

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia. Beton didefinisikan sebagai campuran semen, agregat (pasir dan kerikil), air, serta bahan tambahan lainnya yang mengeras seiring waktu. Proses pengerasan ini disebut hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dan air yang menghasilkan struktur padat dan kuat. Seiring perkembangan teknologi, beton telah mengalami berbagai inovasi, termasuk beton bertulang, beton pracetak, dan beton mutu tinggi yang lebih tahan terhadap beban dan lingkungan ekstrem, (Wibowo & Rono Pradopo, 2021).

Secara historis, beton telah digunakan sejak zaman Romawi kuno, dengan struktur seperti Pantheon yang masih berdiri hingga kini. Namun, formulasi modern beton mulai berkembang sejak ditemukannya semen Portland pada abad ke-19. Inovasi ini memungkinkan peningkatan ketahanan dan fleksibilitas beton untuk berbagai keperluan konstruksi (Wibowo & Rono Pradopo, 2021).

Mutu beton sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti rasio campuran bahan, waktu pengerasan, dan kondisi lingkungan saat proses curing. Beton berkualitas tinggi memiliki kuat tekan yang lebih besar dan ketahanan lebih baik terhadap retak serta keausan. Penelitian telah menunjukkan bahwa variasi dalam agregat dan penggunaan bahan tambahan seperti fly ash atau silica fume dapat meningkatkan performa beton, (Fibre & Sipil, 2016).

Dalam konteks lingkungan, beton juga menghadapi tantangan besar, terutama terkait dengan dampak ekologis dari produksi semen yang menghasilkan emisi karbon tinggi. Oleh karena itu, penelitian terbaru berfokus pada pengembangan beton ramah lingkungan, seperti beton daur ulang dan beton hijau yang memanfaatkan bahan limbah industri sebagai substitusi agregat, (Ahmad, 2011).

Sifat mekanis beton, seperti kuat tekan dan kuat tarik, sangat bergantung pada komposisi dan proses produksinya. Kuat tekan merupakan parameter utama dalam desain beton, sementara kuat tarik lentur sangat penting dalam aplikasi beton bertulang. Beton serat telah terbukti meningkatkan sifat mekanis dengan menambah daya tahan terhadap retakan dan deformasi akibat beban berulang, (Rahmawati et al., 2015). Selain itu, penggunaan bahan tambahan seperti pozolan dan fly ash juga dapat meningkatkan performa beton dengan mengurangi porositas dan meningkatkan ketahanan terhadap serangan kimia, (Waani & Elisabeth, 2017)

Selain dari aspek teknis, inovasi dalam teknologi beton juga berfokus pada metode produksi yang lebih efisien. Penggunaan *self-compacting concrete* (SCC), misalnya, memungkinkan beton mengalir sendiri ke dalam cetakan tanpa memerlukan vibrasi eksternal, sehingga lebih hemat tenaga kerja dan mengurangi kebisingan di lokasi proyek, (Rusyandi et al., 2012).

Dengan berbagai penelitian yang terus berkembang, beton tetap menjadi material utama dalam industri konstruksi modern. Pemahaman mendalam tentang komposisi, jenis, dan inovasi dalam teknologi beton sangat penting bagi para peneliti dan praktisi teknik sipil untuk menciptakan infrastruktur yang lebih kuat, efisien, dan berkelanjutan.

2.2 Klasifikasi Beton

Klasifikasi beton dapat dibedakan berdasarkan jenisnya, menurut, (Tjokrodimuljo, 2007) yaitu:

1) Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara 2200 kg/m³ – 2400 kg/m³ dengan kuat tekan sekitar 15 - 40 Mpa.

2) Beton massa

Beton massa adalah beton yang dituang dalam volume besar, yaitu perbandingan antara volume dan luas permukaannya. Biasanya beton massa dimensinya lebih dari 60 cm.

3) Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Beton disebut sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari 1800kg/m^3 . Pada dasarnya, beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori udara ke dalam campuran betonnya.

4) Beton non pasir

Beton non pasir adalah bentuk sederhana dari beton jenis ringan yang diperoleh dengan cara menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatan beton. Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan suatu sistem berupa keseragaman rongga yang terdistribusi didalam massa beton serta berkurangnya berat jenis beton.

5) Beton siklop

Beton jenis ini sama dengan beton massa, perbedaannya ialah pada beton ini digunakan ukuran agregat yang relatif besar-besar. Ukuran agregat kasar dapat sampai sebesar 20 cm.

6) Beton serat

Beton serat adalah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang merupakan serat. Serat pada umumnya berupa batang-batang dengan diameter antara 5 dan 500 μm (mikro meter) dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm.

7) Beton hampa

Beton hampa adalah beton yang setelah diaduk, dituang dan dipadatkan sebagaimana beton biasa, air sisa reaksi disedot dengan cara khusus yang disebut cara vacuum. Air yang tertinggal hanya air yang dipakai untuk reaksi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.

8) Fero semen

Fero semen adalah mortar semen yang diberi tulangan berupa anyaman kawat baja. Fero semen merupakan mortar semen yang banyak menggunakan semen, dengan tebal di antara 10mm sampai 60 mm dengan volume tulangan sekitar 6 – 8 %, dengan bentuk tulangan satu lapis atau lebih.

9) Beton Kedap Air

Beton kedap air adalah beton yang tidak dapat ditembus air. Beton ini biasanya digunakan untuk bagian bangunan beton yang berada di daerah air atau digunakan untuk menahan air, fondasi jembatan di sungai, dinding basement, dinding kolam renang, atap beton dan sebagainya.

2.3 Mutu Beton

Klasifikasi mutu beton ditentukan oleh kuat tekan yang diuji pada umur 28 hari, diukur dalam satuan Mega Pascal (MPa). Mutu beton yang berbeda memiliki aplikasi yang berbeda pula, tergantung pada beban yang ditanggung dan kondisi lingkungan. Menurut, SNI (03-2847:2013) yang mengatur persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, klasifikasi mutu beton harus memenuhi standar kualitas dan kekuatan yang sesuai dengan fungsi strukturalnya. Berikut adalah klasifikasi beton berdasarkan mutu:

2.3.1 Beton Mutu Rendah

Beton mutu rendah biasanya memiliki kuat tekan di bawah 20 MPa. Beton ini sering digunakan untuk elemen-elemen non-struktural seperti trotoar, jalan setapak, dan lantai untuk bangunan satu lantai. Kelebihan dari beton mutu rendah adalah biaya yang lebih murah dibandingkan dengan beton mutu tinggi, meskipun kualitas dan ketahanannya juga lebih rendah (Sutanto, 2011).

2.3.2 Beton Mutu Sedang

Beton mutu sedang memiliki kekuatan tekan antara 20 MPa hingga 40 MPa. Beton jenis ini digunakan dalam struktur yang lebih signifikan, seperti kolom, balok, dan pelat lantai pada bangunan bertingkat rendah hingga sedang. Kekuatan ini cukup memadai untuk mendukung beban pada banyak proyek konstruksi, seperti rumah tinggal dan gedung komersial, (Deisi et al., 2017)

2.3.3 Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi memiliki kekuatan tekan lebih dari 40 MPa. Jenis beton ini sering digunakan dalam pembangunan infrastruktur penting, jembatan, gedung bertingkat tinggi, dan struktur yang mengalami beban berat. Penggunaan aditif dan pengurangan rasio air-semen seringkali diperlukan untuk mencapai kekuatan ini. Beton mutu tinggi memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap beban berat dan kondisi lingkungan yang ekstrem (Pipit Mulyah, Dyah Aminatun, Sukma Septian Nasution, Tommy Hastomo, Setiana Sri Wahyuni Sitepu, 2020).

2.3.4 Beton Mutu Ultra Tinggi

Beton mutu ultra tinggi (*Ultra- HighPerformance Concrete, UHPC*) adalah jenis beton yang memiliki kekuatan tekan lebih dari 100 Mpa. Beton ini sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan sangat tinggi, seperti jembatan panjang dan struktur di lingkungan ekstrim (Krisnadi & Putri, 2020).

2.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton

2.4.1 Kelebihan Beton

(Hudoyo, 2017), kelebihan penggunaan beton sebagai struktur bangunan, antara lain:

1. Beton memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain.
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air. Pada peristiwa kebakaran dengan intensitas rata-rata, batang-batang struktur dengan ketebalan penutup

beton yang memadai sebagai pelindung tulangan hanya mengalami kerusakan pada permukaannya saja tanpa mengalami keruntuhan.

3. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.
4. Beton merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi telapak, dinding basement, dan tiang tumpuan jembatan.
5. Salah satu ciri khas dari beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk yang beragam, mulai dari pelat, balok, kolom yang sederhana sampai kubah dan cangkang besar.
6. Di sebagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal murah (pasir, kerikil, dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.
7. Mudah dicetak, artinya beton segar dapat diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran berapapun tergantung dari keinginan.
8. Awet dan tahan lama, artinya beton termasuk berkekuatan tinggi, serta mempunyai sifat tahan perkaratan dan pembusukan oleh kondisi lingkungan. Bila dibuat baik secara tekannya sama dengan batu alam.
9. Dapat dicor di tempat, artinya beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sangat sulit. Juga dapat disemprotkan pada permukaan beton yang lama untuk menyambungkan dengan beton baru (*grouting*).
10. Bentuknya indah, artinya dapat dibuat model sesuka hati menurut selera yang menghendaknya.

2.4.2 Kekurangan Beton

Mc.Cormac, (2004) mengatakan kekurangan penggunaan beton, antara lain:

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan, atau tulangan kasa (*mheses*).

2. Beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang jika basah, sehingga dilatasi (*contraction joint*) perlu diadakan pada beton yang panjang dan lebar untuk memberi tempat bagi susut pengerasan dan pengembangan beton.
3. Beton keras mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dilatasi (*expansion joint*) untuk mencegah terjadinya retak-retak akibat perubahan suhu.
4. Beton sulit untuk dapat kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air, dan air yang membawa kandungan garam dapat merusak beton.
5. Beton bersifat getas (tidak daktil), sehingga harus dihitung dan didetail secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil.

2.5 Material Penyusun Beton

Beton umumnya tersusun dari 3 (tiga) bahan penyusun utama yaitu semen, agregat, dan air. Jika diperlukan, bahan tambah kimia (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Berikut ini adalah bahan penyusun beton :

2.5.1 Semen

Semen adalah zat yang digunakan untuk merekatkan batu bata, batako, maupun bahan bangunan lainnya. Salah satu jenis semen yaitu *portland composite cement* (PCC), kegunaan *portland composite cement* (PCC) secara luas adalah bahan pengikat untuk konstruksi beton umum, pasangan batu, beton pracetak, beton pratekan, *paving block*, plesteran, acian dan sebagainya. Karakteristik *portland composite cement* (PCC) lebih mudah dikerjakan, kedap air, tahan sulfat, dan tidak mudah retak.

Bahan kimia yang terkandung dalam bahan baku semen dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 1 Kandungan Bahan-bahan Kimia Dalam Bahan Baku Semen

Oksida	%
Kapur (CaO)	60-65
Silica (SiO ₂)	17-25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0.5-6
Magnesia (MgO)	0.5-4
Sulfur (SO ₃)	1-2
Soda/potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0.5-1

Sumber : (Tjokrodinuljo, 2007)

2.5.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik beton akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 2007).

Menurut (Mulyono, 2019) gradasi agregat ialah distribusi dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu gradasi sela (*gap grade*), gradasi menerus (*countinous grade*) dan gradasi seragam (*uniform grade*).

1. Gradasi sela (*gap gradation*), didefinisikan sebagai suatu agregat dengan salah satu fraksi atau lebih yang berukuran tertentu tidak ada. Pada gradasi sela ini dalam diagram gradasi ditunjukkan dengan adanya suatu garis horizontal pada suatu fraksi ukuran agregat tertentu. Agregat dengan gradasi sela tidak tampak berpengaruh terhadap kuat tekan ataupun kuat tarik betonnya.
2. Gradasi menerus (*countinous grade*), didefinisikan jika agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat ini lebih sering dipakai dalam campuran beton. Untuk mendapatkan

angka pori yang kecil dan kemampatan yang tinggi sehingga terjadi *interlocking* yang baik, campuran beton membutuhkan variasi ukuran butir agregat. Dibandingkan dengan gradasi sela atau seragam, gradasi menerus adalah yang paling baik.

3. Gradasi seragam (*uniform grade*), adalah agregat yang terdiri dari butiran-butiran yang sama besar (fraksi tunggal). Suatu agregat seragam dengan ukuran 20 mm adalah agregat yang butir-butirnya lolos pada ayakan 20 mm tetapi tertahan pada ayakan 10 mm.

Dari ukuran butirannya, agregat dibedakan menjadi 2 (dua) golongan yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1. Agregat Halus

Agregat halus disebut pasir, berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau hasil pemecahan batu. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C 125-06). Agregat yang butir-butirnya lebih kecil 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut *slit*, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay*.

(SK SNI S-04-1889-F,) mengemukakan syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat halus adalah sebagai berikut :

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan $\pm 2,2$.
- b. Butir-butir agregat halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan.
- c. Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - ❖ Jika dipakai natrium sulfat, bagian yang hancur maksimal 12%
 - ❖ Jika dipakai magnesium sulfat, bagian yang hancur maksimal 10%
- d. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan lumpur

adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,060 mm, apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.

- e. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari abrams-harder. Untuk itu, bila direndam larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap daripada warna larutan pembanding. agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini juga dapat dipakai, asal kekuatan desak adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.
- f. Susunan besar butir agregat halus harus memenuhi modulus kehalusan antara 1,5-3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beranekaragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk dalam daerah susunan butir menurut zona 1,2,3, dan 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - ❖ Sisa diatas ayakan 4,8 mm, harus maksimum 2% berat
 - ❖ Sisa diatas ayakan 1,2 mm, harus maksimum 10% berat
 - ❖ Sisa diatas ayakan 0,3 mm, harus maksimum 15% berat
- g. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir dengan alkali harus negative.
- h. Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.
- i. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan diatas (pasir pasang).

Adapun gradasi agregat halus yang baik dapat dilihat pada dibawah

ini:

Tabel 2. 2 Batasan Susunan Butiran Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos Saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10 mm	100	100	100	100
4.8 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6 mm	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15 mm	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber : Tjokrodimuljo, 2007)

Keterangan :

Daerah 1 : Pasir kasar

Daerah 2 : Pasir agak kasar

Daerah 3 : Pasir agak halus

Daerah 4 : Pasir halus

2. Agregat Kasar

ASTM C 33-03 dan ASTM C 125-06 mengemukakan, agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm. ketentuan mengenai agregat kasar(S-04-1889-f, 1889), antara lain :

- Harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori
- Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang relative alkali.

- d. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 2%, apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat harus dicuci.

Batasan susunan butir agregat kasar dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 2. 3 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos Saringan	
	40 mm	20mm
40 mm	95-100	100
20 mm	30-70	95-100
10 mm	10-35	22-55
4.8 mm	0-5	0-10

(Sumber : Tjokrodimuljo, 2007)

(Nawy, 1990) mengemukakan jenis agregat kasar yang umum digunakan adalah sebagai berikut :

1. Batu pecah alami: Bahan ini berasal dari batu pecah alami yang digali atau cadas. Dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya, batu pecah ini lebih sulit untuk dikerjakan dan dicor, meskipun dapat berasal dari gunung api, sedimen, atau jenis metaforf.
2. Kerikil alami : kerikil didapat dari prosos alami, yaitu pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan batu pecah, tetapi membaerikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.
3. Agregat kasar buatan : terutama berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti blast-furnace dan lain-lain.
4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat : dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya

pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, maka perlu adanya beton yang dapat melindungi dari sinar X, sinar gamma, neutron.

2.5.3 Air

Air diperlukan selama proses pembuatan beton untuk memulai proses kimiawi semen, membasahi agregat dan membuat beton lebih mudah dikerjakan. Air yang dapat diminum umumnya digunakan untuk campuran beton, air yang mengandung senyawa berbahaya yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan kimia lainnya dapat menurunkan kualitas beton serta dapat mengubah sifatnya.

Perbedaan air dengan semen juga dikenal sebagai faktor air semen lebih penting daripada perbandingan jumlah air dan berat campuran keseluruhan, Ini karena pasta semen dihasilkan dari reaksi kimia antara air dan semen. Setelah proses hidrasi selesai, air yang berlebihan akan menghasilkan banyak gelembung air. Sebaliknya, air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak selesai sepenuhnya, yang berdampak pada kekuatan beton.

Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan penggunaannya harus memenuhi syarat menurut (SNI 03-6861.1-2002, 2002), antara lain :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
2. Air campuran yang digunakan tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Kandungan klorida (Cl) < 0,50 gram/liter dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO₃.

5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat di atas, air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 0,05 gram/liter.

2.6 Pengujian Karakteristik Material

Pada tahapan ini, material agregat halus (pasir) Pada tahapan ini dilakukan pengujian karakteristik material yaitu agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil). Setelah diperoleh data hasil pengujian karakteristik material selanjutnya adalah pencampuran material, yang setelah itu dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

1. Analisa Saringan

Analisa saringan agregat yang dimaksudkan untuk mengetahui ukuran butir dan gradasi agregat untuk keperluan desain campuran beton.

Berdasarkan Standar Indonesia, (SNI 03-1968-1990, 1990), tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besar atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar. Data distribusi diperlukan dalam perencanaan adukan beton. Pemeriksaan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar menggunakan saringan/ayakan.

2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pemeriksaan berat jenis agregat halus dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat halus dan penyerapan agregat halus berdasarkan menurut prosedur SNI NO:1737-1989 (ASTM C128).

Perhitungan :

$$\text{Bulk Specific gravity} = \frac{A}{B-500-C}$$

$$\text{Bulk Specific gravity (SSD)} = \frac{500}{B+500-C}$$

$$\text{Apparent specific gravity} = \frac{A}{B+A-C}$$

$$Absorption (penyerapan) = \frac{500-A}{A}$$

Keterangan :

SSD = berat contoh jenuh kering permukaan

A = berat contoh kering

B = berat labu + air temperatur 28°C

C = berat labu + contoh (SSD) + air temperatur 28°C

3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis agregat kasar dan kemampuannya menyerap air. berdasarkan menurut prosedur SNI SNI-03-1969-1990.

- $Bulk\ Specific\ Gravity = \frac{A}{B-C}$
- $Bulk\ Specific\ Gravity\ (SSD) = \frac{500}{B-C}$
- $Apparent\ Specific\ Gravity = \frac{A}{A-C}$
- $Absorption\ (penyerapan) = \frac{B-A}{A} \times 100\%$

4. Pemeriksaan Bobot Isi Agregat

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-4804-1998 tujuan percobaan ini untuk mengetahui berat isi agregat lepas dan padat.

Perhitungan :

$$\text{Berat Isi Lepas} = \frac{B-A}{V}$$

$$\text{Berat Isi Padat} = \frac{B-A}{V}$$

Keterangan :

A = berat container (gr)

B = berat container + isi (gr)

V = volume container (cm³)

5. Pemeriksaan Kadar Air Agregat

Pemeriksaan kadar air agregat dimaksudkan untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam agregat. Berdasarkan SNI 03-1971-1990 tujuan

percobaan ini adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Berdasarkan standar Indonesia SNI.

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

W_3 = berat contoh semula

W_5 = berat contoh kering

6. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat

Berdasarkan pemeriksaan kadar lumpur dan lempung agregat halus dan agregat kasar SNI 03-4143-1991 dimaksudkan untuk mengetahui kandungan lumpur/lempung dalam agregat.

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

Keterangan :

A = berat cawan kosong untuk masing-masing benda uji (gr)

B = berat cawan benda uji bersih kering oven (gr)

7. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis agregat kasar dan kemampuannya menyerap air menurut SNI 03-1969-1990 (ASTM C127).

$$\text{Bulk Specific gravity} = \frac{C}{A-B}$$

$$\text{Bulk Specific gravity (SSD)} = \frac{A}{A-B}$$

$$\text{Apparent Specific gravity} = \frac{C}{C-B}$$

$$\text{Absorption (penyerapan)} = \frac{A-C}{B} \times 100\%$$

Keterangan :

A = Berat contoh SSD

B = Berat contoh dalam air

C = Berat contoh kering oven

2.7 Campuran Beton (*Mix Design*)

Metode perencanaan campuran hanya memperkirakan proporsi campuran awal untuk membuat mix design. Perancangan mix design dengan rencana mutu $f'c$ 20 Mpa dengan penambahan abu daun nanas terhadap berat semen ditambahkan kedalam campuran beton segar tanpa menggantikan bahan apapun dari perbandingan terhadap total berat semen. Dalam penelitian ini penulis menggunakan Standar Metode Nasional SNI 7656-2012 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.

Setelah pengujian karakteristik selesai dan hasil yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi maka akan dilanjutkan ke dalam *mix design* dengan data perolehan pada pengujian karaktersitik.

2.8 Definisi Balok

Balok adalah elemen struktural dalam konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menopang beban dari lantai, dinding, atau elemen struktural lainnya, lalu mentransfernya ke kolom. Dalam teknik sipil, balok umumnya terbuat dari beton bertulang karena material ini memiliki kombinasi kekuatan tekan tinggi dari beton dan ketahanan tarik dari tulangan baja. Menurut, (Deisi et al., 2017), teori lentur pada balok beton bertulang didasarkan pada interaksi antara beton dan baja tulangan dalam menahan beban lentur (Deisi et al., 2017).

Selain itu, penelitian oleh, (Purnamasari & Adawiyah, 2013) menemukan bahwa adanya tambahan penulangan pada sekitar lubang balok beton dapat meningkatkan kapasitas strukturalnya, memperkuat daya tahan terhadap gaya geser dan lentur (Purnamasari & Adawiyah, 2013). Hasil-hasil penelitian ini menegaskan bahwa optimalisasi desain dan material tambahan pada balok beton bertulang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan struktur.

2.9 Kuat Lentur

Kuat lentur beton 8%-10% dari kuat tekan beton, kekuatan lentur adalah suatu sifat penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak dalam struktur. Kuat lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 03-4431-1997).

Lentur adalah keadaan gaya kompleks yang berkaitan dengan melenturnya elemen (balok) sebagai akibat adanya beban transversal. Aksi lentur menyebabkan serat pada permukaan elemen memanjang mengalami tarik dan tekan. Tegangan ini bekerja tegak lurus pada permukaan penampang struktur. Kekuatan elemen (penampang) yang mengalami lentur tergantung pada distribusi material pada penampang, juga jenis materialnya. Sebagai respon (reaksi) atas adanya lentur yang bekerja pada penampang struktur maka penampang akan memberikan gaya perlawanan (aksi) untuk mengimbangi gaya tarik dan tekan yang terjadi pada penampang. (Tri Mulyono, 2003).

Sebuah balok yang diberi beban akan mengalami deformasi dan oleh sebab itu timbul momen-momen lentur sebagai perlawanan dari material yang membentuk balok tersebut terhadap beban luar. Tegangan yang timbul selama mengalami deformasi tidak boleh melebihi tegangan lentur ijin untuk bahan dari beton itu. Momen eksternal harus ditahan oleh bahan dari beton dan nilai maksimum yang dapat dicapai sebelum balok mengalami keruntuhan atau patah sama dengan momen penahan internal dari balok.

Kuat lentur beton merupakan salah satu parameter penting dalam desain dan analisis struktur beton bertulang. Beton mutu sedang umumnya memiliki kuat tekan berkisar antara 20 MPa hingga 40 MPa dan digunakan dalam berbagai konstruksi seperti bangunan bertingkat rendah hingga menengah. Kuat lentur beton berhubungan erat dengan kuat tekan,

komposisi campuran, serta mutu bahan yang digunakan. Menurut penelitian (Dady, 2015), kuat lentur beton dapat diperkirakan berdasarkan kuat tekan dengan rumus empiris yang telah dikembangkan dalam berbagai standar konstruksi.

Menurut (Firdausi, 2020), faktor utama yang mempengaruhi kuat lentur beton adalah proporsi campuran, termasuk kadar semen, agregat halus dan kasar, serta faktor air-semen. Selain itu, teknik pencampuran dan proses curing juga berperan dalam meningkatkan kekuatan beton. Penelitian menunjukkan bahwa variasi kadar semen dan penggunaan bahan tambahan seperti abu batang jagung dapat meningkatkan sifat mekanik beton, termasuk kuat lentur. Beton dengan proporsi campuran yang baik akan memiliki distribusi pori yang lebih rapat, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap pembebanan lentur.

Kajian oleh (SARI, 2015) menunjukkan bahwa kuat lentur beton juga dipengaruhi oleh jenis semen yang digunakan. Semen Portland (OPC) dan Portland Composite Cement (PCC) memberikan hasil yang berbeda dalam aspek kuat tekan dan kuat lentur. Dalam penelitian tersebut, beton dengan faktor air-semen lebih rendah menunjukkan peningkatan kekuatan lentur, yang sejalan dengan teori bahwa beton dengan densitas lebih tinggi cenderung lebih kuat dalam menahan gaya tarik akibat beban lentur.

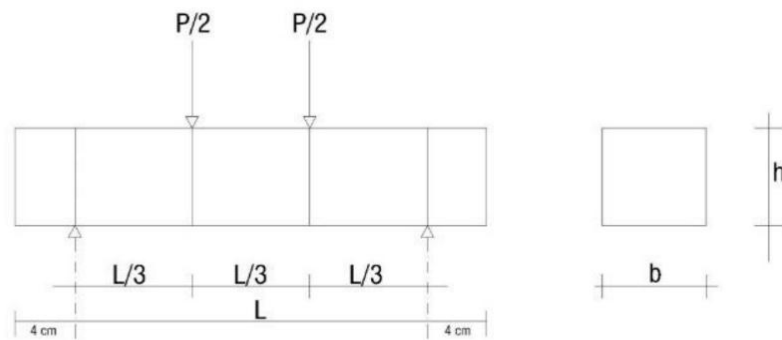
Pengujian kuat lentur beton sangat penting dalam rekayasa sipil karena beton memiliki kuat tekan yang tinggi tetapi lemah terhadap gaya tarik yang terjadi akibat pembebanan struktural. Uji kuat lentur memungkinkan para insinyur mengevaluasi seberapa besar beban tarik yang dapat ditahan beton sebelum mengalami retak atau kegagalan. Menurut penelitian (Ilmiah, 2023), pengujian ini membantu memahami perilaku beton pada kondisi pembebanan lentur, sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap beban yang berulang. Selain itu, pengujian ini juga digunakan untuk menentukan parameter perancangan yang lebih akurat dalam konstruksi beton bertulang.

Selain itu, uji kuat lentur beton juga berfungsi sebagai parameter kontrol kualitas dalam proses konstruksi. Dengan melakukan pengujian ini, para insinyur dapat menentukan apakah campuran beton yang digunakan sudah sesuai dengan spesifikasi desain dan standar yang berlaku. Studi oleh (Afif et al., 2024) menunjukkan bahwa variasi komposisi beton, termasuk penggunaan serat kawat bendrat, secara konsisten dapat meningkatkan kuat lentur beton hingga mencapai 4,51 MPa. Hasil ini membuktikan bahwa pengujian kuat lentur memberikan wawasan penting dalam pemilihan material yang lebih tahan terhadap beban lentur.

Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horizontal) atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. (E. G.Nawy,2009).

Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur disepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat mengakibatkan keruntuhan elemen struktur. Pada saat beban luar mencapai taraf pembebanan demikian disebut keadaan batas keruntuhan karena lentur. Karena itu perencana harus mendisain penampang elemen pada balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berebihan pada saat beban kerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan. (E. G Nawy,2009)

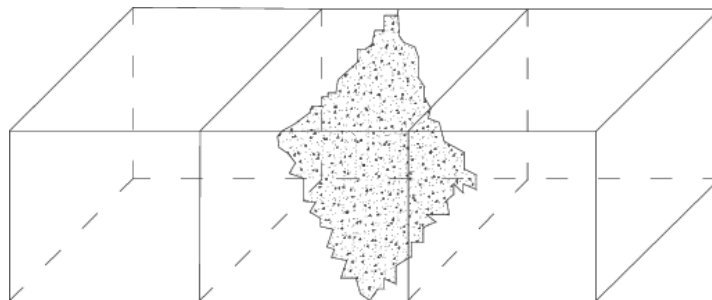
Dengan demikian kuat tekan lentur dapat didefinisikan kemampuan penampang struktur (balok beton) untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus dengan sumbu benda uji sampai benda uji patah.



Gambar 2. 1 Garis-garis Perletakan Dan Pembebanan
(Sumber : Anonim,n.d)

- a) Benda uji patahdi bagian tengahpada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik dari beton, maka beton dihitung dengan rumus:

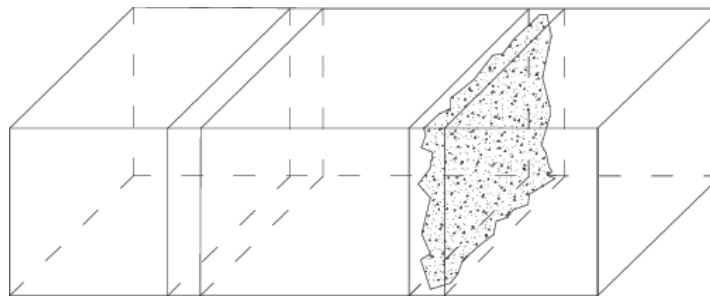
$$fr = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$



Gambar 2. 2 Patah Pada Pusat 1/3 Bentang (L)
(Sumber : Anonim,n.d)

- b) Benda uji patah diluar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik perletakan) dibagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5 % dari panjang titik perletakan maka kuat lentur beton dapat dihitung dengan rumus:

$$fr = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2}$$



Gambar 2. 3 Patah Diluar 1/3 Bentang (L) dan Garis Patah < 5%
Bentang
(Sumber : Anonim,n.d)

Dimana:

fr: Kuat lentur benda uji (MPa)

P: Beban maksimum pada saat pengujian (N)

L: Jarak bentang antara dua garis perletakan (mm)

b: Lebar patah arah horizontal (mm)

h: Lebar patah vertikal (mm)

a: Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar terdekat diukur 4 tempat pada sisi tarik benda uji (mm).

- c) Benda uji yang patahnya diluar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5 % bentang maka hasil pengujian dinyatakan batal dan diulang kembali dengan benda uji yang baru.

2.10 Daun Nanas

Tanaman nanas akan dibongkar setelah dua atau tiga kali panen untuk diganti tanaman baru, oleh karena itu limbah daun nanas terus berkesinambungan sehingga cukup potensial untuk dimanfaatkan sebagai produk tekstil yang dapat memberikan nilai tambah. Bentuk daun nanas menyerupai pedang yang meruncing diujungnya dengan warna hijau kehitaman dan pada tepi daun terdapat duri yang tajam. Tergantung dari *species* atau *varietas* tanaman, panjang daun nanas berkisar antara 55 sampai 75 cm dengan lebar 3,1 sampai 5,3 cm dan tebal daun antara 0,18

sampai 0,27 cm. Di samping species atau varietas nanas, jarak tanam dan intensitas sinar matahari akan mempengaruhi terhadap pertumbuhan panjang daun dan sifat yang akan dihasilkan.

Nanas dapat dibedakan menjadi lima kelompok dengan karakteristik daun dan buah yang berbeda beda, yaitu: (1) *Spainsh* (daun panjang kecil, berduri halus, buah bulat dengan mata datar), (2) *Queen* (daun pendek berduri tajam, buah lonjong mirip kerucut), (3) *Abacaxi* (daun panjang berduri kasar, buah silindris atau seperti piramida), (4) *Cayenne* (daun halus tidak berduri, buah besar) dan (5) *Maipure* (buah silinder, warna daging buah putih dan kuning tua, rasa lebih manis dari pada *Cayenne*).

Dari hasil penelitian kalsinasi daun nanas pada suhu 800°C diperoleh material sebesar 4,61% dari berat kering daun nanas. Dan pada pengujian XRF terhadap hasil kalsinasi daun nenas menunjukkan adanya kandungan silika (SiO₂) sebesar 38,161%. (Nurul Palupi, 2019).

Dan berdasarkan penelitian didapatkan hasil meliputi kadar selulosa berkisar antara 69,5% - 71,5%, kadar lignin berkisar antara 4,4% - 4,7%, kadar pektin 1,0% - 1,2%, kadar lemak dan wax 3% - 3,3%, kadar abu 0,71% - 0,87%, sedangkan kadar pentosan 17,0% - 17,8%. (Hidayat, 2008) dan silika sebesar 38% pada penelitian Kusuma et al., (2024).

2.11 Peneliti Terdahulu

Adapun upaya peneliti mencari penelitian terdahulu yang relevan dengan judul penelitian ini untuk

dijadikan perbandingan dan selanjutnya untuk menemukan ide-ide baru untuk penelitian ini. Penelitian terdahulu yang relevan dengan judul penelitian ini antara lain:

1) Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Telur dan Serat Nanas Terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur, Porositas, dan Permeabilitas Beton Porous (Sinto Malluka, Meli Limbong, 2023)

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang telur dan serat nanas terhadap kuat tekan, kuat lentur, porositas, dan permeabilitas beton porous. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan pada umur 28 hari dengan rata-rata penambahan abu cangkang telur dan serat nanas 1,5% + 1% (9,908 MPa), 2,5% + 1% (10,757 MPa), 4% + 1% (11,701 MPa) dan kuat tekan beton pada porous normal (9,153 MPa) sedangkan untuk pengujian kuat lentur pada umur 28 hari dengan rata-rata penambahan abu cangkang telur dan serat daun nanas 1,5% + 1% (2,759 MPa), 2,5% + 1% (3,021 MPa), 4% + 1% (3,248 MPa) dan kuat lentur beton pada porous 0% (2,568 MPa) dan untuk porositas didapatkan pada umur 28 hari dengan nilai rata-rata 1,5% + 1% (3,007 MPa), 2,5% + 1% (2,976 MPa), 4% + 1% (2,95 MPa) dan beton pada porous tanpa bahan tambah (3,359 MPa) dan untuk permeabilitas didapatkan rata-rata dengan nilai rata-rata 1,5% + 1% (4,332 mm/detik), 2,5% + 1% (4,235 mm/detik), 4% + 1% (4,165 mm/detik), dan untuk beton tanpa bahan tambah (4,453 mm/detik).

2) Pengaruh Penambahan Abu dan Serat Daun Nanas Pada Kuat Tekan Beton. (Irwanto, 2024)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari bagaimana limbah daun nanas dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk campuran beton yang mengandung silika. Sampel yang digunakan adalah silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, dan variasi penambahan abu adalah 1%, 2%, dan 3% dari berat semen pengujian kekuatan tekan beton dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari.

Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan beton kontrol pada umur 28 hari mencapai 24.204 MPa, sedangkan pada penambahan 1% abu daun nanas dan 1% serat nanas diperoleh kuat tekan sebesar 22,505 MPa,

dengan 2% abu dan 1% serat diperoleh 21,231 MPa dan 3% abu dan 1% serat nanas diperoleh 18,259 MPa.

3) Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Kerinci sebagai Bahan Tambahan pada Campuran Beton. (Islami & Putri, 2023)

Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur campuran kulit kopi 5%, 10% dan 15% dari berat semen pada beton umur 28 hari f_c' 20 MPa. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dalam data kuantitatif dengan sifat data kontinum. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis beton masuk kategori beton normal dalam rentang 2200-2500 kg/m³ dan nilai slump masuk dalam rentang rencana 60-180 mm. Hasil Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur tambahan kulit kopi tidak dapat meningkatkan kekuatan beton dan terjadi penurunan kekuatan dari beton normal.

4) Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Dengan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen. (Zulkarnain & Maulidza, 2024)

Pada penelitian ini metode yang digunakan, memberikan penekanan pada pengujian variasi persentase abu sekam padi dengan metode eksperimen. Penelitian ini memakai variasi beton normal dan persentase abu sekam padi 5%, 10%, dan 15%. Benda uji silinder berdimensi 150 x 300 mm, sebanyak 12 buah beton yang kemudian akan diuji setelah umur beton 28 hari. Rata-rata kuat tarik belah untuk variasi beton normal (2,005 MPa), ASP 5% (1,109 MPa), ASP 10% (0,920 MPa) dan ASP 15% (0,708 MPa). Dari pengujian ini didapat bahwa penambahan abu sekam padi (ASP) menyebabkan penurunan kuat tarik belah beton secara signifikan.

5) Pemanfaatan Abu Limbah Kulit Kopi Toraja Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. (Padang & Lodi Honta, 2024).

Memanfaatkan abu limbah kulit kopi Toraja sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton. Variasi penggunaan abu limbah kulit

kopi yakni 0%, 5%, 7,5% dan 10% terhadap berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan setiap variasi mengalami kenaikan seiring pertambahan waktu. Pada umur 28 hari, diperoleh kuat tekan beton normal sebesar 25,45 MPa dengan mutu rencana awal 25 Mpa. Kuat tekan beton maksimum diperoleh pada variasi 7,5% dengan kuat tekan beton sebesar 24,13 MPa. Namun, masih berada di bawah kuat tekan beton normal.

6) Sintesis Zeolit Berbasis Silika dari Biomassa Daun Nanas (*Ananas comosus*). (Kusuma et al.,2024)

Dalam penelitian ini, peneliti memanfaatkan daun nanas sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit. Dari penelitian ini diperoleh beberapa komponen penyusun salah satunya yaitu silika sebanyak 38%.

7) Pengaruh Penambahan Abu dan Serat Daun Nanas Pada Kuat Lentur Beton. (Visca Novita, 2024)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu daun nanas dan serat daun nanas terhadap kuat lentur beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode eksperimental dengan membuat benda uji dengan menggunakan cetakan balok ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur 28 hari. Standar yang digunakan untuk rancangan campuran / *mix design* SNI 7656:2012. Pengujian kuat lentur dengan standar SNI 4431:2011. Penelitian ini menggunakan variasi dari daun nanas sebesar 1%, 2% dan 3% dari berat semen serta penambahan serat 1% yang berukuran 3 cm. Hasil pengujian kuat lentur beton untuk beton tanpa variasi bernilai 2,866 MPa. Variasi 1% abu dan 1% serat bernilai 2,730 MPa. Variasi 2% abu dan 1% serat bernilai 2,930 MPa. Variasi 3% abu dan 1% serat bernilai 3,135 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan terhadap kuat lentur dengan variasi 3% abu dan 1% serat.