

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu yang telah didapatkan diharap dapat digunakan sebagai acuan dan batasan sistem yang nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut. Beberapa jurnal yang digunakan sebagai studi literatur yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

1. (M. Rifki Darrisman dkk., 2017) Universitas Brawijaya, penelitian ini berjudul “Berat Volume dan Kekakuan Pelat Satu Arah Pada Pelat Beton Bertulangan Bambu dengan Lapis *Styrofoam*” dilakukan untuk mengetahui perbandingan besar beban vertikal maksimum yang dapat ditahan dan selisih berat volume dari pelat beton bertulangan bambu dengan lapis *styrofoam* maupun tidak. Benda uji sebanyak 4 buah dengan ukuran 160 cm x 60 cm x 12 cm. Dimensi tulangan bambu memanjang 1x2 cm dengan panjang 150 cm dan 1x2 cm dengan panjang 70 cm untuk tulangan bagi. Pembebanan beban vertikal statik akan dilakukan pada 28 hari. Benda uji diberikan beban garis pada Tengah bentang hingga mencapai keruntuhan kemudian dilakukan pengambilan data yaitu beban maksimum, berat volume, dan lendutan pada pelat. Hasil pada penelitian ini didapat pelat tulangan yang diberi *styrofoam* mengalami penurunan tahanan maksimal pelat sebesar 22,5% dan berat volume rata hasil kuat lentur eksperimental pun berada di bawah kuat lentur teoritis yang direncanakan.
2. (Wijayanti dkk., 2021) Universitas Gadjah Mada, penelitian ini berjudul “Perilaku Lentur Pelat Sistem Satu Arah Beton Bertulang Berongga dengan Pemanfaatan Botol Bekas Berbahan Plastik Sebagai Pembentuk Rongga” dilakukan untuk mengetahui perbandingan lendutan pelat lantai dan perilaku lentur dalam keadaan batas/ultimit dengan tinjauan kekuatan, beban maksimum, pola keruntuhan, dan daktilitas pelat lantai beron bertulang berongga dengan pelat lantai solid dengan tebal yang sama. Benda uji terdiri dari pelat solid (PS) dan 3 pelat berongga dengan variasi jarak antar rongga (PBBP-1, PBBP-2, PBBP3). Hasil dari penelitian ini didapat bahwa lendutan maksimum pada pelat PS lebih rendah dari pelat PBBP-1, PBBP-2, PBBP-3

karena terdapat rongga yang mengakibatkan lebih ringan dibandingkan PS. Hasil pengujian beban leleh pada pelat solid (PS) sebesar 50,960 kN, pelat berongga PBBP-1 sebesar 54,145 kN, pelat berongga PBBP-2 sebesar 56,350 kN, dan pelat berongga PBBP-3 sebesar 49,245 kN. Hasil pengujian beban maksimum pelat solid (PS) sebesar 62,475 kN, pelat berongga PBBP-1 sebesar 61,250 kN, pelat berongga PBBP-2 sebesar 61,250 kN, dan pelat berongga PBBP-3 sebesar 56,840 kN. Pola retak untuk semua hasil pengujian masing-masing benda uji pelat menggambarkan pola retak kerusakan lentur.

3. (Jati, 2016) Universitas Atma Jaya Yogyakarta, penelitian ini berjudul “Pemodelan Elemen Hingga Non Linier Pelat Satu Arah Beton Bertulang Berongga Bola” dilakukan untuk mengetahui kuat lentur, kekakuan dan daktilitas pelat dengan adanya rongga berbentuk bola dengan analisa numerik menggunakan program ATENA. Hasil dari penelitian didapat bahwa nilai yang didapat menunjukkan bahwa pengujian numerik mensimulasikan kondisi struktur yang sangat ideal. Semakin besar rasio rongga pada pelat maka kapasitas lenturnya akan semakin berkurang yang disebabkan karena pelat berongga bola terjadi kombinasi kerusakan lentur dan geser akibat dari kemampuan geser pelat yang berkurang. Pertambahan rasio rongga pada pelat beton bertulang berongga bola akan mengurai nilai kekakuan dan daktilitasnya.
4. (Priskasari dkk., 2023) Institut Teknologi Nasional Malang, penelitian ini berjudul “Studi Eksperimental dan Numerik Pelat Beton dengan Perkuatan Tulangan Bambu” dilakukan untuk Untuk mengetahui kapasitas lentur pelat beton dengan perkuatan tulangan bambu. Benda uji terdiri dari 4 jenis benda uji antara lain pelat beton solid dengan tulangan baja, pelat beton berongga dengan tulangan baja, pelat beton solid dengan tulangan baja dan bambu, dan tulangan berongga dengan tulangan baja dan bambu. seluruh variasi pelat beton berukuran ukuran 150 x 5 x 14cm. Pengujian dilakukan menggunakan beban merata menggunakan bak pasir dengan ukuran 150 x 50 x 20cm yang digunakan sebagai beban yang diberikan saat melakukan pengujian pada plat. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai regangan dan lendutan secara teoritik maka perlu analisa mulai perhitungan As tulangan, penentuan garis

netral pada beton, kontrol keseimbangan gaya, penentuan regangan dan perhitungan lendutan. Hasil pengujian diperoleh bahwa Pada kondisi beban yang mencapai 320 kg/m², pelat beton dengan perkuatan bambu memiliki nilai lendutan sebesar 0,24 mm sedangkan pelat beton dengan tulangan baja memiliki nilai lendutan sebesar 0,18 mm.

5. (Mansyur dkk., 2021) Universitas Muhammadiyah Palembang, penelitian ini berjudul “Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Kualitas Beton K-255” dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan Styrofoam terhadap kuat tekan beton dengan perbandingan 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% terhadap volume total agregat beton K-255. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan komposisi styrofoam mengakibatkan penurunan kuat tekan beton dari 28,4 MPa menjadi 14,0 MPa pada campuran 10% styrofoam, 11,9 MPa pada campuran 20% styrofoam, 8,62 MPa pada campuran 30% styrofoam, 7,69 MPa pada campuran 40% styrofoam, dan 5,97 MPa pada campuran 50% styrofoam.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul dan Pengarang	Persamaan	Perbedaan
1.	(M.Rifki Darissman dkk., 2017) Universitas Brawijaya, “Berat Volume dan Kekakuan Pelat Satu Arah Pada Pelat Beton Bertulangan Bambu dengan Lapis Styrofoam”	<ul style="list-style-type: none"> • Benda uji pelat beton ringan • Campuran beton ringan menggunakan Styrofoam • Perkuatan tulangan menggunakan bambu • Pengujian dilakukan ketika beton berumur 28 hari • 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton tanpa campuran serat
2.	(Novia Tinna Wijayanti dkk., 2019) Universitas Gadjah	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem pelat satu arah • Pengujian dilakukan 	<ul style="list-style-type: none"> • Benda uji menggunakan botol plastic

	Mada, “Perilaku Lentur Pelat Sistem Satu Arah Beton Bertulang Berongga dengan Pemanfaatan Botol Bekas Berbahan Plastik Sebagai Pembentuk Rongga”	ketika beton berumur 28 hari <ul style="list-style-type: none"> • Sistem pelat satu arah 	bekas sebagai pembentuk rongga <ul style="list-style-type: none"> • Pola pembebanan berupa dua buah gaya statik terpusat
3.	(Priskasari dkk., 2023) Institut Teknologi Nasional Malang, “Studi Eksperimental dan Numerik Pelat Beton dengan Tulangan Bambu”	<ul style="list-style-type: none"> • Benda uji memiliki panjang 150 cm dan lebar 50 cm • Pengujian dilakukan ketika beton berumur 28 hari • Metode pembebanan menggunakan sistem pembebanan merata • Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimental pelat beton 	<ul style="list-style-type: none"> • Benda uji berupa pelat dengan campuran beton normal • Beton tanpa campuran serat • Tulangan yang digunakan adalah tulangan biasa dan tulangan bambu • Benda uji berupa pelat beton berongga
4.	(Junaidi, 2015) Universitas Muhammadiyah Palembang, “Pengaruh Serat Bambu Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton”	<ul style="list-style-type: none"> • Benda uji berupa beton serat • Serat yang digunakan adalah serat bambu • Pengujian dilakukan ketika beton berumur 28 hari. • Perkuatan tulangan menggunakan 	<ul style="list-style-type: none"> • Benda uji hanya berupa silinder beton. • Pengujian hanya sebatas kuat tekan beton.

		tulangan bambu	
5.	(Mansyur dkk., 2021) Universitas Muhammadiyah Palembang, “Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Kualitas Beton K-255”	<ul style="list-style-type: none"> • Benda uji berupa beton campuran Styrofoam • Volume penambahan Styrofoam terhadap volume total agregat halus dan agregat kasar • Pengujian dilakukan ketika beton berumur 28 hari 	<ul style="list-style-type: none"> • Benda uji hanya berupa silinder beton • Pengujian hanya sebatas kuat tekan beton
	Dapat disimpulkan bahwa pada refrensi jurnal penelitian terdahulu tidak ada judul yang sama dengan judul yang akan di teliti saat ini, hanya pendekatan yang hampir sama sehingga dapat dijadikan sebagai acuan dalam mencari bahan kajian pada penelitian yang sedang dilakukan.		

2.2 Beton

Menurut (SNI 2847 - 2019) beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus yang dipakai biasanya berupa pasir alam atau pasir batu pecah, sedangkan agregat kasar yang digunakan biasanya berupa batu alam atau batuan hasil industri pemecah batu.

2.3 Beton Serat

Beton serat adalah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak dini menjadikan beton serat lebih daktail daripada beton biasa. Bahan serat dapat berupa serat *asbestos*, serat plastik (*poly-propylene*), atau potongan kawat baja, serat tumbuh-tumbuhan (rami, sabut kelapa, bambu, ijuk). (Mulyono, 2015)

Menurut (ACI Committee 544-2002), beton serat adalah beton terbuat dari semen hidrolik, agregat halus, agregat kasar, dan sejumlah serat kecil (fibre) yang didistribusikan secara acak. Beton serat adalah bahan komposit yang terbuat dari beton biasa dan bahan lainnya berupa serat. Serat dalam beton dapat membantu mencegah retak serta menjadikan beton serat lebih daktil daripada beton pada umumnya.

Penambahan serat dapat meningkatkan banyak sifat beton seperti daktilitas, ketahanan impact, kekuatan tarik dan lentur, ketahanan susut, ketahanan abrasi, ketahanan terhadap pecahan atau fragmentasi, dan ketahanan pengelupasan.

2.4 Material Pembentuk Beton

2.4.1 Agregat

Berdasarkan (SNI 2847 - 2019), agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton, mortar semen hidrolis.

Komposisi agregat tersebut menempati sekitar 60%-70% dari berat campuran beton, hanya sebagai pengisi, tetapi dengan melihat komposisinya yang cukup besar dalam suatu campuran. Untuk itu perlu dipelajari karakteristik yang akan menentukan sifat dari mortar atau beton yang akan di bentuk nantinya. Agregat dapat berasal dari alam ataupun dari agregat buatan (*artificial aggregates*) (Mulyono, 2015).

Agregat juga dibagi menjadi 2 macam sebagai berikut :

1. Agregat Kasar

Menurut (SNI 1969 - 2008), agregat kasar merupakan material dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm (saringan no. 4). Butiran penyusun agregat harus Tangguh, ulet, dan memiliki permukaan yang kasar. Untuk ketentuan agregat kasar adalah sebagai berikut :

- Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori
- Butir-butir pada agregat kasar harus tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, yang meliputi terik matahari dan hujan.
- Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang mengandung alkali.

- Agregat Kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Agregat kasar harus dicuci apabila kandungan lumpur lebih dari 1%.

2. Agregat Halus

Agregat halus untuk beton harus berbentuk pasir alam, yang terbentuk dari hasil batuan pecah secara alami atau buatan, yang terbentuk ketika batu dihancurkan dan dikenal sebagai abu batu. Menurut (SK SNI S-04-F-1989), persyaratan agregat halus adalah sebagai berikut :

- Butiran pada agregat halus harus tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, yang meliputi terik matahari dan hujan.
- Terdiri dari butiran tajam dan kersa dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$.
- Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Agregat halus harus dicuci apabila kandungan melebihi 5%.
- Tidak boleh mengandung bahan-bahan organik.
- Terdiri dari butiran yang beranekan ragam besarnya dan apabila diayak harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :
- Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negative.
- Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari Lembaga pemeriksanaan bahan-bahan yang diakui.

2.4.2 Semen Portland

Semen portland adalah suatu bahan konstruksi yang paling banyak di gunakan dalam pekerjaan beton. Menurut (ASTM C-150, 2012), Semen portland di definisikan sebagai semen hidrolik yang di hasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Perbedaan komposisi kimia dan karakteristik fisik akan menghasilkan semen dengan sifat yang berbeda ketika terhidrasi. Menurut (SNI-03-2843-2000) kategori semen dapat dikelompokkan berdasarkan tujuan pemakaiannya, yaitu sebagai berikut :

- Semen Portland tipe I digunakan pada konstruksi biasa, dengan tanpa karakteristik khusus tertentu.
- Semen Portland tipe II memiliki panas hidrasi yang lebih rendah dari tipe I. Semen ini digunakan apabila struktur beton terekspos oleh sulfat atau ketika panas hidrasi yang sedang dibutuhkan.
- Semen Portland tipe III digunakan apabila dibutuhkan kekuatan awal yang tinggi. Semen ini memiliki panas hidrasi yang lebih tinggi.
- Semen Portland tipe IV digunakan dalam campuran beton skala besar untuk bendungan beton dan struktur lainnya dengan panas hidrasi terdispersi secara perlahan. Semen ini relatif jarang diproduksi, termasuk di Indonesia. Perannya tergantikan oleh kombinasi tipe I dan tipe II dengan fly ash.
- Semen Portland tipe V digunakan untuk konstruksi pondasi, dinding basement, gorong-gorong, dan lainnya yang terekspos oleh tanah yang mengandung sulfat.

2.4.3 Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air bereaksi dengan semen akan menjadi pasta pengikat agregat. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton, air yang tercemar zat berbahaya seperti garam, minyak, atau bahan kimia lainnya, dapat menurunkan kualitasnya. (SNI 2847 - 2019).

Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr
3. Tidak mengandung klorida (Cl) < 0.50 gr/ltr, dan senyawa sulfat < 1 gr/ltr sebagai SP3
4. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.

2.5 Pelat Beton

Pelat beton dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan perilakunya dalam merespon momen lentur yang bekerja yaitu sebagai berikut :

2.5.1 Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah. Jika pelat hanya ditumpu di kedua sisinya, maka pelat tersebut akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan. Beban didistribusikan oleh pelat dalam satu arah saja yaitu kearah tumpuan. Bila pelat ditumpu di keempat sisinya, dan rasio bentang panjang terhadap bentang pendek ≥ 2 , maka 95% beban akan dilimpahkan dalam arah. (Kurniati, 2020)

2.5.2 Pelat Dua Arah

Pelat lantai dua arah adalah pelat lantai yang ditumpu pada ke-empat sisinya dan mempunyai perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek ≤ 2 . Beban vertikal yang menyebabkan terjadinya aksi dua-arah, dimana pelat akan melengkung seperti piring, tidak seperti pelat satu arah, yang berarti pada sembarang titik pada pelat tersebut akan melengkung pada dua arah utamanya. (Kurniati, 2020)

Besarnya momen lentur sebanding dengan kelengkungannya, maka pada kedua arah terdapat momen lentur dan kelengkungan pada bentang pendek lebih besar dari bentang panjang, berarti momen lentur yang terjadi pada bentang pendek lebih besar. Sehingga kedua arah tersebut harus diberi tulangan untuk memikul momen lentur.

2.6 Beton Ringan

Beton ringan menurut SNI 03-2847-2002 merupakan beton dengan berat jenis dibawah 1900 kg/m³. Menurut Tjokorodimuljo (2007), pembuatan beton ringan dapat dilakukan dengan cara :

1. Membuat gelembung-gelembung gas udara dalam adukan semen. Dengan demikian maka akan muncul banyak pori-pori udara di dalam betonnya. Bahan tambahan khusus (pembentuk gelembung udara dalam beton) ditambahkan ke dalam semen maka akan terbentuk gelembung udara.

2. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar dan batu apung. Dengan demikian maka beton yang terbentuk akan lebih ringan dari pada beton normal.
3. Pembuatan beton tidak dengan butir-butir agregat halus, dengan sebutan beton non-pasir yang hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja (dengan butir maksimum agregat kasar sebesar 20 mm atau 10 mm). beton ini memiliki pori-pori yang hanya berisi udara (yang semua terisi oleh butir-butir agregat halus).

Beton ringan struktural adalah beton dengan berat 20% hingga 40% lebih ringan dari beton normal. Oleh karena itu, beban mati struktur dapat dikurangi dan biaya konstruksinya dapat diturunkan, serta beton dan tulangan yang dibutuhkan akan berkurang. Menurut SNI 03-3449-2002 jenis beton ringan struktural seperti pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Tabel Ketentuan Beton Ringan

Konstruksi Bangunan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (Kg/m ³)	
Struktural			Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dari batu serpih, lempung, batu sabak, terak besi atau terak abu terbang
Minimum	17,24	1400	
Maksimum	41,3	1850	
Struktur ringan			Agregat ringan alam scoria atau batu apung
Minimum	6,89	800	
Maksimum	17,4	1400	
Struktur Sangat Ringan Sebagai Isolasi			Perlita atau vermikulit
Minimum	-	-	
Maksimum	-	800	

Beton ringan non-struktural lebih banyak digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang tidak menahan beban langsung seperti untuk dinding atau untuk estetika. Beberapa produk paten seperti misalnya untuk bata beton yang

merupakan beton aerasi dengan berat yang sangat ringan, saat ini dengan mudah ditemukan di pasaran.

2.7 Styrofoam

Penggunaan styrofoam dalam beton dapat dianggap sebagai rongga udara. Namun keuntungan menggunakan styrofoam dibandingkan dengan rongga udara dalam beton berongga adalah styrofoam mempunyai kekuatan tarik. Dengan demikian selain akan membuat beton menjadi ringan, dapat juga bekerja sebagai serat yang meningkatkan kekuatan beton. Kerapatan atau berat jenis beton dengan campuran styrofoam dapat diatur dengan mengontrol jumlah campuran styrofoam dalam beton.

2.8 Serat

Menurut (ACI Committee 544-2002 hlm.60), kekuatan serat, kekakuan, dan kemampuan serat untuk berikatan dengan beton merupakan sifat penguat serat yang penting. Panjang serat bervariasi dari 1 hingga 20 in. 25 hingga 500 mm). karena serat adalah bahan alami, diameter dan panjangnya tidak seragam. Diameter untuk serat alami bervariasi dari 0.004 sampai 0.03 in (0.10 hingga 0.75 mm).

Bagian penyusun suatu bahan yang dapat bergabung Bersama untuk membentuk jaringan memanjang secara utuh disebut serat. Ada dua jenis serat yaitu serat alami dan serat sintetis atau buatan manusia.

2.8.1 Serat Bambu

Serat bambu merupakan salah satu serat alami yang dapat digunakan sebagai bahan beton serat. Pemilihan bambu sebagai bahan bangunan dapat didasarkan pada harga yang rendah, serat kemudahan untuk memperolehnya. Penggunaan serat bambu sebagai bahan serat beton didasarkan pada pertimbangan bahwa kuat tariknya cukup tinggi, pembuatan dari bahan baku menjadi serat cukup mudah, serta populasi bambu yang cukup banyak dan tersebar sehingga mudah diperoleh. Meskipun jarang dibudidayakan secara khusus, namun banyak tumbuh di lahan-lahan liar seperti di tepi sungai, tebing-tebing dan sebagainya.

Serat alami seperti halnya serat alami dari bambu memiliki kerapatan rendah, harga relatif murah dan konsumsi energi rendah, serta dapat menetralkan

CO² dan memproduksi O² tiga kali lebih banyak dari tanaman lainnya. Hal yang paling istimewa serat bambu mempunyai daktalatis yang tinggi selain kekuatan yang dapat dibandingkan dengan material seperti baja. Penggunaan bambu sebagai material struktur sangat tepat karena bambu cukup ringan dan lentur sehingga bangunan dari struktur bambu mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap gempa.

2.9 Tulangan Anyaman Bambu

Anyaman bambu berasal dari bambu yang dibuat dengan memiliki ukuran lebar 2 cm dan tebal 2 mm, yang kemudian dianyam hingga berbentuk seperti anyaman.

2.10 Kuat Tekan Beton

Kuat beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi menurunkan kekuatan.

Besarnya nilai kuat tekan beton didapat dengan cara pengujian kuat tekan uji silinder beton. Tata cara pengujian yang biasa digunakan adalah Standar Nasional Indonesia (SNI 03-1974 2011). Perbandingan antara gaya yang dapat ditahan benda uji silinder terhadap luas penampang dasar silinder yang dikenal sebagai tegangan tekan beton. Adapun rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

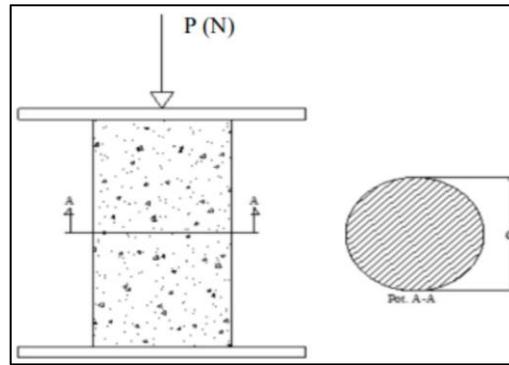
$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

f_c' = kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)

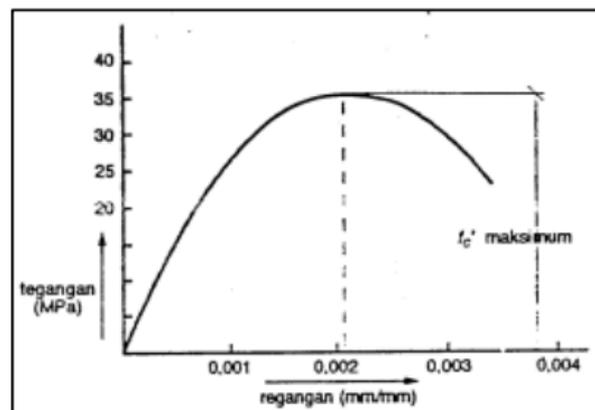
P = beban aksial (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)



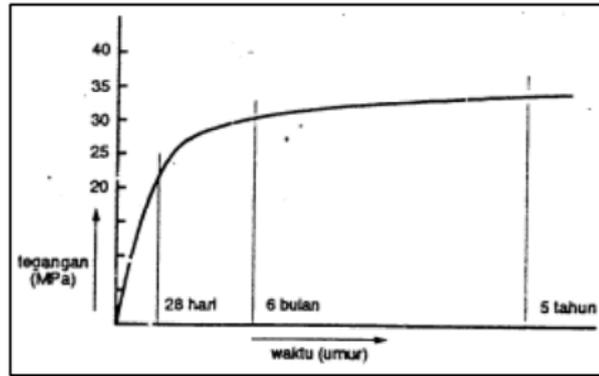
Gambar 2. 1 Uji Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan pada setiap benda uji dihitung dari tegangan tekan tertinggi (f_c') dengan menggunakan mesin uji yang meningkatkan beban tekan secara bertahap dan kecepatan pembebanan tertentu. Tegangan tekan beton (f_c') dihasilkan ketika tegangan tertinggi beton mencapai regangan (ϵ_b) mencapai nilai $\pm 0,002$.



Gambar 2. 2 Tegangan Tekan Benda Uji Beton

Umumnya kuat tekan beton diuji pada umur beton mencapai 28 hari setelah pengecoran. Nilai kuat tekan beton meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton tersebut. Pada umur 7 hari, kuat tekan beton baru mencapai 70% dari nilai kuat tekan beton umur 28 hari. Pada umur 14 hari, kuat tekan beton mencapai nilai antara 85% - 90% dari nilai kuat tekan beton umur 28 hari.

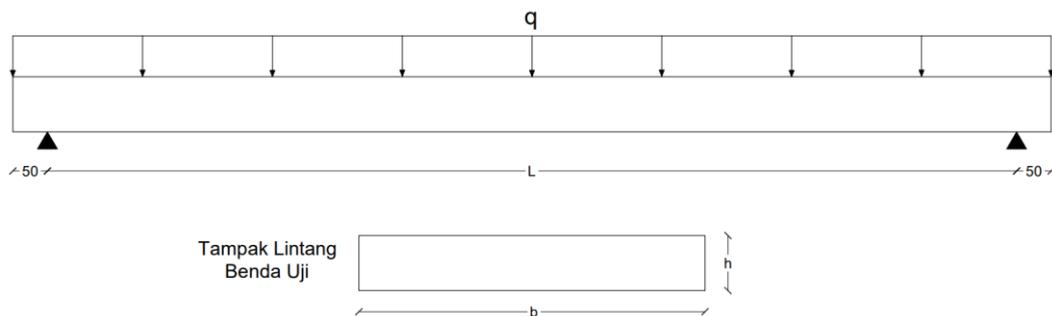


Gambar 2. 3 Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton

2.11 Kuat Lentur Pelat

Lentur pada balok maupun pelat akibatnya oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka struktur akan mengalami deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak disepanjang bentang balok atau pelat. Bila beban semakin bertambah, akhirnya terjadi keruntuhan pada elemen struktur.

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok yang diletakan pada kedua perletakan untuk menahan gaya tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji patah dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas (SNI 4154:2011).



Gambar 2. 4 Perletakan balok dengan pembebanan merata

Berdasarkan gambar perletakan diatas didapatkan tumpuan sebagai berikut :

$$R = \frac{q \times L \times \left(\frac{1}{2}L\right)}{L}$$

$$R = \frac{q \times L}{2}$$

Dari rumus diatas, didapat rumus momen yaitu :

$$Mx = \left(Rv \times \frac{L}{2} \right) - \left(q \times \frac{L}{2} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{L}{2} \right) \right)$$

$$Mx = \left(\left(\frac{q \times L}{2} \right) \times \frac{L}{2} \right) - \left(q \times \frac{L}{2} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{L}{2} \right) \right)$$

$$Mx = \left(\frac{q \times L^2}{4} \right) - \left(\frac{q \times L^2}{8} \right)$$

$$Mx = \frac{2(q \times L^2) - (q \times L^2)}{8}$$

$$Mx = \frac{1}{8} \times q \times L^2$$

Rumus dari tegangan lentur adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{Mx \times y}{I}$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{1}{8} \times q \times L^2 \right) \times \left(\frac{1}{2} \times d \right)}{\frac{1}{12} \times b \times d^3}$$

$$\sigma = \frac{\frac{1}{16} \times q \times L^2}{\frac{1}{12} \times b \times d^2}$$

Dari persamaan diatas, didapat rumus kuat lentur beton :

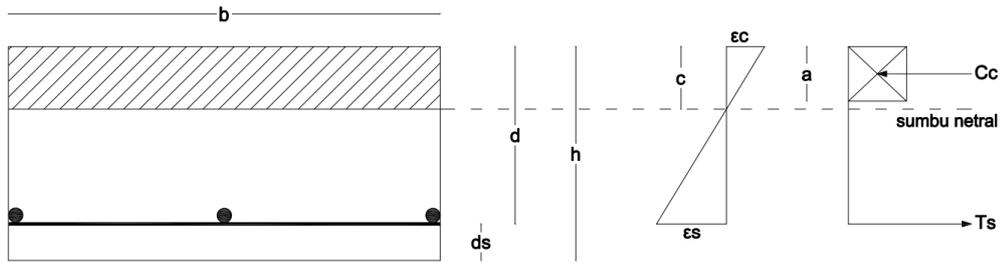
$$\sigma = \frac{3 \cdot q \cdot L^2}{4 \cdot b \cdot h^2}$$

Keterangan :

- σ = Kuat Lentur (MPa)
- y = Garis Netrar (mm)
- I = Momen Inersia (mm⁴)
- P = Beban hancur (N)
- L = Jarak antar tumpuan (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)

2.11.1 Momen Kapasitas Pelat Beton Bertulang Solid

Dengan memperlakukan pelat satu arah sama seperti balok, maka berlaku keadaan keseimbangan gaya/horizontal pada penampang, sehingga gaya tekan beton (C_c) akan diimbangi oleh gaya tarik tulangan baja (T_s). Pada kondisi batas kekuatan lentur tulangan baja pada pelat umumnya telah mencapai tegangan leleh, sehingga berlaku persamaan berikut ini (Dipohusodo, 1994) :



Gambar 2. 5 Diagram regangan dan gaya pada pelat penampang solid

$$C_c = T_s$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$T_s = A_s \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \text{ (asumsi baja tulangan leleh)}$$

Dengan prinsip keseimbangan gaya $C_c = T_s$ dapat diperoleh nilai a .

Kekuatan lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = T_s \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right) = C_c \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right) = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right)$$

2.12 Lendutan

Lendutan harus diperiksa apabila pelat memikul konstruksi yang akan mengalami kerusakan akibat lendutan yang besar. Batasan lendutan yang ditentukan berdasarkan SNI 2847 : 2019 pasal 24.2.2 adalah : (hlm 544)

Tabel 2. 3 Lendutan Ijin Maksimum

Komponen Struktur	Kondisi	Lendutan yang diperhitungkan	Batas Lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	1/180
lantai		Lendutan seketika akibat L	1/360

Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup	1/480
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		1/240

Kondisi benda uji pada penelitian ini untuk pelat yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar, dengan lendutan seketika akibat beban hidup, batas lendutannya adalah sebesar :

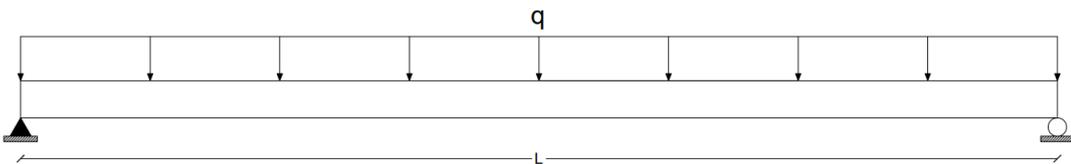
$$\Delta h = \frac{l}{360}$$

Keterangan :

Δh = lendutan ijin (mm)

l = panjang bentang (mm)

Perhitungan Lendutan seketika untuk pelat yang ditumpu oleh tumpuan sederhana dengan yang tumpu sederhana dengan beban merata sepanjang bentang adalah :



Gambar 2. 6 Skema pembebanan merata

Besarnya lendutan akibat beban merata dihitung dengan rumus :

$$\delta = \frac{5 q \cdot L^4}{348 E \cdot I}$$

Keterangan :

- δ = Lendutan yang terjadi pada pelat beton (mm)
 q = Beban merata (N/mm)
 L = Jarak antar tumpuan (mm)
 E = modulus elastisitas beton (MPa)
 I = Momen inersia (mm⁴)

Sedangkan untuk menghitung momen inersia adalah sebagai berikut (SNI 2847-2019 pasal 24.2.3.5) :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right\} \times I_{cr}$$

Tetapi tidak boleh lebih dari I_g

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

Inersia penampang retak :

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \times b \times y^3 + n \times A_s \times (d - y)^2$$

Dengan M_{cr} dihitung sebagai :

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t}$$

Dan modulus retak pada beton ringan :

$$f_r = 0,62\lambda \sqrt{f_c'}$$

Letak garis netral (y) :

$$y = \frac{n \times A_s}{b} \times \left\{ \sqrt{1 + \frac{2bd}{n \times A_s}} - 1 \right\}$$

Keterangan :

- I_g = Momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbuanya,

	dengan mengabaikan tulangan, (mm^4)
I_e	= Momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan, (mm^4)
I_{cr}	= Momen Inersia penampang retak yang ditransformasikan menjadi beton, (mm^4)
M_{cr}	= Momen retak, (Nmm)
M_a	= Momen yang terjadi, (Nmm)
f_r	= Modulus keruntuhan lentur beton, (MPa)
y_t	= Jarak dari sumbu pusat penampang bruto, dengan mengabaikan tulangan, keserat tarik terluar, (mm)

Sumber : Google

2.13 Pola Retak Pada Pelat Beton

Bentuk retak yang terjadi pada struktur beton diakibatkan penurunan yang tidak seragam, susut, beban bertukar arah, perbedaan unsur kimia dan perbedaan suhu pada beton. Retak dimulai dari retak permukaan yang tidak dapat terlihat secara kasar mata. Apabila pembebanan diberikan secara terus menerus dapat mengakibatkan retak rambut yang merambat. Sehingga pada akhirnya terjadi kegagalan atau keruntuhan pada struktur. Pada kondisi dilapangan variasi pola retak berbeda antara satu sama lain. Hal ini disebabkan perbedaan tegangan yang ditimbulkan oleh beban, momen dan geser. Kategori retak dibedakan sebagai berikut :

a. Retak lentur (*flexural crack*)

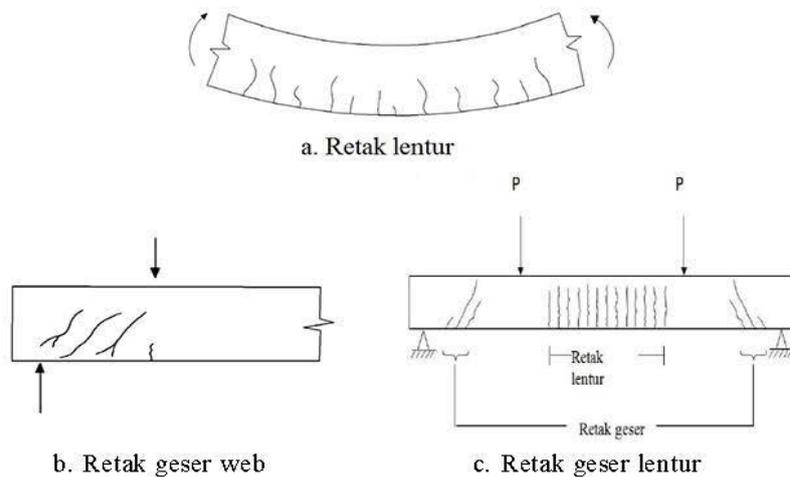
Retak ini terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi dimana tegak lurus pada sumbu balok.

b. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*)

Retak geser pada bagian balok yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah beton garis netral penampang, dimana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil.

c. Retak geser-lentur (*flexural shear crack*)

Retak ini terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.



Gambar 2. 7 Pola retak pada beton

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, pendekatan nilai kuat tarik beton digunakan suatu nilai yang disebut modulus of rupture (f_r) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$$

Momen retak berdasarkan SNI 03-2847-2002, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$M_{cr} = \frac{f_r}{y_t} \cdot I$$