

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan tentang perbaikan kekuatan beton antara lain sebagai berikut ini.

1. Perkuatan Struktur Beton Gedung dengan Metode *Grouting* dan *Glass Fiber* (Yurmansyah dan Mukhlis, 2009).
2. Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (Parmo dkk., 2013).
3. Kajian Kapasitas Perkuatan Kolom Bertulang dengan Tambahan Abu terbang (*fly ash*) Terhadap Variasi Beban Runtuh dengan Metode *Concrete Jacketing* (Pasila dkk., 2016).
4. Perbaikan Balok Beton dengan Metode Jacketing dengan Bahan Forsemen Akibat Beban siklik pada Beban Ultimit (Soebandono dkk., 2011).
5. Analisa Retak Lentur Pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi yang Diperbaiki dengan Injeksi *Epoxy* (Puspita dkk., 2018).
6. Perbaiki Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Concrete Jacketing* dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi (Soenaryo dkk., 2009).
7. Kajian Perilaku Lentur Perbaikan Beton Bertulang dengan Metode *Eksternal Prestering* (Khrisna dkk., 2015).
8. Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Metode *Concrete Jacketing* (Kaontole dkk., 2015)
9. Perbaikan Balok Beton Bertulang Yang Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku (Helmi, 2009).
10. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Ikatan dari Perkuatan *Jacketing* Kolom (Elbakry dan Tarabia, 2016).

Berdasarkan tinjauan dari referensi diatas maka penelitian yang berjudul Perbaikan Beton dengan Menggunakan Metode *Grouting* Pada Balok dan *Jacketing* Pada Sampel Kubus dengan Bahan Tambah Sodium silikat dan Semen belum pernah dilakukan sebelumnya dan terjamin keasliannya..

2.1.1. Penelitian Terdahulu Tentang Beton

Salain (2009) pernah melakukan penelitian tentang “Pengaruh Jenis Semen dan Jenis Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton”. Penelitian ini menggunakan bahan campuran beton normal yang terdiri dari air, semen, agregat halus dan agregat kasar. Pada penelitian ini, digunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm. Beton dirancang dengan menggunakan perbandingan yang konstan antar semen, agregat halus dan agregat kasar sebesar 1,0 : 1,4 : 2,1 dengan nilai faktor air semen ditetapkan sebesar 0,42. Hasil uji tekan pada berbagai benda uji dengan umur masing-masing variasi, jenis semen dan jenis agregat kasar yang digunakan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur dengan Variasi Jenis Semen dan Agregat Kasar (Salain, 2009)

Jenis Agregat Kasar	Umur (hari)	Jenis semen		
		PCI	PPC	PCC
KK	3	29,96	26,32	31,54
	7	35,96	35,96	39,42
	28	45,83	45,83	49,00
	90	49,78	52,50	54,67
BP	3	32,67	32,00	37,78
	7	44,44	42,28	49,61
	28	54,22	52,53	57,02
	90	54,36	56,67	57,47

2.1.2. Penelitian tentang Agregat Kasar

Adi (2013) pernah melakukan penelitian tentang “Kajian Jenis Agregat dan Proporsi Campuran Terhadap Kuat Tekan dan Daya Tembus Beton Porus”. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari split Clereng dan split Merapi. Hasil pemeriksaan agregat kasar meliputi berat jenis, kadar air, penyerapan air, abrasi serta modulus halus butir dan disajikan dalam Tabel 2.2 untuk split Slereng dan Tabel 2.3 untuk split Merapi.

Tabel 2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Split Clereng (Adi, 2013)

No	Nama Pemeriksaan	Hasil
1	Nama dan Asal Bahan	Split Clereng Kulonprogo
2	Kadar Air (%)	0,68
3	Berat Jenis Kering permukaan (SSD)	2,70
4	Penyerapan Air (%)	1,19
5	Berat isi (gr/cm ³)	1,45
6	Abrasi (%)	17,88
7	MHB	6,62

Tabel 2.3 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Split Merapi (Adi, 2013)

No	Nama Pemerikaan	Hasil
1	Nama dan Asal Bahan	Split Merapi (Boyong)
2	Kadar Air (%)	3,27
3	Berat jenis kering Muka (SSD)	2,49
4	Penyerapan Air (%)	3,70
5	Berat isi (gr/cm ³)	1,22
6	Abrasi (%)	61,12
7	MHB	5,81

2.1.3. Penelitian tentang Agregat Halus

Salain (2009) pernah melakukan penelitian tentang “Pengaruh jenis Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton”. Dalam penelitian ini agregat halus yang digunakan adalah pasir alami. Hasil pengujian agregat halus dari sifat fisik yaitu berat satuan sebesar 1570 kg/m³, berat jenis SSD sebesar 2,59, penyerapan air sebesar 1,42%, kadar lumpur sebesar 3,70%, kadar air sebesar 6,95%, dan gradasi butiran termasuk daerah 2.

Tampenawas dkk. (2013) pernah melakukan penelitian tentang “Optimalisasi Konsentrasi Taling Sebagai Subtitusi Parsial Semen Terhadap Kuat tekan Beton Beragregat Halus Pecahan Kaca dan Pasir”. Agregat yang digunakan bersal dari Girian dan hasil dari pemeriksaan agregat adalah ukuran maksimum sebesar 4,75 mm, berat semu sebesar 2,64, berat jenis kering muka sebesar 2,31, berat jenis sebesar 2,10, penyerapan air sebesar 9,75%, kadar air sebesar 12,72%, berat volume sebesar 1327 kg/m³, kadar lumpur sebesar 0,59%, dan gradasi butiran termasuk daerah 2.

Tabel 2.4 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Sifat fisik agregat	Penguji	
	Salani (2009)	Tampenawas (2013)
Gradasi	Daerah 2	Daerah 2
Berat Satuan (kg/m ³)	1570	1327
Berat Jenis SSD	2,59	2,31
Berat Jenis	-	2,10
Penyerapan Air (%)	1,42	9,75
Kadar Air (%)	6,95	12,72
Kadar Lumpur (%)	3,70	0,59

2.1.4. Penelitian Terdahulu Tentang Perbaikan Beton

Yurmansyah dan Mukhlis (2009) pernah melakukan penelitian tentang “Perkuatan Struktur Beton Gedung dengan Metode *Grouting* dan *Glass Fiber*”. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan perkuatan struktur dengan memasukan bahan tambahan adiktif ke dalam struktur beton. Metode yang dilakukan yaitu investigasi lapangan dan pengujian / *diagnostic-testing* kemudian menentukan metode perkuatan yaitu *grouting* dengan menyuntikan bahan tambah perekat dalam penelitian ini menggunakan *epoxy* murni pada struktur yang retak, dan metode penguatan (*reinforcing*) struktur beton dengan menambahkan baja tulangan menggunakan bahan serat gelas/ *glass fiber*. Akibat dari adanya kegagalan dalam pekerjaan konstruksi dan tidak sesuai yang direncanakan, struktur mengalami pembeban yang berlebih dari rencana awal. Selain itu ditambah akibat adanya pengaruh beban gempa, peralatan yang digunakan untuk perbaikan konstruksi ini sangat sederhana sehingga orang yang mengerjakan harus paham dengan metode pelaksanaan dan perilaku dari material yang digunakan. Proses perbaikan dengan menginjeksi bahan *epoxy* murni metode *Grouting* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



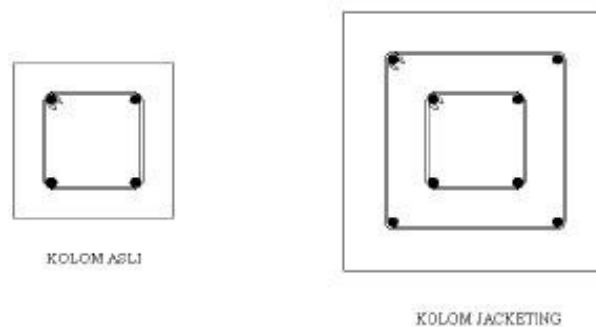
Gambar 2.1 Proses perbaikan beton metode *Grouting* (Yurmansyah dan Mukhlis, 2009)

Parmo dkk. (2013) pernah melakukan penelitian tentang “Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer*” bertujuan mengetahui kenaikan kekuatan dan daktilitas kolom beton bertulang setelah direkonstruksi dengan *glass fiber reinforced polymer* (GFRP) yang mendapatkan beban gempa. Metode penelitian yang dilakukan yaitu experimental dengan benda uji berbentuk kolom berukuran 350 x 350 x 1100 mm diberi tulangan longitudinal baja 8D19 mm dengan sengkang $\emptyset 10 - 200$ mm dengan $f'_c = 20,34$ MPa dan $f_y = 549,94$ MPa dan dimodelkan dengan tumpuan jepit, Kemudian dilakukan dengan memberikan beban aksial konstan sebesar 748 KN dan beban lateral siklik dengan metode *displacement control* sebagai simulasi beban gempa. Dari penelitian ini memperoleh peningkatan kapasitas lateral pada kolom sebesar 43,96% perbaikan dengan GFRP yang bersifat daktil dengan meningkatnya daktilitas perpindahan sebesar 129,14% dan daktilitas kurvatur sebesar 118,27%. Perbaikan dengan menggunakan GFRP dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sebelum perbaikan dan setelah perbaikan (Parmo dkk., 2013)

Pasila dkk. (2016) pernah melakukan penelitian tentang “Kajian Kapasitas Perkuatan Kolom Beton Bertulang dengan Tambahan Abu Terbang (*fly ash*) Terhadap Variasi Beban Runtuh dengan Metode *Concrete Jacketing*” bertujuan untuk mengetahui berapa besar kapasitas beton setelah mengalami keruntuhan dengan variasi 100%, 80%,70%,60%,50%. Metode yang digunakan yaitu ekperimental dengan benda uji berbentuk kolom dengan ukuran 100 x 100 x 500 mm menggunakan tulangan longitudinal $\varnothing 8$ mm dan sengkang $\varnothing 6$ mm dengan $f'c$ 30 MPa, kemudian penampang diperbesar menjadi 150 x 150 x 500 mm. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa presentase keruntuhan sangat berpengaruh terhadap kapasitas kolom dalam menerima beban, dari variasi keruntuhan yang dilakukan yang efektif untuk dilakukan perbaikan dengan metode *concrete jacketing* adalah minimal 70% keruntuhan pada struktur karena masih memberikan penambahan kapasitas yang besar. Pebaikan *concrete jacketing* dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan Tabel 2.1.



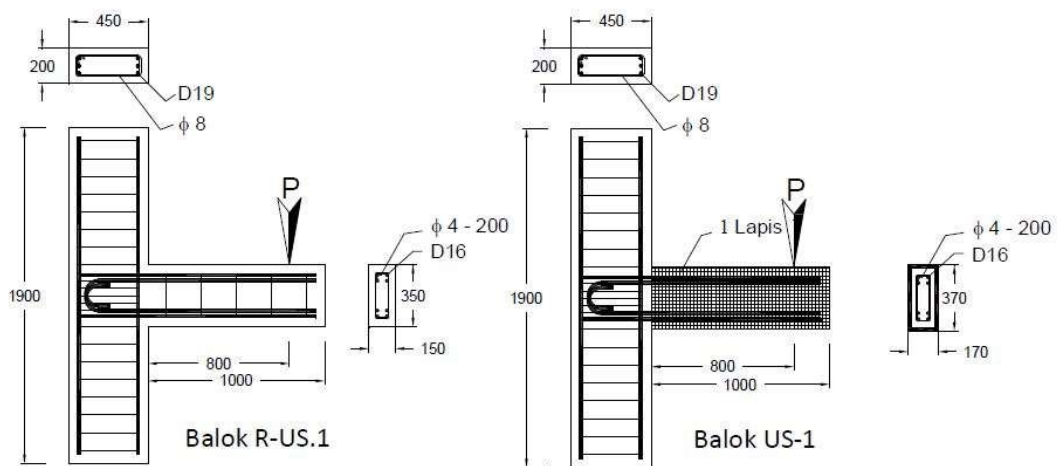
Gambar 2.3 Penampang melintang metode *concrete jacketing* (Pasila dkk., 2016)

Tabel 2.5 Variasi Pembebanan Runtuh (Pasila dkk., 2016)

Benda uji	Kolom 100 x 100 x 500 (mm)				
Tebal Jacket	2,5 cm	2,5 cm	2,5 cm	2,5 cm	2,5 cm
% pembebanan runtuh	100 %	80 %	70 %	60 %	50 %
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3

Soebandono dkk. (2011) pernah melakukan penelitian tentang “Perbaikan Balok Beton dengan Metode *Jacketing* dengan Bahan Foresemen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit” bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dengan menambahkan tulangan atau bahan tambahn lainnya seperti *wire mesh* atau besi tulangan yang di letakan pada area kerusakan. Metode yang dilakukan dalam

penelitian adalah ekperimental dengan membuat benda uji berbentuk join balok-kolom kemudian diuji dengan alat *universal testing machine* (UTM) dan *compression testing machine* (CTM), kemudian dilakukan perbaikan dengan *injeksi epoxy* dan penyelubungan kawat jala las setempat. Dari hasil pengujian diketahui bahwa metode perbaikan tersebut dapat meningkatkan kapasitas beban maksimum. Perbaikan *jacketing* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Penampang melintang metode *jacketing* (Soebandono dkk., 2011)

Puspita dkk. (2018) pernah melakukan penelitian tentang “Analisis Retak Lentur Pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi yang Diperbaiki dengan Injeksi *Epoxy*” penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku lentur pada balok beton bertulang dengan mutu tinggi yang diperbaiki dengan injeksi *epoxy*. Metode penelitian yang digunakan yaitu ekperimental menggunakan benda uji beton mutu tinggi dengan ukuran 15 x 30 x 220 cm. Kemudian diuji sesuai dengan umur perbaikan beton yaitu 7, 14, dan 28 hari. Hasil dari penelitian yaitu terjadi peningkatan pada setiap benda uji, dibuktikan dengan pola retak yang terjadi setelah perbaikan bahwa tidak terjadi retak kembali pada bagian yang diinjeksi dengan *epoxy* tetapi muncul retak baru disekitar retakan awal. Perbaikan injeksi *epoxy* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



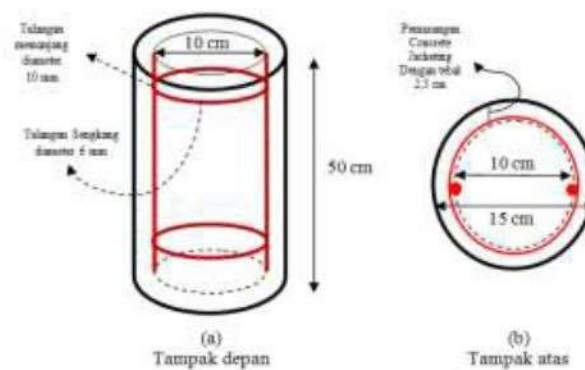
Gambar 2.5 Pola retak pada balok sebelum dan sesudah injeksi *epoxy* (Puspita dkk., 2018)

Soenaryo dkk. (2009) melakukan penelitian Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan *Concrete Jacketing* dengan Prosentase Beban Runtuh yang Bervariasi, bertujuan agar mengetahui peningkatan kapasitas maksimum kolom beton bertulang setelah diadakannya perbaikan dengan *concrete jacketing*. Benda uji dengan dimensi eksisting 10 x 10 x 60 cm diperbesar penampangnya menjadi 16 x 16 x 60 cm, Variasi beban yang digunakan adalah 65%, 75% dan 85% dan hasil yang didapatkan bahwa variasi beban runtuh 75% yang ideal untuk dilakukan perbaikan dengan *concrete jacketing* karena menunjukkan peningkatan yang paling besar.

Khrisna dkk. (2015) pernah melakukan penelitian tentang “Kajian Perilaku Lentur Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode *Eksternal Prestressing*”. Penelitian dilakukan dengan membuat sampel balok yang akan diuji dengan *eksternal prestressing* yang dilakukan dengan cara kabel *prestressing* ditanam pada balok yang rusak, dengan memberikan tegangan pada balok sampai suatu tegangan tarik tertentu kemudian mengangkernya sehingga elemen yang rusak mendapat gaya tekan. Dari penelitian ini balok uji nomer 1 telah diuji, kemudian diperbaiki dan diuji kembali dengan memberikan gaya prategang sebesar 4 ton. Dari hasil pengujina kedua balok tersebut tidak mampu menahan momen lentur aktual sebesar 16,706,250 Nmm, secara teoritis kapasitas penampang hanya mampu menahan momen sebesar 16,670,000 Nmm. Sehingga balok mengalami pola runtuh yang

berbeda-beda dari pengujian kedua dan balok tersebut mengalami runtuh geser pada pengujian pertama dan runtuh lentur pada pengujian kedua.

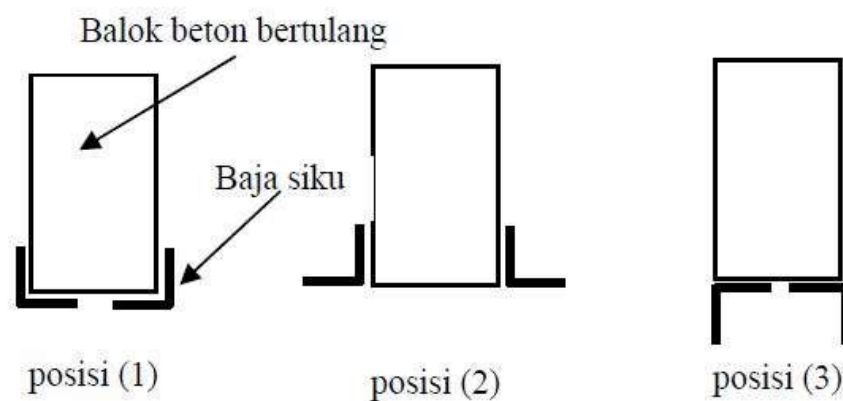
Kaontole dkk. (2015) pernah melakukan penelitian tentang “Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Metode *Concrete Jacketing*”. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan seberapa besar kapasitas kolom setelah diperkuat. Pada penelitian ini perawatan dilakukan selama 28 hari dengan menggunakan 2 benda uji berupa kolom bulat dengan jumlah benda uji sebanyak 4 buah dengan tulangan longitudinal yang digunakan berdiameter 10 mm dan diameter tulangan sengkang 6 mm. Kolom diperbesar dari ukuran 10/35 cm menjadi 15/35 cm dan kolom berukuran 10/50 cm diperbesar menjadi 15/50 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *Concrete Jacketing* berpengaruh terhadap kapasitas kolom beton bertulang dalam menerima beban. Benda uji kolom dengan dimensi sebelum dan setelah menggunakan *concrete jacketing* mengalami peningkatan cukup signifikan. Kapasitas kolom maksimum didapat pada kolom bulat dengan ukuran 10/50 cm, dimana hasil pengujian sesudah dan sebelum menggunakan *concrete jacketing* naik sebesar 64,25 KN. Perbaikan kolom bulat dengan metode *concrete jacketing* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pemasangan *concrete jacketing* pada kolom bulat (Kaontole dkk., 2015)

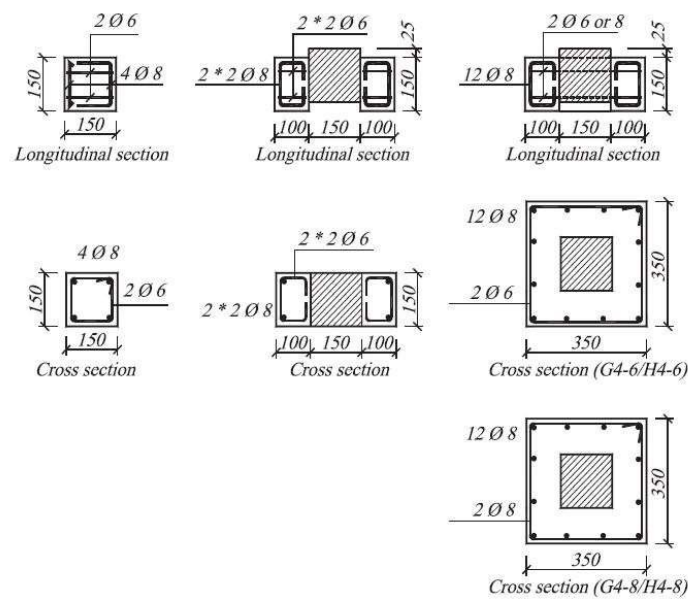
Helmi (2009) pernah melakukan penelitian tentang perbaikan balok beton bertulang yang telah mengalami beban puncak dengan baja siku. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku balok beton bertulang yang telah

mendapatkan perbaikan. Hasil yang didapat pada penelitian ini yaitu setelah mengalami pembebanan kekuatan dasar balok tidak mengalami perubahan yang signifikan, tetapi kekuatan balok menurun dari kekuatan awal sebesar 19 %. Balok yang diperbaiki dengan baja siku mengalami peningkatan kekuatan. Retak-retak merupakan penyebab kerusakan balok yang terjadi 1/3 tengah bentang(momen lentur). Terjadi peningkatan pada balok bertulang yang telah diperbaiki yaitu sebesar 2% sampai 15%. Beban lendutan juga mendapatkan hasil yang lebih kecil. Perbaikan dengan baja siku dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Posisi pemasangan baja siku pada balok (Helmi, 2009)

Elbakry dan Tarabia (2015) pernah melakukan penelitian tentang “Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Ikatan dari perkuatan *Jacketing* kolom”. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efek substrat perlakuan permukaan pada ikatan antar beton substrat dan beton *overlay*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan teoritis. Metode perbaikan yang digunakan adalah penambahan jaket beton pada benda uji dengan tidak atau menggunakan tulangan tambahan. Bahan pengikat yang digunakan adalah resin. Hasil yang didapat cukup signifikan terdapat penambahan kekuatan antar perbaikan yang menggunakan *dowel* dan behel pada jaket beton. Detail dan dimensi perbaikan dengan metode *jacketing* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Detail dan dimensi perbaikan (Elbakry dan Tarabia, 2015)

2.2. Dasar Teori

Beton adalah bahan komposit yang terdiri dari berbagai macam campuran bahan utama campuran terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air dan semen dengan atau tambahan bahan lain dengan perbandingan tertentu. Kualitas beton sangat bergantung dari kualitas masing-masing bahan penyusunya (Tjokrodinuljo, 2007).

Beton merupakan material yang di bentuk komposit dari bahan batuan yang direkatkan oleh bahan pengikat. Beton terbentuk dari agregat kasar dan halus yang ditambah dengan pasta semen. Semen mengikat pasir dan bahan agregat lainnya (Tampenawas dkk., 2013)

Klasifikasi beton umumnya berdasarkan kuat tekan dan berat jenis, berdasarkan kuat tekannya beton dikategorikan menjadi beton mutu tinggi, beton mutu sedang dan beton mutu rendah. Beton mutu tinggi memiliki kuat tekan di atas 40 MPa, beton mutu sedang memiliki kuat tekan antara 20-40 MPa, dan beton mutu rendah memiliki kuat tekan dibawah 20 MPa. berdasarkan berat jenisnya beton terdiri dari beton berat, beton normal, dan beton ringan. beton berat memiliki berat jenis diatas 3200 kg/m³, beton normal memiliki berta jenis 2400 kg/m³ dan beton ringan memiliki berat jenis 1800 kg/m³ (Susilorini dan Sambowo, 2011).

Menurut Mulyono (2004), beton akan mengeras seperti karang dan memiliki kuat tekan yang tinggi. Beton dalam keadaan segar dapat dibentuk dengan bermacam-macam bentuk sesuai dengan kebutuhan. Beton juga harus tahan terhadap api dan korosi. Beton memiliki kelebihan serta kekurangan dalam dunia pembangunan. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah sebagai berikut ini.

1. Kelebihan dari beton yaitu sebagai berikut ini.
 - a. Struktur yang kokoh
 - b. Biaya pemeliharaan relatif kecil
 - c. Tahan terhadap berbagai kondisi cuaca
 - d. Memiliki umur yang lebih lama
2. Kekurangan dari beton
 - a. Daya kuat tarik yang rendah
 - b. Memiliki beban yang berat
 - c. Kualitas bergantung pada pengerjaan lapangan
 - d. Sulit untuk didaur ulang

2.2.1. Komposisi beton

Beton adalah bahan komposit yang campurannya terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Adapun bahan-bahan penyusun beton sebagai berikut.

1) Semen

Semen memiliki dua jenis yaitu semen hidraulik dan non-diraulik. Semen hidraulik adalah semen yang dapat mengikat dan mengeras di dalam air, sedangkan semen non-hidraulik adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air namun proses pengerasan perlu udara disebut semen non-hidraulik. Campuran semen *Portland* dengan *Pozolan* antara 15%-40% berat total campuran dengan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ di dalam *Pozolan* minimum 70% disebut semen *Portland-Pozolan* (BSN, 2000).

Berdasarkan BSN (2004a), semen hidraulik (OPC) yang dibuat dengan cara menggiling terak semen *Portland* khususnya yang terdiri dari kalsium silikat yang memiliki sifat hidraulik dan dapat digiling bersama dengan bahan tambahan berupa kristal senyawa kalsium sulfat dengan atau tanpa tambahan bahan lain

disebut semen *Portland*. Semen *Portland* memiliki 5 macam kategori adalah sebagai berikut ini.

- a. Semen *Portland* Tipe I, semen dengan kegunaan umum dan tanpa ada persyaratan khusus.
- b. Semen *Portland* Tipe II, semen dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap kadar sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Semen *Portland* Tipe III, semen dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah proses pengikatan terjadi.
- d. Semen *Portland* Tipe IV, semen dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
- e. Semen *Portland* Tipe V, semen dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap kadar sulfat.

Berdasarkan BSN (2004c), *Portland Cement Composit* (PCC) adalah bahan pengikat dari hasil penggilingan hidrolis bersama terak semen *Portland* dan gips dengan bahan anorganik, dari hasil campuran antara bubuk semen *Portland* dengan bubuk bahan anorganik. Bahan anorganik tersebut adalah terak tanur, senyawa silikat, *Pozolan*, batu kapur dengan jumlah kadar total bahan anorganik adalah 6%-35% dari berat semen *Portland* komposit. Semen jenis ini digunakan dalam konstruksi umum seperti pekerjaan beton, sekolah, jalan, dinding, panel beton dan sebagainya.

Berdasarkan BSN (2004b), *Portland Pozolan Cement* (PPC) adalah semen hidrolis terdiri dari campuran yang homogen antara semen *Portland* dan *Pozolan* halus yang dihasilkan dari menggiling klinker semen *Portland* dan *pozolan* secara bersama-sama, dengan kadar *Pozolan* 6%-40% dari berat semen *Portland*.

- a. Jenis IP-U yaitu semen *Portland Pozolan* yang dapat dipergunakan untuk semua pembuatan pekerjaan adukan beton.
- b. Jenis IP-K yaitu semen *Portland Pozolan* yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan pekerjaan adukan beton dan ketahanan kadar sulfat sedang dan panas hidrasi yang sedang.
- c. Jenis IP-U yaitu semen *Portland Pozolan* yang dipergunakan untuk pembuatan adukan beton dan tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.

- d. Jenis IP-k yaitu semen *Portland Pozoalan* yang dipergunakan untuk pembuatan adukan beton dan tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serat ketahanan kadar sulfat yang sedang dan panas hidrasi yang rendah.

2) Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat menempati sebanyak 70% volume beton. Agregat sangat berpengaruh pada sifat-sifat beton, maka pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan beton. Cara membedakan agregat yang paling umum adalah dilihat dari ukuran butirannya. Agregat yang memiliki butir-butir besar disebut agregat kasar, . Agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus (Tjokrodimuljo, 1992).

- a. Agregat halus dibedakan menjadi tiga yaitu sebagai berikut ini.
 - 1) Pasir galian adalah pasir yang di ambil dari tanah yang digali.
 - 2) Pasir sungai adalah pasir yang diambil dari dasar sungai.
 - 3) Pasir laut pasir yang diambil dari pantai.
- b. Agregat kasar dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut ini.
 - 1) Batu alami yaitu batu yang berasal dari peristiwa alami seperti agregat beku dan sebagainya.
 - 2) Batu becah yaitu batu yang berasal dari hasil pemecah batu.

Menurut Tjokrodimuljo (1992), faktor yang membatasi besar butir maksimum agregat adalah sebagai berikut ini.

- a. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih dari $\frac{3}{4}$ kali jarak bersih antar baja tulangan atau antar baja dan cetakan beton.
- b. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{3}$ kali tebal pelat.
- c. Ukuran maksimum butir agregat tidak boleh lebih besar dari $\frac{1}{5}$ kali jarak terkecil antar bidang samping cetakan beton.

Dengan pertimbangan diatas maka ukuran butir agregat umumnya dipakai 10mm, 20mm, 30mm, dan 40mm.

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran kekasaran butiran agregat sebagai pernyataan gradasi dipakai nilai presentase dari berat butiran yang tertinggal atau lewat di dalam susunan saringan. Susunan saringan adalah saringan dengan ukuran

lubang 76 mm; 38 mm; 19 mm; 9,6 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 2,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; dan 0,15 mm. Kekasaran pasir dibagi menjadi 4 daerah gradasinya yaitu halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Di sajikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.6 Gradasi pasir (Tjokrodimuljo, 2007)

Lubang saringan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I (Kasar)	Daerah II (agak kasar)	Daerah III (agak laus)	Daerah IV (halus)
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

3. Air

Dalam pembuatan campuran beton air merupakan bahan dasar yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen yaitu hanya 25% berat semen, semakin banyak air maka akan menurunkan kuat tekan beton dan akan terjadi porous (Tjokrodimuljo, 2007).

Persyaratan air yang akan digunakan di dalam campuran beton maupun sebagai perawatan beton nantinya adalah sebagai berikut ini.

- a. Air tidak boleh mengandung garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram/liter.
- b. Air tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
- c. Air tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.
- d. Air tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.

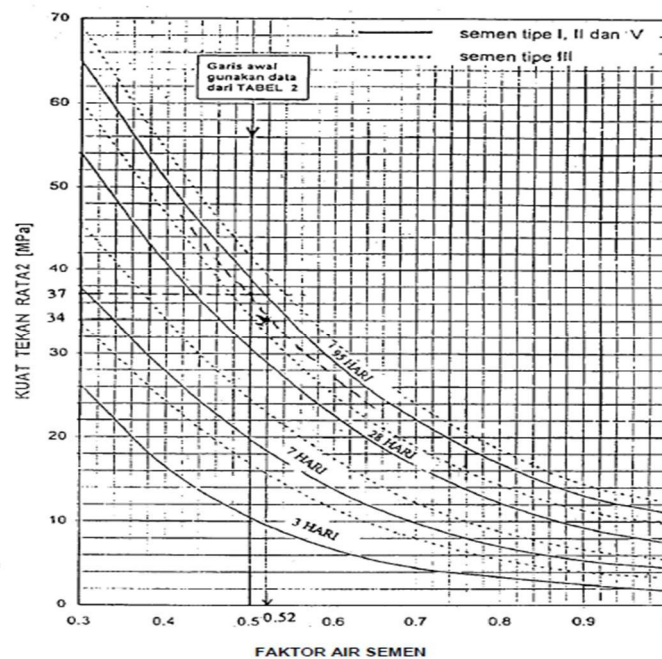
2.2.2. Slump dan Faktor Air Semen

Pada pembuatan beton yang perlu sering diperhatikan yaitu kelecakan (*consistency*) beton segar. Kelecakan beton segar biasanya diperiksa dengan pengujian *slump*. Pengujian *slump* juga berpengaruh pada kemudahan pengerjaan beton. Berikut ini adalah faktor- faktor yang mempengaruhi kelecakan beton segar (Tjokrodimuljo, 2007).

1. Jumlah air yang dipakai dalam adukan beton.

2. Jumlah pasta dalam campuran beton.
3. Gradasi agregat.
4. Besar butiran maksimum agregat.

Slump pada beton sangat berhubungan dengan factor air semen (FAS). Semakin tinggi nilai dari FAS maka semakin tinggi nilai *slump*, dan berpengaruh pada kuat tekan beton. Nilai faktor air semen dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Hubungan antar kuat tekan dan faktor air semn (FAS) (BSN, 2000)

2.2.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas. Pengujian kuat tekan beton didasarkan SNI 1974:2011 (BSN, 2011a). Hasil pengujian yang didapat digunakan sebagai dasar untuk pengendalian mutu dari komposisi beton. Hitungan kuat tekan beton dinyatakan dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji dengan luas penampang melintang rata. Seperti tertera dalam persamaan (2.1).

$$\text{Kuat tekan beton } (f_c') = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

f_c' = Kuat tekan beton

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang (cm^2)

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis disajikan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.7 Jenis Beton Menurut Kuat Tekanya (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis beton	Kuat tekan
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
Beton pra tegang	30-40 MPa
Beton normal	15-30 MPa

Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton yang berpengaruh pada mutu dari kekuatan beton yaitu:

1. Metode yang digunakan dalam perancangan.
2. Kualitas bahan penyusun yang digunakan.
3. Perawatan beton.
4. Lingkungan setempat.

2.2.4. Kuat Lentur Balok

Berdasarkan SNI 4431:2011 (BSN 2011b), tentang pengujian kuat lentur normal dengan dua titik pembebanan. Kuat lentur balok adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya sampai benda uji mengalami patah, dengan satuan *Mega Pascal* (MPa) gaya persatuan luas. Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

1. Penegujian bidang patah terletak didaerah pusat (dari 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), Ilustrasi bidang patah dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan perhitungan kuat lentur balok dapat dilihat pada persamaan 2.2.

$$\sigma_l = \frac{P.L}{b.h^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

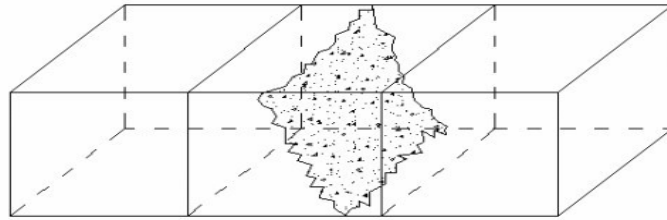
σ_l = Kuat lentur balok (MPa)

P = Beban tertinggi (N)

L = Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)

b = lebar tampang melintang arah horizontal (mm)

h = lebar tampang melintang arah vertikal (mm)



Gambar 2.10 Balok dengan daerah patah 1/3 bentang dari jarak titik perletakan bagian tengah SNI 4431:2011 (BSN, 2011b)

2. Pengujian dimana patahannya terletak di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antar titik perletakan. Balok dengan patahan pada 1/3 bentang tengah dan garis patah <5% dari bentang. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan perhitungan kuat lentur balok menurut persamaan 2.3 adalah sebagai berikut.

$$\sigma_l = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

σ_l = Kuat lentur balok (MPa)

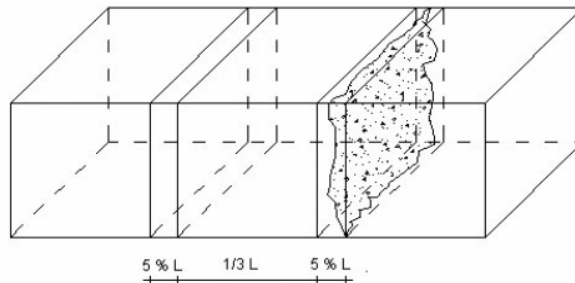
P = Beban tertinggi (N)

L = Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar tampang melintang horizontal (mm)

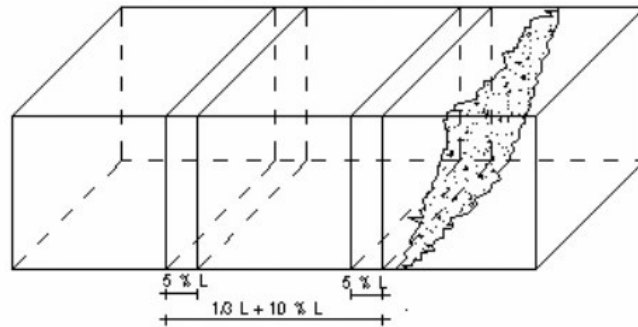
h = Lebar tampang melintang vertikal (mm)

a = Jarak rata-rata antara tampang lintang dan tumpuan luar yang terdekat diukur pada empat tempat pada sudut bentang (mm)



Gambar 2.11 Balok dengan patahan diluar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang SNI 4431:2011 (BSN, 2011b)

3. Pengujian dimana patahan berada diluar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah >5% bentang, maka hasil pengujian tidak digunakan. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Balok pada patahan diluar 1/3 bentang tengah dan garis patahan pada >5% dari bentang SNI 4431:2011 (BSN, 2011b)

2.2.5. Kuat Tarik Baja

Berdasarkan SNI 07-2052-2002 (BSN, 2002), tentang metode pengujian kuat tarik baja menunjukkan bahwa metode ini adalah acuan untuk melakukan pengujian kuat tarik baja tulangan beton. Bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik baja tulangan dan mengetahui beban *ultimate* maksimum. Rumus kuat baja tulangan dapat dilihat pada persamaan 2.4.

$$f_y = \frac{P_y}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

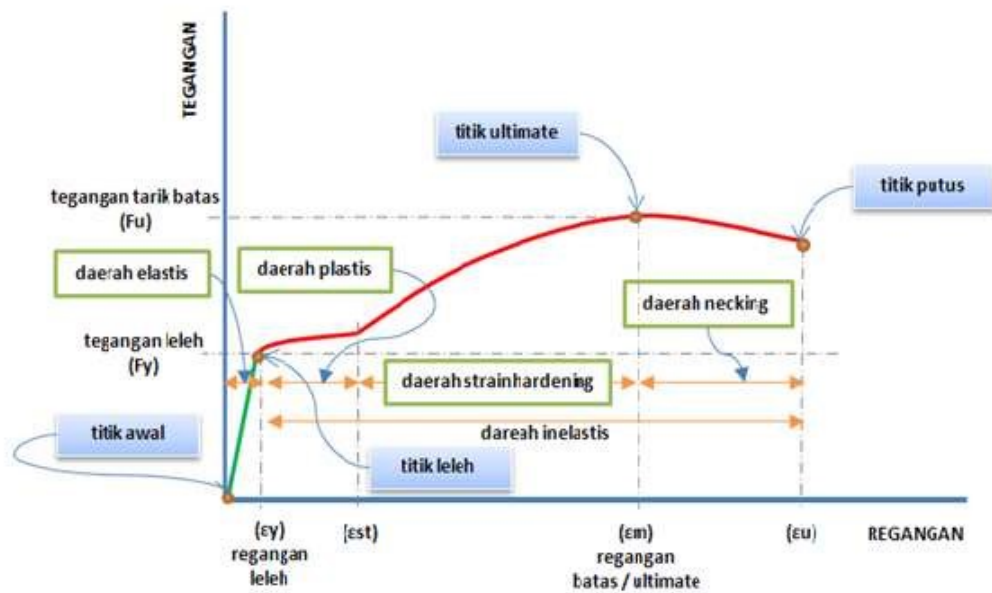
Keterangan :

f_y = kuat tarik baja (MPa)

P_y = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

Dari pengujian kuat tarik baja didapatkan suatu diagram hubungan antara tegangan dan regangan untuk baja tulangan. Pengujian kuat tarik baja dimulai dari titik awal dimana tegangan = 0 dan regangan = 0, dan diberi beban sampai benda uji mengalami putus. Dalam proses penguji tarik baja tulangan, diketahui terdapat empat fase yaitu elatis, plastis, *strain hardening*, dan *necking*. Fase- fase tersebut tertera pada grafik hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Hubungan antara tegangan dan regangan.

2.2.6. Pembebanan Dua Titik Pada Balok

Balok beton bertulang adalah kombinasi antara kekuatan beton dan baja tulangan. Pada balok beton bertulang gaya tekan yang terjadi dibagian atas ditahan oleh beton sedangkan pada bagian bawah ditahan oleh tulangan baja (Winter, 1993). Peningkatan beban pada balok beton bertulang akan menyebabkan tulangan memeleh dan muncul deformasi berupa lendutan, dan pada bagian bawah balok akan mengalami tarik dan muncul retakan yang akan terus menjalar ke bagian atas secara vertikal dengan semakin bertambah besarnya lendutan. Ketika tulangan sudah mengalami leleh maka kekuatan akan sepenuhnya tergantung pada kesetimbangan gaya yang di hasilkan dari beton yang tertekan dan tulangan baja yang tertarik (Wang, 1993). Gaya yang muncul dari beton dan dari tulangan baja harus memenuhi syarat kesetimbangan adalah sebagai berikut.

$$C_c = T_s \dots\dots\dots(2.5)$$

Syarat rasio penulangan komponen lentur :

$$p_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$p_{min} = 0,75 \cdot p_b \dots\dots\dots(2,7)$$

$$p_b = \left\{ \frac{(0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1)}{f_y} \right\} \cdot \left\{ \frac{600}{(600 + \dots)} \right\} \dots\dots\dots(2.8)$$

Momen Nominal (M_n) :

$$M_n = C_c \cdot z = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots \dots \dots (2.9)$$

$$M_n = T_s \cdot z = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots \dots \dots (2.10)$$

Momen Ultimit (M_u):

$$M_u = \frac{1}{6} \cdot P \cdot L \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

C_c = Gaya pada daerah tekan penampang

T_s = Gaya tarik baja

A_s = Luas tulangan baja

B = Lebar balok

L = Panjang balok

P = Beban

d = Tinggi efektif balok

a = Tinggi balok tegangan

p_{min} = Rasio penulangan minimum

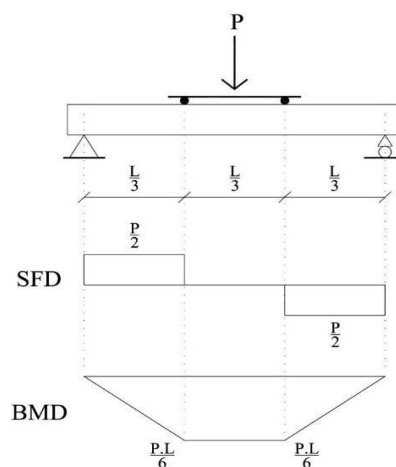
p_{maks} = rasio penulangan maksimum

p_b = Rasio penulangan dalam keadaan seimbang

f_c = Kuat tekan Beton

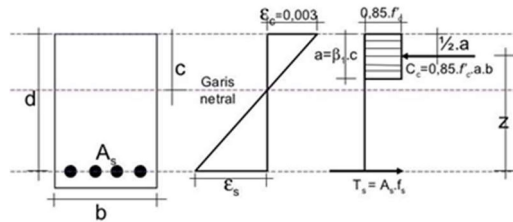
f_y = Tegangan luluh baja

β_1 = 0,85 (jika $f_c < 30$ MPa)



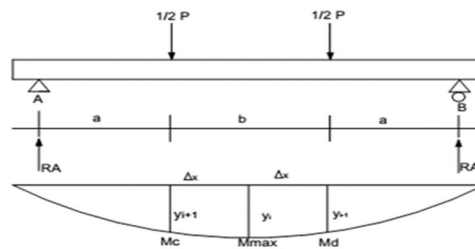
Gambar 2.14 Hubungan antara pembebanan, momen, dan geser

Regangan tekan beton dan batas leleh baja yang diisyaratkan tercapai bersama yang dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Diagram regangan balok persegi dengan tulangan tunggal

Kelengkungan yaitu ukuran seberapa tajam balok melentur (Gere dan Timoshenko, 2000). Pada potongan balok kelengkungan dapat ditentukan dengan metode *Central difference* dengan memanfaatkan dua titik yang berurutan. Mengacu pada Gambar 2.16.



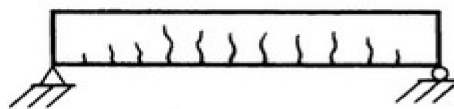
Gambar 2.16 Lendutan balok dengan tumpuan sederhana akibat beban terpusat (Gere dan Timosheko, 2000)

2.2.7. Pola keruntuhan

Nawy (1998) mengatakan bahwa jika balok beton diberikan beban di atasnya maka akan terjadi pola keruntuhan yang berbeda-beda, ada 3 jenis keruntuhan pada balok adalah sebagai berikut.

1. Pola Keruntuhan lentur

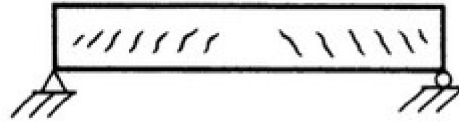
Pola keruntuhan lentur yaitu retak vertikal memanjang dari sisi Tarik balok dan mengarah ke atas sampai daerah sumbu netralnya. Diilustrasikan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Pola keruntuhan lentur balok (Nawy, 1998)

2. Pola keruntuhan geser

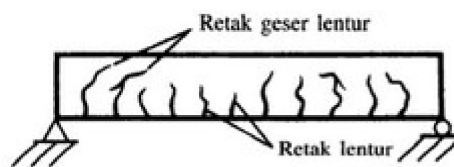
Pola keruntuhan geser biasanya terjadi pada bagian web balok beton baik sebagai retak yang bebas atau peranjangan retak lentur. Diilustrasikan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Pola keruntuhan geser balok (Nawy, 1998)

3. Pola keruntuhan geser-lentur

Pola keruntuhan yang terjadi pada balok pra tegang dan non prategang, pola keruntuhan tersebut adalah gabungan dari pola kerusakan geser dan lentur. Diilustrasikan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Pola keruntuhan geser-lentur balok (Nawy, 1998)

2.2.8. Sodium silikat

Sodium silikat (NaOH) merupakan salah satu bahan tertua yang paling aman yang dapat digunakan dalam industri kimia, hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana sejak 1818 sodium silikat berkembang dengan pesat. Sodium silikat dapat dibuat dengan proses kering maupun basah. Sodium silikat memiliki bentuk cair dan padat. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan dalam bentuk cairan, sodium silikat memiliki namalain yaitu *water glass*. Sodium silikat merupakan larutan alkali yang memainkan peranan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

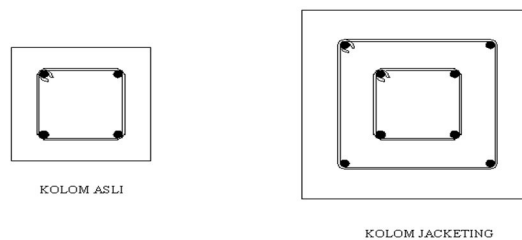
2.2.9. Grouting

Menurut Yurmansyah dan mukhlis (2009), metode *grouting* adalah menyuntikan bahan perekat pada retak beton yang retaknya antara 0,2 mm sampai dengan 5,00 mm agar menjadi satu kesatuan kembali (homogen). Dalam penelitian

ini metode *grouting* yang digunakan adalah memperbesar lubang atau retakan yang ada kemudian disuntikan dengan bahan campuran perbaikan.

2.2.10. Jacketing

Menurut Soenaryo (2009), *concrete jacketing* yaitu salah satu dari sekian banyak metode yang digunakan dalam perbaikan beton bertulang. *Concrete jacketing* dilakukan dengan cara memperbesar penampang melintang beton bertulang yang sudah ada dengan lapisan yang baru, beton tambahan juga diperkuat dengan tulangan. Diilustrasikan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Penampang melintang perkuatan *Concrete Jacketing* (Soenaryo, 2009)