

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian tentang pengaruh variasi jarak sengkang terhadap kapasitas lentur balok beton bertulangan bambu pernah dilakukan oleh Rosalia Devita, (2017). Digunakan dalam penelitian ini sengkang bambu apus dengan dimensi balok lebar 8 cm tinggi 10 cm dan Panjang 80 cm dengan mutu beton  $f'c$  25 Mpa. Dengan jarak sengkang 2,5 cm, 5 cm, 8cm. Sedangkan variable terikat yang digunakan adalah kapasitar lentur balok. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas momen lentur balok beton bertulangan bambu dengan jarak sengkang 2,5 cm, 5 cm dan 8 cm berturu-turut sebesar 1153 33 kgm, 1280 kgm dan 1152 33 kgm.

Penelitian yang di lakukan oleh (Kurniawan, 2016) tentang pengaruh variasi jarak sengkang terhadap kapasitas lentur balok beton bertulang bambu yang terkang pada jalur tekannya. Penelitian ini dilakukan pada 8 buah benda uji balok beton bertulang bambu yang terkekang pada jalur takannya dengan variasi jarak sengkang. Berdasarkan penelitian diperoleh hasil pengujian kapasitas lentur dengan jarak sengkang 1,7 cm sebesar 2127,5 kgm, jarak Sengkang 2,5 cm sebesar 1782,5 kgm, jarak sengkang 5 cm sebesar 1667,5 kgm, dan jarak Sengkang 8 cm sebesar 1322,5 kgm. Berdasarkan pada hasil yang telah didapatkan maka balok dengan jarak Sengkang terpendek mempunyai kapasitas lentur yang besar.

#### **2.2 Teknologi Beton**

##### **2.2.1 Pengertian Beton**

Pengertian beton secara umum adalah material bangunan yang terdiri dari campuran agregat halus (seperti pasir), agregat kasar (seperti kerikil atau batu pecah), air, dan sering kali bahan tambahan seperti semen. Setelah campuran ini mengeras, ia menjadi material yang kuat dan tahan lama, yang digunakan secara luas untuk membuat berbagai struktur bangunan seperti fondasi, dinding, jalan, dan jembatan. Beton memiliki keunggulan dalam kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan terhadap cuaca, serta kemampuannya untuk dibentuk sesuai kebutuhan

konstruksi. Menurut (Apriandi<sup>1</sup> & Sriwahyuni, 2022) Beton adalah material campuran yang terdiri dari beberapa komponen utama seperti agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan lainnya dengan komposisi tertentu. Sebagai material komposit, sifat keuletan (daktilitas) beton sangat dipengaruhi oleh kualitas setiap komponen penyusunnya.

### **2.2.2 Kelebihan Beton dan Kekurangan Beton**

Kelebihan dan kekurangan beton Menurut (Apriandi<sup>1</sup> & Sriwahyuni, 2022) Kelebihan beton

1. harganya relatif rendah karena bahan-bahan dasarnya mudah ditemukan.
2. beton terdiri dari material yang tahan lama dan tahan terhadap abrasi, panas, karat, atau degradasi akibat lingkungan, sehingga biaya pemeliharaan menjadi lebih rendah.
3. beton memiliki kekuatan tekan yang cukup tinggi sehingga jika digabungkan dengan baja tulangan tarik tinggi, dapat menjadi satu kesatuan struktural yang mampu menahan tegangan dan kompresi. Oleh karena itu, beton bertulang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pondasi, kolom, balok, dinding, perkerasan jalan, landasan penerbangan, tangki air, pelabuhan, bendungan, jembatan, dan lainnya.
4. proses pembuatan beton cukup mudah karena dapat dibentuk sesuai dengan geometri dan dimensi yang diinginkan, serta cetakan beton bisa digunakan berkali-kali sehingga lebih ekonomis.

(Apriandi<sup>1</sup> & Sriwahyuni, 2022) menyatakan bahwa beton mempunyai beberapa kelemahan. bahan dasar agregat halus dan kasar bervariasi tergantung dari sumbernya, sehingga perencanaan dan produksinya harus disesuaikan.

1. kekuatan beton yang bervariasi menuntut perencanaan penggunaan dan pelaksanaannya sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek yang sedang dibangun.
2. beton cenderung rapuh dan mudah pecah karena memiliki kekuatan tarik yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan solusi seperti

penambahan serat baja, tulangan, dan material lainnya untuk meningkatkan kekuatannya.

### **2.2.3 Bahan Penyusun Beton**

Beton dibentuk oleh berbagai interaksi mekanis dan kimia yang terjadi antara berbagai bahan yang membentuknya (Nawy, 1985) sebagai berikut:

#### **1. Semen Portland**

Menurut Spesifikasi Standar Semen Portland (ASTM) C-150, yang diterbitkan pada tahun 1985, semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dibuat dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik. Selain itu, dalam kebanyakan kasus, semen Portland terdiri dari bahan lain daripada bahan utamanya. Produk ini mengandung kalsium sulfat dalam bentuk apa pun. Empat kategori berbeda dari komponen utama yang ditemukan dalam semen adalah dikalsium silikat (C3S), dikalsium silikat (C2S), trikalsium aluminat (C3A), dan tetrakalsium aluminoforit (C4AF). Menurut Tjokrodinuljo (1996), komponen C3S dan C2S memiliki proporsi paling besar, berkisar antara 70 dan 80 persen, dan paling banyak memberikan sifat pada semen. Menurut pasal 4 Standar Semen Portland SNI 15-2049-2004, semen Portland dapat dibagi menjadi lima kategori di bawah ini:

- a. Tipe I yang sering disebut dengan semen Portland merupakan jenis semen yang ditujukan untuk penggunaan umum dan tidak memerlukan kriteria tambahan apa pun, tidak seperti semen jenis lainnya.
- b. Tipe II yang sering disebut dengan semen Portland adalah jenis semen yang harus tahan terhadap sulfat atau memiliki panas hidrasi sedang agar dapat berfungsi dengan baik.
- c. jenis III yang sering disebut dengan semen Portland merupakan jenis semen yang digunakan pada aplikasi yang memerlukan kekuatan tingkat tinggi pada tahap pertama setelah dilakukan pengikatan.

- d. Tipe IV yang sering disebut dengan semen Portland merupakan jenis semen yang memerlukan panas hidrasi rendah agar dapat digunakan.
- e. Semen tipe V yang sering disebut dengan semen portland merupakan salah satu jenis semen yang memerlukan tingkat ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

## 2. Agregat

Menurut Pasal 2.2 SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, agregat termasuk bahan granular seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan terak tanur tiup. Beton dan mortar semen hidrolis dibuat dengan agregat dan perekat. 60% hingga 80% volume beton biasanya terdiri dari agregat. Agregat harus diurutkan sedemikian rupa sehingga agregat yang lebih kecil memenuhi ruang di antara agregat yang lebih besar untuk memastikan bahwa seluruh massa beton tetap utuh, homogen, dan padat (Edward G. Nawy, 2010). Berikut ini adalah dua kategori yang membentuk agregat:

### a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan dengan saringan 4,75 mm (ASTM C33, 1982 tentang *Standard Specification for Concrete Aggregates*). Persyaratan agregat kasar adalah strukturnya cukup kasar, keras, bersudut, tidak rata, tidak panjang, dan tahan terhadap pelapukan. Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton. Sifat terpenting dari agregat kasar (batuan, kerikil, batu pecah) adalah kuat tekan dan kuat tumbukan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen (L. J. Murdoch dan KM Brook, 1979).

Tabel 2.1 memberikan gambaran batasan gradasi agregat kasar yang dituangkan dalam SNI 03-2834-1992 yang berlaku pada tata cara penghitungan struktur beton untuk bangunan gedung.

Tabel 2. 1 Batas-Batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Berat yang Lolos Saringan	
	5 – 38 mm	5 – 18 mm
38,0	90-100	100
19,0	35-70	90-100
9,6	10-40	50-85
4,8	0-5	0-10

Sumber: SNI 03-2834-1992

Batas-batas gradasi agregat kasar bertujuan untuk mengetahui proporsi jumlah agregat dalam perencanaan campuran beton yaitu:

1. Zona Gradasi Agregat Kasar

Gradasi agregat merupakan distribusi variasi ukuran partikel agregat. Agregat kasar dengan ukuran seragam mempunyai volume pori antar partikel yang besar. Sebaliknya, jika agregat kasar memiliki ukuran yang berbeda, Ketika partikel yang lebih kecil menempati ruang di antara partikel yang lebih besar, pori-pori menyusut, sehingga ukuran keseluruhannya berkurang. Pemingkatan agregat kasar mempengaruhi ukuran rongga dalam campuran, jumlah air pencampur, jumlah semen yang dibutuhkan, dan pengendalian *segregasi* dan *bleed*.

2. Modulus Kehalusan Agregat Kasar

Modulus kehalusan (*fine modulus*) merupakan indeks yang menentukan kehalusan dan kekasaran partikel agregat (Abrams, 1918). Umumnya koefisien kehalusan agregat kasar berkisar antara 5,0 hingga 8,0. Koefisien kehalusan tidak mempengaruhi kekuatan beton, tetapi hanya mempengaruhi proporsi agregat kasar dalam struktur campuran beton untuk mencapai kemampuan kerja beton segar yang direncanakan.

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan 4,75 mm (ASTM C33, 1982 tentang *Standard Specification for Concrete Aggregates*). Agregat halus harus memenuhi kriteria berikut: harus mengandung lumpur kurang dari lima persen, tidak boleh mengandung bahan organik dalam jumlah besar, harus terbentuk dari partikel yang tajam dan kaku, dan tidak boleh mengandung sedikit pun pasir laut. Menurut L.J. Murdock dan K.M. Brook (1979), kekuatan tekan dan kekuatan impak agregat halus (pasir) merupakan ciri paling penting dari material ini. Atribut-atribut ini mungkin berpengaruh pada seberapa baik mereka melekat pada pasta semen.

Tabel 2.2 memberikan gambaran batasan gradasi agregat halus yang diatur dalam SNI 03-2834-1992, yaitu dokumen yang menguraikan tata cara penghitungan struktur beton yang diperuntukkan bagi bangunan gedung.

Tabel 2. 2 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan	Persentase Berat yang Lolos Saringan (Gradasi)			
	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
9,60 mm	100	100	100	100
4,80 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60 mm	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15 mm	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 03-2834-1992

Batas-batas gradasi agregat kasar bertujuan untuk mengetahui proporsi jumlah agregat dalam perencanaan campuran beton yaitu:

1) Zona Gradasi Agregat halus

Gradasi agregat mengacu pada distribusi variasi ukuran partikel agregat. Agregat halus berukuran seragam meningkatkan volume pori antar partikel. Sebaliknya jika

agregat halus memiliki ukuran yang berbeda, Pori-pori akan menyempit akibat terisinya partikel-partikel kecil ke dalam ruang antar partikel yang lebih besar. Selain mempengaruhi ukuran rongga dalam campuran, gradien agregat halus juga berdampak pada jumlah campuran udara, jumlah semen yang dibutuhkan, dan pengelolaan *segregasi* dan *bleed*.

## 2) Modulus kehalusan Agregat Halus

Koefisien kehalusan merupakan indeks yang mengontrol kehalusan dan kekasaran partikel agregat (Abrams, 1918). Umumnya koefisien kehalusan agregat halus berkisar antara 1,5 hingga 3,8. Koefisien kehalusan tidak mempengaruhi kekuatan beton, tetapi hanya mempengaruhi proporsi agregat halus dalam struktur campuran beton untuk mencapai kemampuan kerja beton segar yang direncanakan.

## 3. Air

Pasal 5.4.1 SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bangunan Gedung mengatur bahwa udara yang digunakan dalam campuran beton harus murni dan bebas dari zat-zat yang dapat merusak beton atau tulangan, seperti seperti minyak, asam, alkali, garam, atau bahan organik. Interaksi kimia antara semen dan udara diperlukan untuk membangun beton, yang menghasilkan pembentukan pasta yang berfungsi sebagai pengikat agregat. Saat mencampur beton, udara yang tercemar zat berbahaya atau tercemar gula, minyak, garam, atau bahan kimia lainnya dapat melemahkan semen secara drastis dan mengubah karakteristiknya. Kemampuan kerja mungkin dipengaruhi oleh potensi udara untuk mengurangi afinitas antara agregat dan pasta semen (Nawy, 2010). Menurut SNI 03-2847-2002, kebutuhan air untuk campuran beton adalah sebagai berikut:

- a. Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih dan bebas dari zat-zat berbahaya seperti minyak, asam, basa, garam,

bahan organik, dan zat lain yang dapat merusak beton atau tulangan.

- b. Air campuran yang digunakan pada beton pratekan atau beton yang dilapisi logam aluminium tidak boleh mengandung ion klorida dalam kadar berbahaya, termasuk air bebas dalam agregat.

#### 4. Bahan Tambahan

Bahan yang bukan air, agregat, atau semen disebut bahan tambahan. Campuran ditambahkan ke beton sebelum atau selama proses pencampuran. Karakteristik beton dapat diubah dengan penambahan berbagai bahan tambahan, seperti mempercepat proses pengerjaan, mempercepat pengerasan dan meningkatkan kuat tekan beton.

Menurut Tjokrodinuljo (1996), bahan tambah dapat digolongkan menjadi tiga kelompok:

- a. Bahan tambahan kimia adalah bahan tambahan kimia yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Tujuan dari bahan tambahan ini adalah untuk memberikan ciri dan karakteristik yang berbeda pada beton baik saat masih segar maupun setelah mengeras. Atribut tersebut antara lain kemudahan dalam pengolahan, waktu pengeringan yang lambat atau cepat, dan sebagainya. Beton siap pakai sering kali mengandung pengurang air, yaitu sejenis bahan kimia tambahan yang ditambahkan ke dalam campuran. Intinya, penggunaan peredam air menghasilkan peningkatan kemampuan kerja, penurunan jumlah udara yang diperlukan untuk pencampuran FAS, pengurangan kehilangan kemosotot, pencegahan pendarahan dan segregasi, peningkatan kandungan udara, dan memperlambat proses penyembuhan.
- b. Pozzolan, juga dikenal sebagai pozzolan, adalah zat yang diproduksi secara alami atau buatan dan sebagian besar terdiri dari konstituen yang mencakup silikat reaktif dan aluminat. Meskipun pozzolan tidak memiliki kualitas semen sendiri,

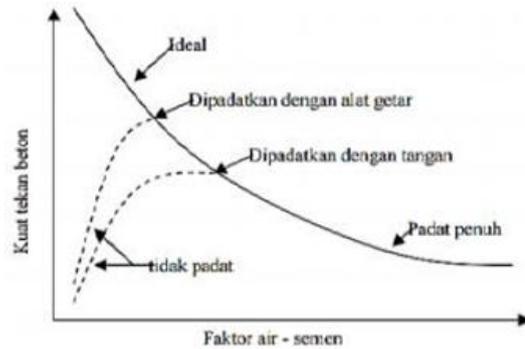
namun ketika dalam kondisi baik, pozzolan akan bereaksi dengan kapur bebas dan udara, sehingga terbentuk massa padat yang tidak larut dalam udara. Untuk tujuan meningkatkan kemampuan kerja, membuat beton lebih kedap udara (dengan menurunkan permeabilitas), dan meningkatkan ketahanan beton atau mortar terhadap serangan bahan kimia berbahaya, pozzolan dapat ditambahkan ke dalam campuran beton atau mortar (sampai tingkat tertentu, dapat menggantikannya). semen). Penggunaan pozzolan juga dapat meningkatkan kuat tekan beton. Hal ini dikarenakan pozzolan menyebabkan reaksi pengikatan kapur bebas ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dengan silikat atau aluminat sehingga menghasilkan pembentukan tobermorit ( $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). Asap silika, abu terbang, tras alami, dan abu sekam padi (juga dikenal sebagai Abu Sekam Padi) adalah contoh pozzolan yang telah banyak diteliti dan kini banyak dimanfaatkan.

- c. Serat adalah zat yang ditambahkan ke dalam campuran, dan dapat dibuat dari asbes, kaca, plastik, baja, atau serat tumbuhan (seperti rami atau ijuk). Dalam rangka meningkatkan keawetan beton, misalnya pada perkerasan jalan raya atau lapangan terbang, pelimpah, dan pada bagian-bagian tipis struktur beton guna mencegah terjadinya keretakan, penambahan serat-serat tersebut dimaksudkan untuk meningkatkan kuat tarik, meningkatkan ketahanan terhadap retak, meningkatkan daktilitas, dan meningkatkan ketahanan beton terhadap beban impak.

#### 5. Faktor Air Semen (FAS)

Dalam kebanyakan kasus, jumlah air yang harus ditambahkan ke dalam campuran beton ditentukan dengan menghitung rasio berat air terhadap berat semen Portland yang ada dalam campuran. Secara umum, semakin tinggi nilai air maka semakin besar pula jumlah air yang digunakan dalam campuran beton. Hal ini menandakan bahwa

campuran beton akan menjadi lebih gembur dan akibatnya mutu beton akan turun atau menurun. Sebaliknya nilai kuat tekan beton yang diproduksi akan meningkat sebanding dengan penurunan nilai fasanya. Gambar visual hubungan antara koefisien air semen dengan kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Visual hubungan antara koefisien air semen dengan kuat tekan beton

Sumber: Mindess, Young dan Darwin,2003)

#### 2.2.4 Sifat-Sifat Beton

##### 1. Kekuatan

Karena beton merupakan bahan bangunan yang halus, beton mempunyai kuat tekan yang tinggi tetapi kuat tarik yang rendah. Dibandingkan dengan kuat tekannya, kuat tarik beton hanya berkisar 9-15% dari kuat totalnya. Akibatnya, kuat tekan beton mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik material lainnya. Lihat Tabel 2.3 untuk rincian kuat tekan beton menurut komposisinya.

Tabel 2. 3 Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana	Sampai 10 Mpa
Beton normal	15 – 30 Mpa
Beton pra tegang	30 – 40 Mpa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 Mpa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 Mpa

Sumber: Tjokrodinuljo,2007

## 2. Berat Jenis

Berat jenis beton sangat penting untuk kekuatan, kestabilan dan kinerja struktur, berat jenis beton yang tinggi menunjukkan kekuatan tekan dan kemampuan struktural yang lebih baik. Dalam proses pencampuran, berat jenis beton dipengaruhi oleh komposisi bahan yang digunakan. Beton biasanya terdiri dari semen, pasir, kerikil dan air. Semen untuk memberikan kekuatan struktural, sementara pasir dan kerikil bertindak sebagai agregat untuk memberikan volume dan kepadatan. Dan air digunakan untuk mencampur dan mengikat semua bahan bersama-sama. Agregat ringan mempunyai struktur yang bersifat seluler sehingga berat jenisnya lebih rendah daripada agregat normal. Agregat halus ringan mempunyai berat jenis lebih besar dari pada berat jenis agregat kasar ringan.

Tabel 2.4 memberikan informasi mengenai berat jenis beton yang digunakan dalam konstruksi bangunan.

Tabel 2. 4 Berat Jenis Beton

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktural
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktural ringan
Beton normal	2,30 – 2,40	Struktural
Beton berat	> 3,00	Perisai sinar X

Sumber: Tjokrodimuljo,2007

## 2.3 Teori Bambu

### 2.3.1 Pengertian Bambu

Bambu termasuk dalam Gramineae atau rumput-rumputan, yang dikenal sebagai Hiant Grass atau rumput raksasa yang tumbuh berumpun dengan batang buluh secara bertahap. Pertumbuhan bambu dimulai dari rebung, kemudian menjadi batang muda, dan akhirnya menjadi dewasa pada usia 4-5 tahun. Batang bambu berbentuk silindris, memiliki buku-buku, dengan ruas berongga dan dinding batang yang keras, serta setiap buku memiliki mata tunas atau cabang. Morisco (1999) mencatat bahwa

bambu memiliki kekuatan tarik yang hampir sebanding dengan baja tulangan. Namun, meskipun memiliki berbagai keunggulan tersebut, bambu juga memiliki kelemahan, seperti tingginya nilai kembang susut dan rendahnya tingkat lekatan antara bambu dengan beton. Bambu juga memiliki beberapa kelemahan, Menurut Soemarno (2010), antara lain rentan terhadap pelapukan serta rawan diserang oleh hama seperti jamur, lumut, rayap, dan sejenisnya.

### 2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan Bambu

Bambu sebagai pengganti tulangan baja memiliki kelebihan diantaranya, bambu merupakan produk hasil alam yang mudah, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, ramah lingkungan, serta memiliki kuat tarik yang tinggi. Adapun kelemahan pada bambu yaitu rentan terhadap rayap, air api, serta jarak ruas dan diameter berbeda dari ujung sampai pangkalnya, dan kuat lekat antar beton dan bambu kurang baik. (Fauzi Feri 2014).

### 2.3.2 Sifat Sifat Bambu

#### 1. Sifat Kimia Bambu

Penelitian sifat-sifat kimia bambu sebagaimana yang dilakukan oleh Gusmailina dan Sumadi Wangsa (1988) meliputi penetapan kadar selulosa, lignin, pentosan, abu, silika, serta kelarutan dalam air dingin, air panas dan alkohol benzen. Berdasarkan temuan, tersebut Tabel 2.5 menjelaskan tentang kandungan pada sifat kimia bambu

Tabel 2. 5 Kandungan pada sifat kimia bambu

<b>sifat</b>	<b>Kisaran kandungan (%)</b>
Selulosa	42,4% - 53,6%
Lignin	19,8% - 26,6%
Pentonsan	1,24% - 3,77%
Silika	0,10% - 1,78%
Kelarutan (Air Dingin)	0,10% - 1,78%
Kelarutan (Air Panas)	4,5% - 9,9%
Kelarutan (Alkohol Benzena)	5,3% - 11,8%

Sumber: Gusmailina dan Sumadi Wangsa (1988)

## 2. Sifat Fisika Bambu

### a. Berat Jenis

Berat jenis bambu adalah perbandingan antara berat bambu dengan berat volume air yang sama dengan volume bambu.

Menurut Leise (1980), berat jenis batang bambu sekitar 0,5 – 0,9 gr/cm<sup>2</sup>.

### b. Kadar Air

Kadar air didefinisikan sebagai jumlah air yang terkandung dalam sampel bahan atau dinyatakan sebagai persentase berat air yang terkandung dalam sampel bahan relatif terhadap berat kering oven. Jumlah uap air yang terkandung di setiap potongan bambu bisa berbeda-beda. Ini karena pengaruh kondisi udara dan atmosfer. Kadar air bambu saat kondisi kering udara maksimum yaitu 20%. Menurut Liesse (1980), kandungan air pada batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Hal itu sangat bergantung pada umur, waktu penebangan, dan jenis bambu.

### c. Kembang susut

Pengembangan (Swelling) dan penyusutan (Shrinkage) diartikan sebagai perubahan dimensi bahan yang disebabkan adanya perubahan kadar air pada bahan. Bambu dikenal sebagai bahan yang memiliki angka penyusutan yang tinggi oleh karena itu diperlukan pemahaman dalam pengerjaan dan penggunaannya sebagai material konstruksi. Sebagaimana disampaikan Prawiroatmodjo (1990), bambu menunjukkan anisotropi karena dimensinya berubah secara berbeda dalam tiga arah struktur radial, tangensial, dan longitudinal

## 3. Sifat Mekanik Bambu

### a. Kuat Tarik

Berdasarkan pengujian yang dilakukan Morisco pada tahun 1999, memperoleh perbandingan kuat tarik bambu Ori dan petung dengan baja struktur bertegangan leleh 2400 kg/cm<sup>2</sup> mewakili baja beton yang banyak tersedia, 23 kekuatan tarik bambu tegak lurus terhadap serat mempunyai hubungan ketahanan bambu terhadap pembelahan

pada batang bambu. Kekuatan tarik bambu dapat menahan beban tarik berbeda-beda baik pada bagian batang dalam atau bagian luar, garis tengah batang bambu (batang yang langsing memiliki ketahanan terhadap gaya tarik lebih tinggi), pada bagian batang yang digunakan karena bagian atas atau ujung memiliki kekuatan terhadap gaya tarik yang 12% lebih rendah dibandingkan dengan bagian batang pangkal.

b. Kuat tekan

Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang bekerja searah serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian bambu secara bersama-sama (Pathurahman, 1998). Kekuatan tekan bambu semakin meningkat seiring dengan bertambah umur bambu. Menurut penelitian Morisco (1999), bagian pangkal, tengah, dan ujung batang bambu berpengaruh terhadap kuat tekan bahan. Berdasarkan penelitian Sidik Mustafa (2010) diketahui kuat tekan bambu petung seperti pada Tabel 2.6 berikut ini:

Tabel 2. 6 Kuat tekan bambu petung

Sifat Mekanika	Umur	Rata-rata (Mpa)
Kuat Tekan	Muda	37,52
	Dewasa	46,59
	Tua	43,13

Sumber: Sidik Mustafa (2010)

**2.3.3 Bambu Sebagai Tulangan**

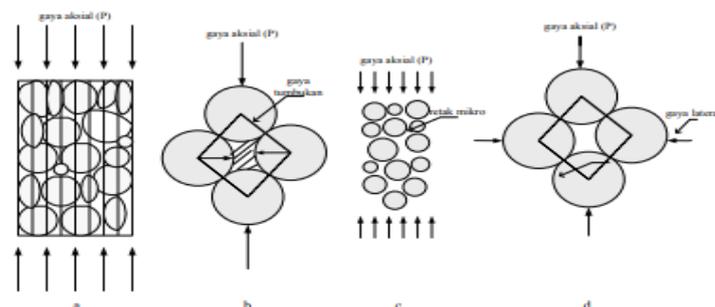
bambu sebagai tulangan dalam beton bertujuan untuk mendukung beban tekan, geser, dan momen lentur. Namun, kekuatan bambu sebagai tulangan jauh lebih rendah dibandingkan dengan baja. Menurut Ghavami (2005), kekurangan bambu sebagai tulangan beton terletak pada kuat tarik dan lekatan yang kurang baik dengan beton dibandingkan dengan baja. Selain itu, bambu cenderung mengembang saat proses pengerjaan beton dan menyusut ketika beton mengering, yang dapat mempengaruhi kekuatan beton secara signifikan.

## 2.4 Teori Pengekangan

### 2.4.1 Konsep Pengekangan

Pengekangan adalah salah satu cara untuk mencegah keruntuhan awal pada beton. Pengekangan pada beton bertulang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan beton dalam menahan beban. Peningkatan kekuatan beton ini dapat mengatasi keruntuhan pada beton akibat gaya tekan yang diterima. Bentuk tulangan pengekokang bisa berbentuk persegi dan spiral. Pengekangan dapat dilakukan berdasarkan SNI 03-2847- 2002 mengenai tata cara perhitungan struktur beton, dengan tujuan untuk mencegah retak dan kegagalan geser dini. Beton menjadi terkekang saat tegangan lateral beton menjadi tinggi karena terjadi pengembangan lateral atau retak dari dalam. Pengekangan memiliki beberapa metode yang sering dikenal dengan pengekokangan eksternal dan internal. Metode pengekokangan eksternal dilakukan dengan cara steel fiber, steel wire, steel plate dan GRFP (Glass Fiber Reinforced Polymer).

konsep terjadinya kekangan pada beton secara detail dapat dilihat pada gambar. Gaya aksial tekan  $P$  yang bekerja pada permukaan beton akan diteruskan hingga mengenai agregat beton (gambar a), sehingga mengakibatkan terjadinya tumbukan atau gesekan antar agregat (gambar b). Akibat tumbukan tersebut terjadi retak-retak mikro (micro cracks) pada beton (Gambar c). Retak mikro tersebut akan merambat dengan cepat kemudian akan terjadi retak makro hingga beton runtuh. Proses keruntuhan beton dapat diperlambat bila ada gaya lateral yang berfungsi sebagai pengekokangan yang dilustrasikan pada gambar d retak mikro gaya tumbukan gaya lateral gaya aksial ( $P$ ) gaya aksial ( $P$ ). Gambar konsep kekangan lateral pada beton dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Konsep Kekangan Lateral Pada Beton (CEB-FIP,1990)

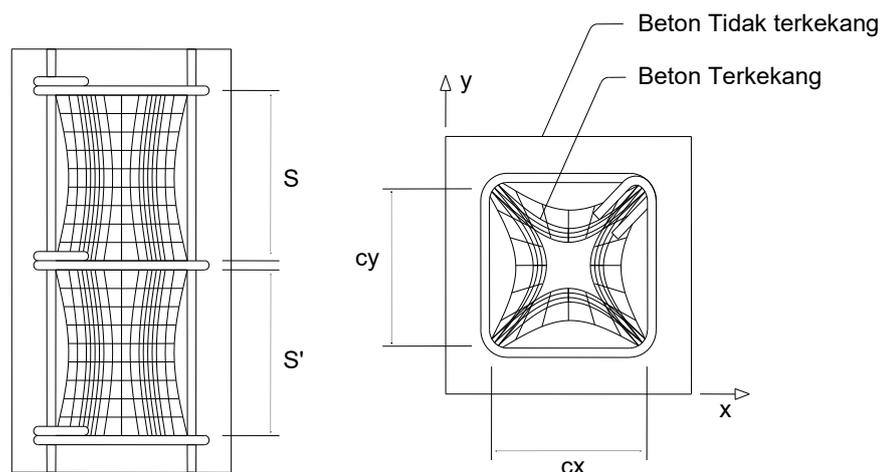
### 2.4.2 Metode Pengekangan

Berikut ini adalah pembahasan mengenai jenis-jenis pengekangan pada beton bertulang:

#### 1. Pengekangan Internal:

Pengekangan internal merujuk pada teknik pengekangan yang terjadi di dalam beton itu sendiri, dengan menambahkan elemen-elemen yang memperkuat struktur beton. Terdapat dua contoh pengekangan internal:

- a. Tulangan Sengkang: Tulangan sengkang dipasang secara melintang di dalam beton untuk menahan gaya geser dan meningkatkan kekuatan tekan. Mereka melingkupi tulangan utama dan beton, memberikan konfinemen tambahan yang membantu mempertahankan integritas dan bentuk beton saat menanggung beban berat.
- b. Serat (Fiber Reinforcement): Penambahan serat baja, kaca, atau polimer ke dalam campuran beton meningkatkan ketangguhan dan ketahanan terhadap retak. Serat-serat ini membantu mendistribusikan beban dengan merata dan mengurangi konsentrasi tegangan, sehingga meningkatkan ketahanan beton terhadap retak dan deformasi.



Gambar 2. 3 Konsep Kekangan Lateral Pada Beton (CEB-FIP,1990)

## 2. Pengekangan Eksternal:

Pengekangan eksternal melibatkan penambahan elemen atau teknik di luar beton yang sudah ada untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas struktur. Berikut adalah dua contoh pengekangan eksternal:

- a. Prategang (Prestressing): Penerapan gaya tekan pada beton melalui kabel atau batang baja yang ditarik sebelum beton mengeras. Setelah beton mengeras, tegangan dilepaskan, memberikan tekanan tambahan pada beton dan meningkatkan kekuatannya. Teknik ini memungkinkan beton untuk menahan beban lebih besar dan mengurangi kemungkinan retak.
- b. Penambahan Selimut Beton (Jacketting): Penggunaan selimut atau jaket beton pada struktur yang sudah ada untuk memperkuatnya. Metode ini sering digunakan dalam rehabilitasi struktur beton yang sudah melemah. Penambahan selimut beton meningkatkan kapasitas beban dan memperpanjang umur struktur yang diperkuat.

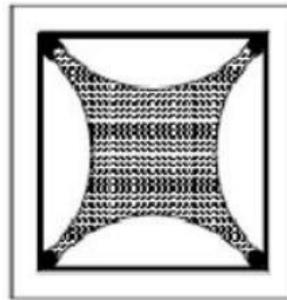
## 3. Pengekangan Pasif:

Pengekangan pasif melibatkan metode yang meningkatkan ketahanan beton tanpa penerapan gaya tambahan, tetapi dengan memodifikasi atau menambahkan elemen tertentu. Berikut adalah dua contoh pengekangan pasif:

- a. Konfinemen dengan Penutup Beton: Menambahkan penutup beton di sekitar elemen struktural untuk meningkatkan kapasitas beban tekan dan memperlambat penyebaran retak. Konfinemen ini membantu mempertahankan bentuk dan integritas beton di bawah beban yang berat.
- b. Penggunaan Material Komposit: Memasang lembaran serat karbon atau serat kaca pada permukaan beton untuk memberikan tambahan kekuatan dan ketahanan terhadap beban. Material komposit ini meningkatkan kekuatan lentur dan geser beton, serta melindungi struktur dari kerusakan lebih lanjut.

### 2.4.3 Mekanisme Pengekangan

Pada kolom dan balok, tulangan transversal, atau sengkang, mempengaruhi kekuatan penampangnya, yang secara bertahap berkurang ketika masalah tekuk (buckling) muncul. Eksentrisitas pada kolom dan balok dapat disebabkan oleh momen, kekangan pada ujung kolom dan balok yang dicetak secara monolit dengan komponen lain, pemasangan yang tidak sempurna, dan kualitas bahan yang tidak merata. Memperbesar diameter tulangan, perbandingan antara diameter sengkang terhadap panjang sengkang, karena diameter yang lebih besar menghasilkan pengekangan yang lebih efektif. Karena hampir seluruh area inti beton di dalam sengkang terkekang dengan baik pada pengekangan spiral, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 sengkang spiral lebih efektif dalam menahan inti beton yang lebih daikdaripada sengkang persegi.



Gambar 2. 4 Efektifitas Pengekangan Sengkang Persegi;

### 2.4.4 Teori Pengekangan

Pengekangan pada beton bisa dilakukan dengan menggunakan tulangan transversal berbentuk persegi atau spiral. Dengan pengekangan ini, kuat tekan dan kekakuan beton dapat ditingkatkan. Fungsinya adalah untuk mencegah inti beton agar tidak terlalu mengembang ke samping saat menerima tekanan lateral dan memperlambat kerusakan pada beton. Tulangan transversal spiral memberikan pengekangan yang lebih baik pada inti beton saat menerima tekanan, sementara tulangan transversal persegi mampu memberikan pengekangan yang efektif di keempat sisi inti beton untuk menghambat ekspansi. Meskipun tidak seefektif tulangan transversal

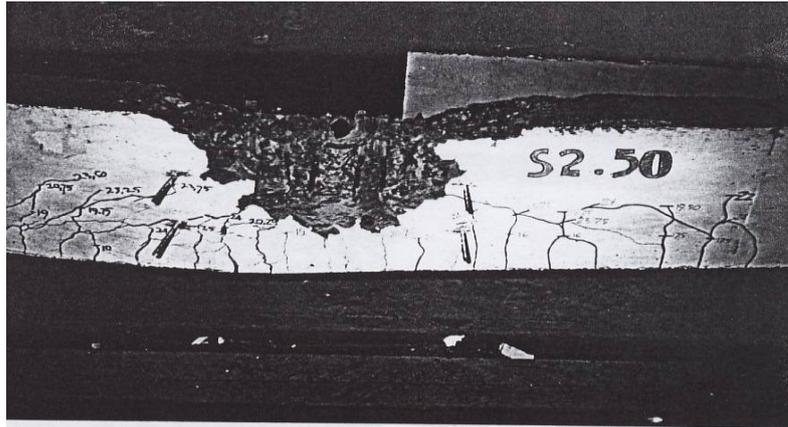
spiral dalam memberikan pengekangan pada inti beton, tulangan transversal persegi masih dapat secara signifikan meningkatkan kuat tekan dan kekakuan beton, (Sabariman, 2018). Studi menunjukkan bahwa kekangan meningkatkan daktilitas elemen, kuat tekan dan lentur, dan mencegah retak dan kegagalan geser dini (Abdul Kadir et al., 2016)

Tegangan tekan puncak beton terkekang didefinisikan sebagai tegangan tekan beton pada saat mencapai respon puncak. Pada saat itu, terjadi pengembangan lateral inti beton tidak terkontrol yang ditahan perambatannya oleh tegangan lateral pengekang eksternal.

#### **2.4.5 Mekanisme Keruntuhan Beton Terkekang**

Setelah beban puncak tercapai beton akan mengalami penurunan kekuatan yang merupakan awal terjadinya mekanisme keruntuhan. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Agus Santosa (2000) model keruntuhan setelah terjadinya beban puncak yang ditunjuk pada gambar 2.4. diperoleh oleh enam model keruntuhan beton terkekang yaitu:

1. Keruntuhan diawali dengan retaknya balok pada daerah tarik (serat bawah) bagian tengah bentang, dilanjutkan dengan mengelupasnya penutup beton daerah tekan (serat atas).
2. Selanjutnya terjadi pengelupasan penutup beton pada samping kanan dan kiri daerah tekan balok.
3. Beton di daerah tekan terus mengalami kehancuran, bersamaan dengan itu tulangan tekan juga sudah mulai menekuk.
4. Kehancuran penutup beton daerah tekan (serat atas) mendekati setengah dari tinggi penampang balok, sedangkan beton yang terkekang mengalami kehancuran sekitar 50mm dari serat atas. Tulangan tekan menekuk cukup besar. Pada gambar 2.4. untuk benda uji yang memakai sengkang tertutup, tulangan samping juga ikut tertekuk.
5. Sengkang di daerah tengah bentang kelihatan masih utuh (terdesak kearah memanjang balok).
6. Retak pada daerah dekat tumpuan kecil sekali.



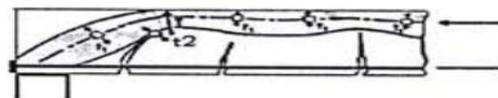
Gambar 2. 5 Mekanisme keruntuhan balok terkekang

#### 2.4.5 Hoop Persegi Sebagai Tulangan Lateral Pengekang

Hoop persegi (Square Section) merupakan salah satu bentuk tulangan pengekang selain hoop melingkar dan spiral. Konsep menggunakan hoop persegi sebagai pengekang antara lain oleh Scott dkk (1982); Mugorama (1983); Fatifis (1985); Mander dan Piestley (1988); Cusson and Paultre (1984); Koji Sakai and Shamim A. Sheikh (1989) dan Murat Saatcioglu dan Razvi (1992).

#### 2.4.6 Pengekangan Pada Jalur Tekan

Pengekangan pada jalur tekan dilakukan untuk meningkatkan daktilitas dan kekuatan struktural struktur beton bertulang, pengekang pada jalur tekan melibatkan penempatan tulangan lateral (stirrup atau pengekang) di sepanjang jalur tekan balok atau kolom. Penyebab keruntuhan balok berkaitan dengan peningkatan tarik dalam daerah jalur tekan yang disalurkan ke tumpuan. Pada balok beton bertulang pada keadaan batas ultimitnya, gaya tekan pada penampang melintang ditengah disalurkan ke tumpuan dengan mengikuti sebuah jalur yang merupakan garis bilinear seperti gambar 2.6 dibawah ini.

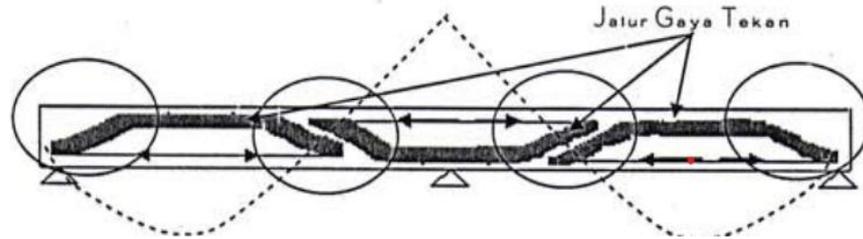


Gambar 2. 6 Detail gaya jalur tekan

*Sumber: Sumiati 2009*

Pada balok yang menahan momen lentur positif dan negatif, misalnya pada balok menerus atau balok dengan kantilever atau pada balok

yang sederhana dengan menahan beban gravitasi dan beban dinamis, maka jalur gaya tekannya dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2. 7 Jalur gaya tekan pada balok menerus

Sumber: Sumiati 2009

## 2.5 Sifat Mekanik Beton

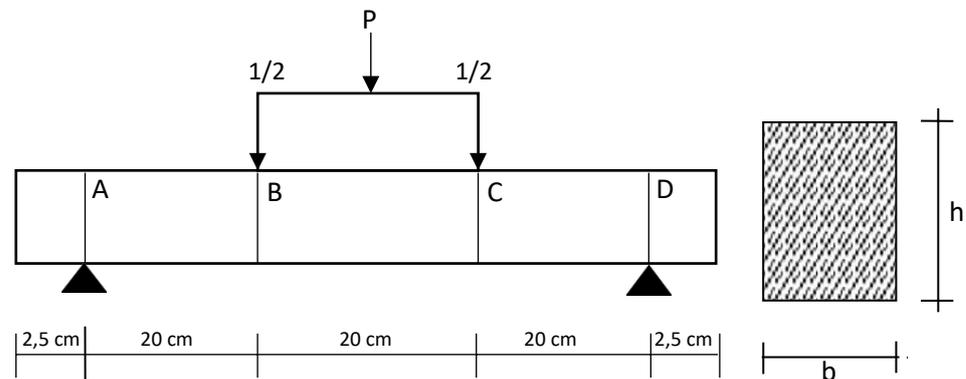
### 2.5.1 Momen lentur beton

Menurut SNI 03-4431-1997, momen lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang ditempatkan di dua titik dukungan untuk menahan gaya tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, hingga balok mengalami patah, dan diukur dalam Mega Pascal (MPa) per satuan gaya. Dipohusodo (1993) menjelaskan bahwa pada gelagar balok bentang sederhana, ketika menahan beban yang menghasilkan momen lentur, akan terjadi deformasi lentur di dalam balok. Kekuatan lentur beton, yang diekspresikan dalam Modulus of Rupture, digunakan untuk mendeteksi kemungkinan terjadinya retak dan patah. Besarnya kekuatan lentur dinyatakan dalam modulus of rupture yang diukur dengan tes third-point loading. Ketika balok diberi beban, terjadi deformasi yang menghasilkan momen lentur sebagai respons dari material balok terhadap beban luar. Pengujian momen lentur pada balok beton dapat dilihat dalam gambar 2.8 berikut:



Gambar 2. 8 Pengujian Momen Lentur Pada Balok

Dalam SNI 4431-2011, beban diterapkan pada 1/3 panjang bentang untuk memperoleh momen lentur murni. Pada pengujian di mana bidang patah terletak di daerah pusat (1/3 jarak antara titik perletakan pada bagian tengah), kemungkinan terjadinya patah pada 1/3 panjang bentang bagian tengah dapat dilihat dalam gambar 2.9 berikut:



Gambar 2. 9 Letak Patah 1/3 Bentang Bagian Tengah Balok

Untuk menentukan modulus of rupture atau momen lentur ( $f_r$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$f_r = \frac{PL}{bh^2}$$

Dimana :

- $f_r$  = Momen lentur
- P = Beban tekan pada balok
- L = Bentang balok
- b = Lebar penampang balok
- h = Tinggi penampang balok

### 2.5.2 Momen Rencana

Dalam pengujian momen lentur balok beton bertulang harus diketahui, momen nominal dengan asumsi bahwa semua tulangan pada penampang yang ditinjau mencapai kuat leleh yang diisyaratkan (SNI-2847-2019). Berdasarkan gambar 2.10, momen nominal ( $M_n$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} M_n &= d - \frac{a}{2} \\ &= A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \end{aligned}$$

Dimana :

$M_n$ : Momen Nominal

$A_s$  : Luas tulangan

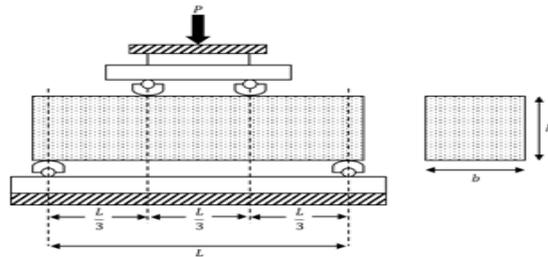
$f_y$  : Tegangan leleh baja

$d$  : jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

$a$  : tinggi tegangan balok

### 2.5.3 Momen Perlu

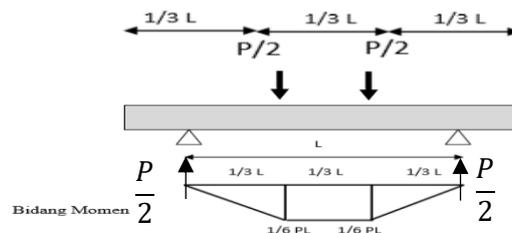
Momen pada balok yang disebabkan oleh beban luar. Pada pengujian ini mekanisme pemberian beban dilakukan seperti pada gambar 2.10 dan 2.11



Gambar 2. 10 Skema Pengujian Momen Lentur dengan Third Point Loading Method

Sumber : ASTM C78/C78M

Pola perletakan pembebanan benda uji masing-masing diletakkan pada 1/3 dari jarak tumpuan, seperti gambar 2.12



Gambar 2. 11 Bidang Momen pada Third Loading Bending Test

Momen lentur menggunakan system pembebanan *third loading bending test* (ASTM C78/C78M), pembebanan dilakukan pada sepertiga dari jarak tumpuan seperti gambar 2.10 dan 2.11.

Rumus perhitungan pembebanan dengan persamaan berikut :

$$M = \left(\frac{1}{2} P\right) x \left(\frac{1}{3} L\right)$$

$$M = \frac{1}{6} PL$$

Keterangan :

M : momen perlu

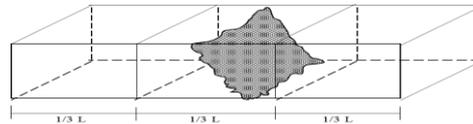
P : beban

L : bentang balok

## 2.6 Mekanisme Keruntuhan Benda Uji

Balok yang diberi beban melebihi tegangan lentur yang diizinkan maka akan mengalami deformasi hingga terjadi keruntuhan atau patah pada sepanjang balok. Beberapa pola keruntuhan atau patah yang terjadi pada pengujian momen lentur balok, yaitu:

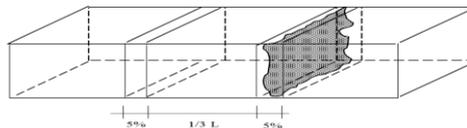
1. Patah / retak yang terjadi didaerah tumpuan ( $1/3$  jarak perletakan) momen lentur beton dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2. 12 Patah di Daerah Tengah ( $1/3$  jarak perletakan)

Sumber: SNI 4431:2011

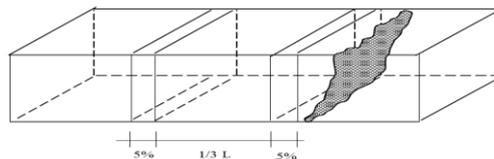
2. Patah/retak terjadi di luar daerah tengah ( $1/3$  jarak perletakan) dan jarak titik patah  $\leq 5\%$  dari bentang dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2. 13 Patah di Luar Daerah Tengah ( $1/3$  jarak perletakan)  $\leq 5\%$  dari Bentang

Sumber: SNI 4431:2011

3. Patah terjadi di luar daerah tengah ( $1/3$  jarak perletakan) dan jarak titik patah  $> 5\%$  dari bentang, dilihat pada gambar 2.14



Gambar 2. 14 Patah di Luar Daerah Tengah ( $1/3$  jarak perletakan)  $> 5\%$  dari Bentang

Sumber: SNI 4431:2011