah sumbu netral. Kadang retak miring akan berkembang secara bebas pada balok meskipun tidak ada retak lentur pada daerah tersebut yang emudian disebut dengan retak geser. Retak geser-lentur yaitu retak pada balok yang umum terjadi pada balok prategang dan non prategang ditandai dengan penyebaran retak vertikal dimulai dari tepi bawah pelat atau balok berujung pada daerah sebelum tekan. Retak puntir cukup mirip dengan retak geser terkecuali retak puntir ini melingkar di sekeliling balok. Retak lekata merupakan tegangan lekatan antara beton dan tulangnya yang mengakibatkan pemisahan di sepanjang tulangan.



**Gambar 2.11.2** Beberapa jenis retak pada beton

Wang dan Salmon (1986) menyatakan bahwa retak beton biasanya disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Perubahan volume, termasuk akibat susut rangkai akibat beban tetap, tegangan akibat suhu dan perbedaan unsur kimia antara bagian beton.
2. Tegangan langsung dalam dan luar akibat penerusan (*continuity*), beban bertukar arah, lendutan jangka panjang, lendutan awal di dalam beton prategang, atau perbedaan penurunan di dalam struktur.
3. Tegangan akibat lentur.

Wang dan Salmon (1986) menyebutkan bahwa tipe keruntuhan plat yang mungkin terjadi akibat beban terpusat adalah serupa untuk balok tanpa penulangan. Tipe keruntuhan

tersebut antara lain: keruntuhan geser-tekan (*shear-compression failure*) dan keruntuhan tarik-diagonal (*diagonal tension failure*).

## 2.12 Hipotesis

Setelah mempelajari materi dari tinjauan pustaka serta memahami permasalahan-permasalahan yang akan ditemukan dalam proses penelitian, maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Diduga jarak celah yang bervariasi antara 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm akan mempengaruhi besar kuat lentur dari dinding bercelah terhadap pembebanan *out-of-plane* beban garis tegak lurus siar horizontal.
2. Diduga jarak celah yang bervariasi antara 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm akan mempengaruhi besar kuat lentur dari dinding bercelah terhadap pembebanan *out-of-plane* beban garis sejajar siar horizontal.
3. Diduga jarak celah yang bervariasi antara 1 cm, 1.5 cm dan 2 cm akan mempengaruhi pola retak dari dinding bercelah terhadap pembebanan *out-of-plane* beban garis tegak lurus dan sejajar siar horizontal.

