

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pengujian kuat lentur beton telah banyak dilakukan untuk mengetahui ketahanan dan kekuatan dari beton. Beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan mengenai analisis kuat lentur beton meliputi :

1. Kontribusi Kuat Lentur Polikarbonat Pada Pelat Beton Berpori (Nurtanto, 2016).
2. Pengaruh Substitusi Agregat Kasar Dengan Serat Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton K-35 (Rahmi dkk., 2015).
3. Pengaruh Penambahan Serat Ijuk Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang (Pertiwi dan Sabariman, 2017).
4. Pengaruh Penambahan Serat Tandan Sawit Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton (Amna dkk., 2014).
5. Pengaruh Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Lentur Beton dengan Faktor Air Semen 0,5 (Elhusna dkk., 2011).
6. Pengaruh Panjang Sabut Kelapa terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton (Handani dkk., 2009).
7. Pengaruh Serat Limbah Karpet Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Ringan Dari Alwa (Haryanto, 2016).
8. Kapasitas Lentur Plat Beton Bertulangan Bambu Wulung Dengan Takikan Tidak Sejajar (Pranoto dkk., 2014)
9. Analisis Petrografi Agregat Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Perkerasan Kaku (Wirawan, 2016).
10. Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik, Kuat Lentur dan Redaman Bunyi Pada Panel Dinding Beton Ringan Dengan Agregat Limbah Plastik Pet dan Limbah Serbuk Kayu (Royani dkk., 2014).

Perbedaan antara pengujian tugas akhir ini dengan pengujian sebelumnya adalah penelitian tugas akhir ini menganalisis kuat lentur beton menggunakan beton non pasir dengan 3 variasi *fly ash* yaitu 20%, 40% dan 60% dan bahan tambahan *superplasticizer* tipe H yaitu Sika *Viscocrete 1001* sebesar 0,5%. Benda uji yang

digunakan berupa pelat dengan Panjang 60 cm, lebar 40 cm dan tebal 10 cm. Berdasarkan perbedaan tersebut penelitian ini dijamin keasliannya.

2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Agregat

Ginting (2015) telah melakukan pengujian terdapat agregat kasar ukuran 40 mm yang berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Penelitian ini untuk mengalisis nilai kuat lentur agregat terhadap rasio agregat terhadap semen dan faktor air semen. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil berat jenis (SSD) sebesar 2,686 termasuk agregat normal, nilai keausan yang didapat sebesar 15,36% memenuhi syarat yaitu kurang dari 50%, MHB sebesar 7,645 memenuhi syarat yaitu berkisar antara 5-8, nilai penyerapan air didapatkan sebesar 0,878% dan kadar air sebesar 0,741%.

Ervianto dkk. (2016) telah melakukan pengujian terhadap agregat kasar yang berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Dari pengujian agregat kasar didapatkan hasil berat jenis agregat sebesar 2,63 termasuk jenis agregat normal, nilai keausan diperoleh sebesar 21,36% memenuhi syarat yaitu kurang dari 50%, nilai penyerapan air didapatkan sebesar 1,438% , kadar air sebesar 0,549% kadar lumpur sebesar 1,750% dan berat satuan sebesar 1,55 gr/cm³. Penelitian ini tidak menguji MHB.

Sari dkk. (2013) telah melakukan pengujian terhadap agregat kasar dengan ukuran 1 cm-2 cm dan 2 cm- 3 cm. Dari pengujian agregat kasar didaptkan hasil berat jenis agregat sebesar 2,69 memenuhi syarat 2,5 – 2,7 dan termasuk jenis agregat normal, nilai MHB yang didapat sebesar 7,66 memenuhi syarat yaitu berkisar antara 5-8, nilai keausan diperoleh sebesar 10% memenuhi syarat yaitu kurang dari 50% dan nilai penyerapan air didapatkan sebesar 0,83%.

Tabel 2.1 Perbandingan hasil pengujian agregat kasar berupa batu *split*

No.	Jenis Pengujian Agregat Kasar	Nama Penguji		
		Ginting	Ervianto,dkk	Sari,dkk
1	Berat Jenis (SSD)	2,686	2,63	2,69
2	Keausan (%)	15,36	21,36	10
3	MHB	4,645	-	7,66
4	Penyerapan air (%)	0,878	1,438	0,830
5	Kadar air (%)	0,741	0,549	-
6	Kadar lumpur (%)	-	1,750	-
7	Berat satuan (gr/cm ³)	-	1,55	-

2.1.2. Penelitian Terdahulu Tentang Kuat Lentur

Nurtanto (2016) dalam penelitian mengenai “Kontribusi Kuat Lentur Polikarbonat Pada Pelat Beton Berpori”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh polikarbonat sebagai pengganti baja sebagai tulangan terhadap kuat lentur pelat beton berpori, polikarbonat sendiri merupakan salah satu jenis plastik yang tahan terhadap suhu, mudah dibentuk dalam keadaan panas, warnanya bening dan kuat terhadap benturan. Pada pengujian ini digunakan benda uji dengan panjang 40 cm, lebar 40 cm dan tebal 5 cm sebanyak 20 buah, dengan 5 variasi penulangan, yaitu tanpa tulangan, dengan tulangan baja diameter 6 mm, lembaran polikarbonat lebar 2 cm, lembaran polikarbonat lebar 4 cm dan lembaran polikarbonat lebar 8 cm. Uji kuat lentur dilakukan pada umur 28 hari. Digunakan FAS sebesar 0,5 dan perbandingan volume *mix design* 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil. Dari Tabel 2.2 dapat dilihat pelat dengan tulangan baja diameter 6 mm memiliki kuat lentur rata-rata tertinggi yaitu sebesar 36,5 Dif atau 525,178 kg. Sedangkan untuk kuat lentur pelat dengan lembaran polikarbonat hasilnya hampir sama dengan pelat tanpa tulangan. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa lembaran polikarbonat tidak memiliki daya lekat terhadap beton dan tidak dapat digunakan sebagai pengganti tulangan baja.

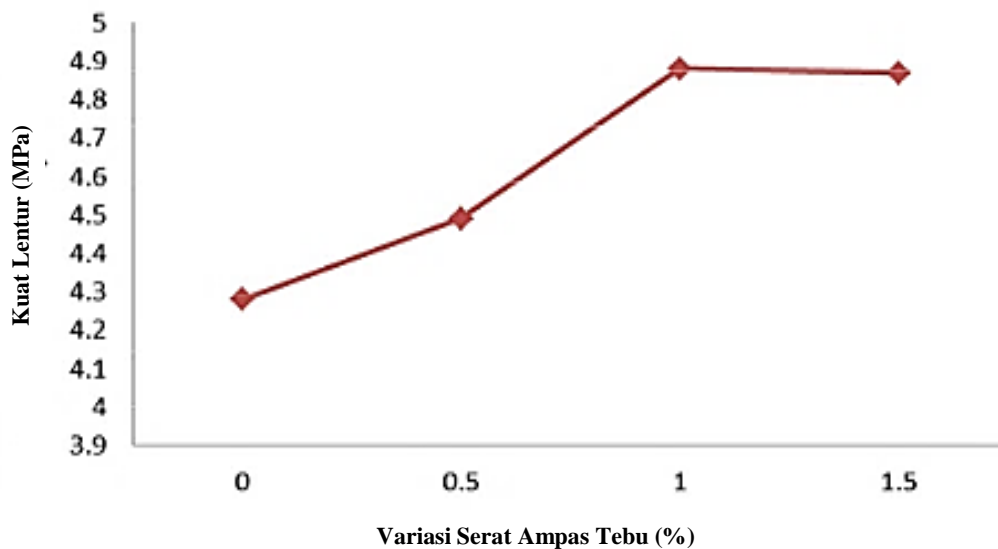
Tabel 2.2 Hasil pengujian kuat lentur (Nurtanto, 2016)

Tipe Pelat Beton Berpori	Kuat Lentur (Dif)	Kuat Lentur Rata-Rata (Dif)	Kuat Lentur Rata-Rata (Kg)
Lembaran Polikarbonat Lebar 2 cm	25	23,25	334,531
	25		
	22		
	21		
Lembaran Polikarbonat Lebar 6 cm	25	22	316,457
	20		
	22		
	21		
Lembaran Polikarbonat Lebar 4 cm	21	20,75	298,560
	20		
	21		
	21		

Tabel 2.2 Hasil pengujian kuat lentur (Nurtanto,2016) (Lanjutan)

Tipe Pelat Beton Berpori	Kuat Lentur (Dif)	Kuat Lentur Rata-Rata (Dif)	Kuat Lentur Rata-Rata (Kg)
Dengan Tulangan Diameter 6 mm	38	36,5	525,178
	35		
	36		
	37		
Tanpa Tulangan	21	22	316,457
	20		
	24		
	23		

Rahmi dkk. (2015) dalam penelitian mengenai “Pengaruh Substitusi Agregat Kasar dengan Serat Ampas Tebu terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton K-350”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan serat tebu yang merupakan limbah organik terhadap kuat lentur dan kuat tekan beton mutu K-350. Serat tebu dipilih sebagai bentuk pemanfaatan limbah organik ampas tebu pada pabrik pembuatan gula yang belum terolah dengan baik, selama ini pemanfaatan serat ampas tebu hanya sebatas sebagai bahan pembuat pupuk, pakan ternak, *particle board* dan *pulp*. Serat tebu memiliki kandungan yang dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat lentur yaitu senyawa kimia berupa 70,79% silika (SiO_2) dan nilai modulus elastis sebesar 15-19 Gpa. Benda uji yang digunakan adalah balok dengan panjang 50 cm, lebar 10 cm dan tebal 10 cm, dengan variasi ampas tebu 0%, 0,5%, 1%, 1,5% masing-masing sebanyak 3 buah dan diuji pada umur 28 hari. Agregat yang digunakan berukuran 4,75 mm – 19 mm dan menggunakan semen Portland tipe I. Pada pengujian ini didapatkan nilai kuat lentur terendah sebesar 4,28 MPa terdapat pada variasi beton tanpa serat ampas tebu dan kuat lentur tertinggi sebesar 4,88 MPa terdapat pada variasi 1% serat ampas tebu. Sedangkan nilai kuat tekan maksimum terdapat pada variasi ampas tebu 0,5% sebesar 36 MPa. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat mulai dari variasi 0%, 0,5% dan 1% kuat lentur mengalami kenaikan namun pada variasi 1,5% kuat lentur mengalami penurunan menjadi 4,87 MPa. Penurunan terjadi karena semakin banyak jumlah serat didalam adukan beton maka semakin mudah serat tersebut menggumpal dan dapat mengurangi kekuatan dari beton.



Gambar 2.1. Hubungan variasi serat ampas tebu terhadap kuat lentur beton (Rahmi dkk., 2015)

Pertiwi (2017) dalam penelitian mengenai “Pengaruh Penambahan Serat Ijuk terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang”. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara nilai kuat lentur terhadap penambahan serat ijuk sebagai volume semen. Variasi serat ijuk yang digunakan sebesar 0%, 1% dan 3%. Pemilihan serat ijuk yang baik dan beraturan diperlukan agar didapat hasil yang baik, penyisiran dengan sisir kawat dilakukan untuk memilah serat yang tidak beraturan atau kusut dengan serat yang beraturan. Benda uji yang digunakan berupa balok dengan panjang 12,5 cm, lebar 23 cm dan tebal 20 cm. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan 2 titik beban berjarak 65 cm dari balok, dimana hasil dari pengujian kuat lentur akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan teoritis. Serat ijuk yang digunakan memiliki panjang 6 cm dan berdiameter ≤ 1 mm. Dari Tabel 2.3 dapat dilihat hasil nilai kuat lentur tertinggi terdapat pada variasi 1% sebesar $32,22 \text{ N/mm}^2$ dibandingkan dengan kuat lentur beton tanpa menggunakan serat ijuk. Hal ini menunjukkan bahwa serat ijuk dapat meningkatkan kuat lentur beton dalam menerima beban. Namun, pada variasi 3% nilai kuat lentur mengalami penurunan yaitu $27,01 \text{ N/mm}^2$, nilai kuat lentur menjadi lebih kecil dibandingkan tanpa menggunakan serat ijuk. Hal ini menunjukkan variasi serat ijuk yang terlalu banyak dapat mengurangi daya ikat beton dan dapat menurunkan nilai kuat lentur beton, dikarenakan serat yang terlalu banyak dapat mengakibatkan penggumpalan

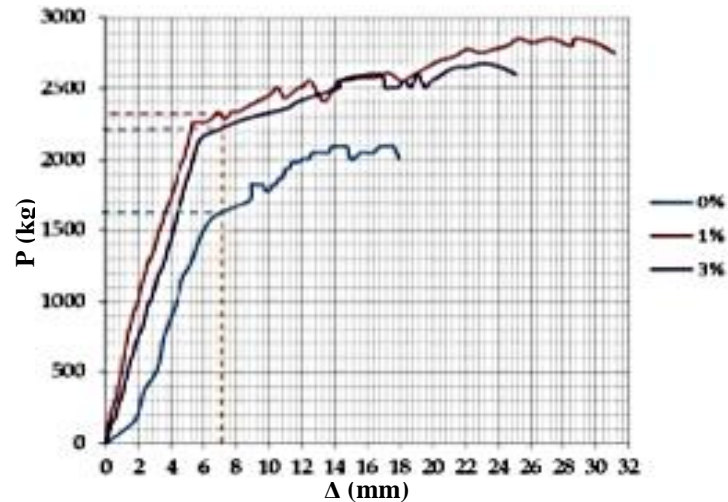
serat ijuk pada saat pencampuran sehingga serat ijuk tidak merata pada seluruh bagian beton. Dari Tabel 2.4 dapat dilihat perbandingan nilai lendutan secara eksperimen dan teoritis, nilai lendutan eksperimen paling besar terdapat pada variasi 3% yaitu sebesar 3,43 mm. Pada variasi 1% mengalami peningkatan perbandingan nilai lendutan secara ekperimental dengan secara teoritis sebesar 50,44%, sedangkan untuk variasi 3% mengalami peningkatan perbandingan nilai lendutan secara ekperimental dengan secara teoritis sebesar 28,86%. Variasi 3% memiliki nilai perbandingan nilai lendutan secara ekperimental dengan secara teoritis yang lebih kecil dibandingkan variasi 1%, hal ini menunjukkan bahwa variasi 1% merupakan variasi terbaik sebagai serat campuran beton. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat pembebanan terbesar terdapat pada variasi 1% yaitu sebesar 2330 kg, dilanjutkan dengan variasi 3% sebesar 2220 kg dan variasi 0% sebesar 1620 kg. Dari hasil tersebut menunjukkan serat ijuk dapat mengurangi nilai lendutan dari beton, sehingga beton lebih aman. Dan kadar optimum serat yang baik digunakan adalah 1%.

Tabel 2.3 Hasil pengujian nilai kuat lentur (Pertiwi,2017)

Variasi Serat Ijuk	Kuat Lentur (N/mm ²)		Selisih nilai Kuat Lentur Teoritis dan Eksperimen (N/mm ²)	Persentase Selisih nilai Kuat Lentur Teoritis dan Eksperimen (N/mm ²)	Peningkatan Kuat Lentur (N/mm ²)	Persentase Peningkatan Kuat Lentur (N/mm ²)
	Eksperimen	Teoritis				
0%	28,79	25	3,79	12,16	-	-
1%	32,22	25	7,22	28,88	3,43	11,91
3%	27,01	25	2,01	8,04	-1,78	-6,81

Tabel 2.4 Hasil nilai lendutan (Pertiwi,2017)

Variasi Serat Ijuk	Lendutan (Δ) (mm)		Selisih nilai lendutan Teoritis dan Eksperimen (mm)	Persentase Selisih nilai lendutan Teoritis dan Eksperimen (mm)	Penurunan (mm)	Persentase Penurunan (%)
	Eksperimen	Teoritis				
0%	4,11	3,44	-0,67	-19,48	-	-
1%	1,67	3,37	1,7	50,44	2,44	59,37
3%	2,44	3,43	0,99	28,86	1,67	40,63

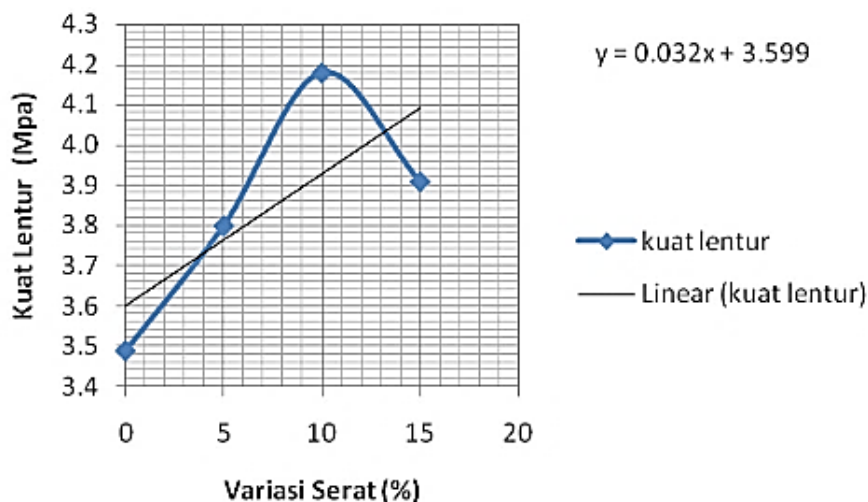


Gambar 2.2 Hubungan antara beban dan lendutan pada 3 variasi serat (Pertiwi,2017)

Amna dkk. (2014) dalam penelitian mengenai “Pengaruh Penambahan Serat Tandan Sawit terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh dari variasi serat tandan kelapa sawit terhadap kuat lentur dan kuat tekan beton. Variasi serat tandan kelapa sawit yang digunakan adalah 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat semen. Benda uji berbentuk balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tebal 15 cm sebanyak 12 buah dengan masing-masing variasi 3 buah benda uji. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Sebelum digunakan dilakukan pencucian dan perendaman terhadap serat dengan larutan HaOH selama 12 jam, setelah dikeringkan serat dipotong sepanjang 4 cm. Nilai FAS rencana sebesar 0,5 dan $f'c$ rencana sebesar 20 MPa. Pada Tabel 2.5 dapat dilihat kuat lentur beton dengan variasi serat 10% memiliki nilai kuat lentur tertinggi sebesar 4,18 MPa, namun pada variasi 15% terjadi penurunan kuat lentur menjadi 3,91 MPa. Hasil kuat lentur yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya variasi serat menunjukkan penggunaan baja pada beton dapat dikurangi dengan penggunaan serat tandan kelapa sawit.

Tabel 2.5 Hasil pengujian kuat lentur (Amna dkk., 2014)

NO	Serat (%)	Umur (Hari)	Slump (mm)	Kuat Lentur Rata-Rata (Mpa)
1	15	28	80	3,91
2	10	28	100	4,18
3	5	28	130	3,80
4	0	28	90	3,49

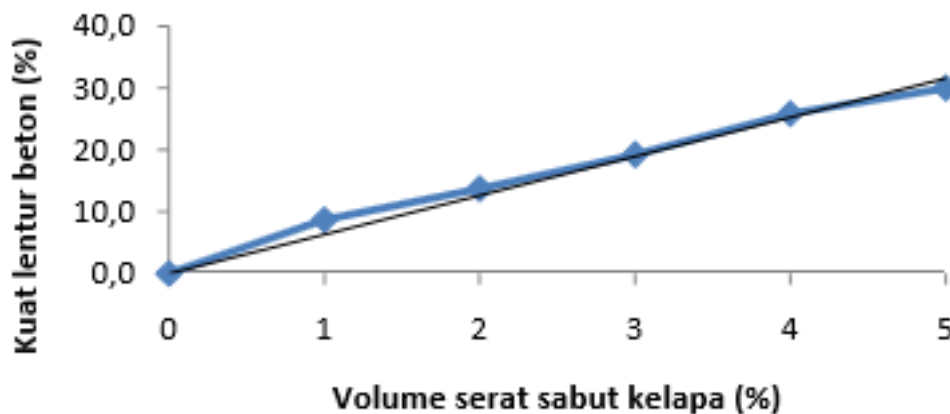


Gambar 2.3 Hubungan nilai kuat lentur dengan variasi serat (Amna dkk., 2014)

Elhusna dkk. (2011) dalam penelitian mengenai “Pengaruh Serat Sabut Kelapa terhadap Kuat Lentur Beton Dengan Faktor Air Semen 0,5”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi serat sabut kelapa terhadap kuat lentur beton sebagai bentuk pemanfaatan limbah sabut kelapa dilingkungan. Sabut kelapa memiliki kandungan 75% serat and 25% gabus, sifat dari sabut kelapa sendiri adalah tidak mudah patah, kuat terhadap gesekan, tahan terhadap air, tidak mudah diserang hama atau rayap, ulet dan tahan lama. Pada penelitian ini menggunakan benda uji dengan panjang 50 cm, lebar 10 cm dan tebal 10 cm sebanyak 18 buah, beton diuji setelah berumur 28 hari. Material yang digunakan dalam penelotian ini adalah semen tipe I merek semen Padang, pasir sebagai agregat halus, batu split sebagai agregat kasar dan serat sabut kelapa. Variasi serat sabut kelapa diambil dari volume benda uji sebesar 5%, 4%, 3%, 2%, 1% dan 0%. FAS yang digunakan sebesar 0,5. Serat sabut kelapa yang digunakan berukuran 1 cm. Dari Tabel 2.6 dapat dilihat peningkatan kuat lentur terhadap variasi serat sabut kelapa berbanding lurus, semakin besar variasi serat sabut kelapa yang digunakan semakin besar juga kuat lentur yang dihasilkan. Hasil tersebut dapat juga dilihat pada Gambar 2.4 yang memperlihatkan grafik perbandingan antara variasi serat sabut dengan hasil pengujian kuat lentur bersifat linier. Kuat lentur tertinggi terdapat pada variasi 5% sebesar 6,622 MPa dan kuat lentur terendah terdapat pada variasi 1% sebesar 5,077 MPa. Peningkatan kuat lentur beton yang dihasilkan pada variasi serat sabut kelapa 5% adalah 30% jika dibandingkan dengan hasil kuat lentur beton dengan variasi serat sabut kelapa 0%.

Tabel 2.6 Hasil pengujian kuat lentur beton 28 hari (Elhusna dkk., 2011)

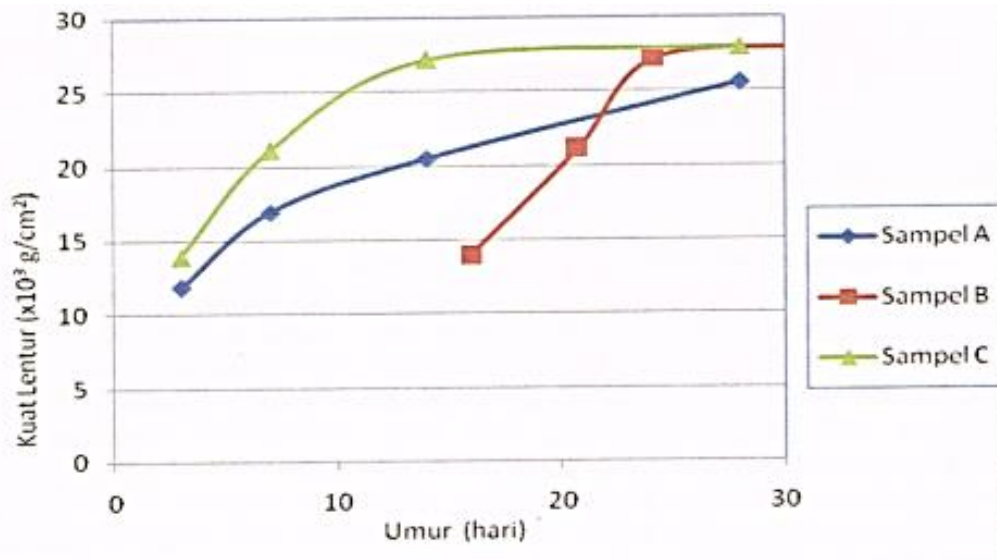
NO	Variasi serat sabut kelapa (%)	Kuat Lentur Rerata (Mpa)	Persentase peningkatan Kuat Lentur Beton Serat Terhadap Kuat Lentur Beton Normal (%)	Koefisien Varian	Deviasi Standar
1	0	4,635	0,00	8,25	0,382
2	1	5,077	8,70	4,35	0,221
3	2	5,371	13,70	2,37	0,127
4	3	5,739	19,20	3,85	0,221
5	4	6,254	25,90	4,08	0,255
6	5	6,622	30,00	3,33	0,221



Gambar 2.4 Hubungan peningkatan kuat lentur terhadap variasi serat sabut kelapa (Elhusna dkk., 2011)

Handani dkk. (2009) dalam penelitian mengenai “Pengaruh Panjang Serat Sabut Kelapa terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh panjang serat sabut kelapa terhadap kuat lentur beton. Benda uji yang digunakan memiliki panjang 22 cm, lebar 11 cm dan tebal 6 cm, pengujian dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Jumlah serat sabut kelapa yang digunakan dalam beton 10% dari volume semen dengan variasi panjang serat sabut kelapa yang digunakan adalah 1 cm, 3 cm dan 5 cm. menggunakan semen Portland tipe I, agregat kasar ukuran 5 mm-10 mm dan agregat halus ukuran 5 mm. dapat dilihat pada Gambar 2.5 nilai kuat lentur dengan panjang 1 cm (sampel A) sampai dengan panjang 3 cm (sampel B) terus mengalami peningkatan pada semua umur beton, hal ini dikarenakan serat dapat menambah kemampuan mengikat beton sehingga beton menjadi lebih elastis dan kuat dalam

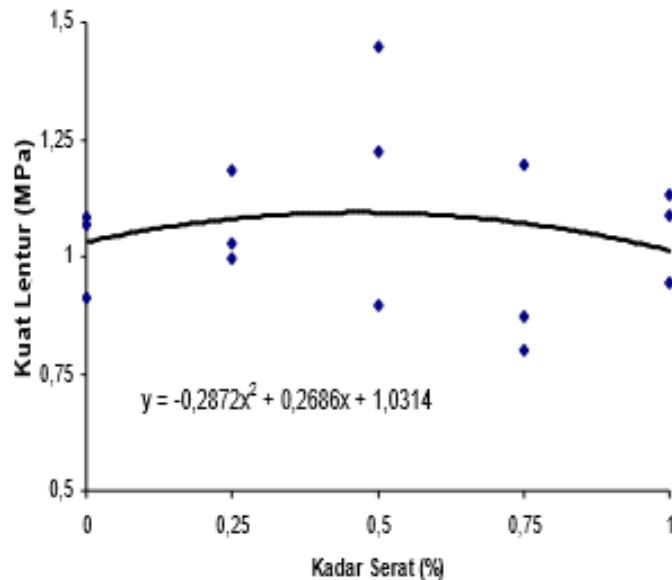
menerima beban. Namun, pada serat dengan panjang 5 cm (sampel C) terjadi penurunan nilai kuat lentur hal ini dikarenakan serat dengan panjang 5 cm lebih mudah menggumpal pada saat pengadukan yang menyebabkan tidak meratanya jumlah serat pada setiap sisi beton. Kuat lentur maksimum sebesar $29,95 \times 10^3$ g/cm³ terdapat pada panjang serat 3 cm umur 28 hari.



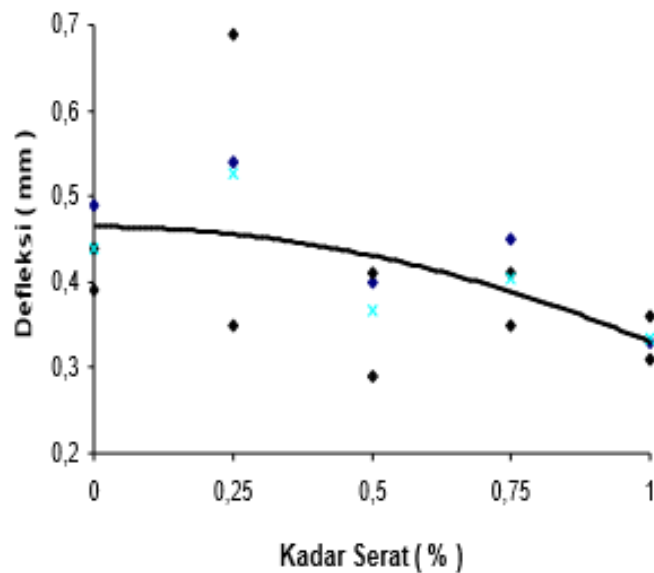
Gambar 2.5 Hasil pengujian kuat lentur terhadap panjang serat kelapa (Handani dkk., 2009)

Haryanto (2016) dalam penelitian mengenai “Pengaruh Serat Limbah Karpet terhadap Kuat Lentur Balok Beton Ringan Dari Alwa”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan beton ringan yang menggunakan agregat kasar ALWA dan tambahan serat limbah karpet dalam menahan beban. Penelitian ini menggunakan benda uji balok dengan panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tebal 15 cm, sebanyak 15 benda uji. Menggunakan variasi kadar serat limbah karpet sebesar 0%, 0,25%, 0,50%, 0,75%, dan 1 %. Zat tambahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *superplasticizer*. Dari Gambar 2.6 dapat dilihat nilai kuat lentur mengalami peningkatan sampai pada variasi 0,5% setelah itu kuat lentur mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan serat dapat menambah kekuatan beton dalam menerima beban namun jika kadar serat terlalu banyak dapat mengurangi daya ikat dari beton itu sendiri. Kuat lentur optimum terdapat pada variasi 0,5% sebesar 1,09 MPa. Pada Gambar 2.7 dapat dilihat semakin besar kadar serat pada beton ringan dari ALWA semakin kecil nilai defleksi yang dihasilkan. Nilai defelksi terkecil terdapat pada kadar serat 1% yaitu sebesar 0,33 mm. nilai tersebut

lebih kecil 24,32% dibandingkan dengan beton ringan dari ALWA tanpa campuran serat.



Gambar 2.6 Hasil pengujian kuat lentur terhadap kadar serat limbah karpet (Haryanto,2016)



Gambar 2.7 Hasil pengujian defleksi terhadap kadar serat limbah karpet (Haryanto,2016)

Pranoto dkk. (2014) dalam penelitian mengenai “Kapasitas Lentur Plat Beton Bertulangan Bambu Wulung Dengan Takikan Tidak Sejajar”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan bambu wulung sebagai tulangan dalam menahan beban dari pengujian kuat lentur. Penelitian ini menggunakan benda uji pelat dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 40 cm dan tebal

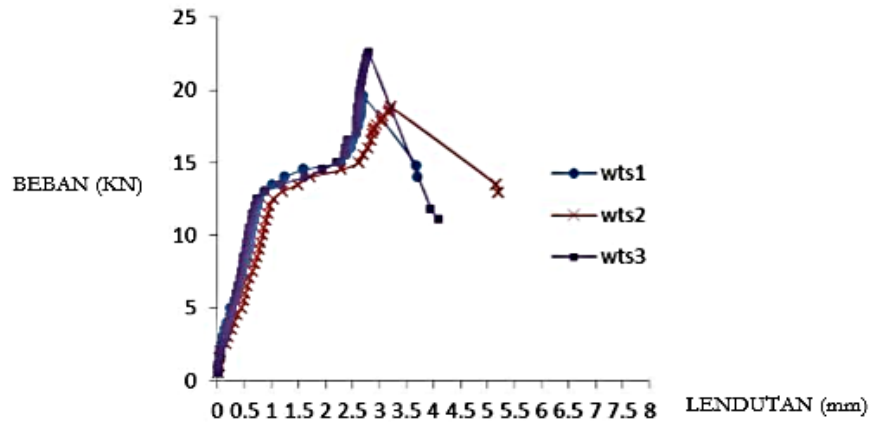
10 cm sebanyak 6 buah. Digunakan dua variasi tulangan yaitu pelat dengan tulangan baja berdiameter 8 mm dan pelat dengan tulangan bambu wulung, masing-masing varisai 3 benda uji. Bambu wulung yang digunakan memiliki lebar 2 cm dan tebal 0,6 cm. Pada pengujian ini digunakan 3 *dial gauge*, *dial gauge* 1 diletakkan pada jarak 34 cm dari bentang kanan, *dial gauge* 2 diletakkan pada jarak 22,5 cm dari bentang kanan (Ditengah plat), *dial gauge* 3 diletakkan pada jarak 17 cm dari bentang kanan. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8 dapat dilihat nilai kuat lentur rata-rata dengan penulangan bambu wulung sebesar 0,1759 ton.m (Tabel 2.7) dan nilai kuat lentur rata-rata dengan penulangan baja diameter 8 mm sebesar 0,5235 ton.m (Tabel 2.8). Pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 dapat dilihat grafik hubungan beban dengan lendutan. Pelat dengan tulangan bambu wulung memiliki nilai lendutan benda uji 1 sebesar 19,6 kN, benda uji 2 sebesar 18,8 kN dan benda uji 3 sebesar 22,6 kN, maka nilai beban maksimum rata-rata yang dihasilkan sebesar 20,33 kN (Gambar 2.8) sedangkan pelat dengan tulangan baja diameter 8 mm memiliki nilai lendutan benda uji 1 sebesar 64,5 kN, benda uji 2 sebesar 59 kN dan benda uji 3 sebesar 61,2 kN, maka nilai beban maksimum rata-rata yang dihasilkan lebih besar dari tulangan bambu wulung yaitu sebesar 61,57 kN (Gambar 2.9). Dari pengujian dapat dilihat bahwa penggunaan bambu wulung belum efektif sebagai pengganti tulangan baja karena kekuatan yang dihasilkan tidak dapat melebihi atau mendekati daripada kekuatan tulangan baja.

Tabel 2.7 Hasil pengujian kuat lentur bambu wulung (Pranoto dkk., 2014)

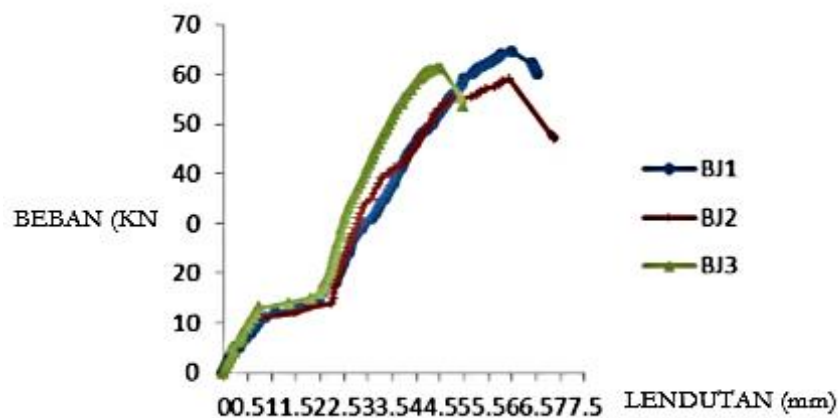
Benda Uji	Pmax (ton)	Mn (ton.m)
Bambu 1	1,96	0,11697
Bambu 2	1,88	0,1629
Bambu 3	2,26	0,2952
Rata-Rata		0,1759

Tabel 2.8 Hasil pengujian kuat lentur baja (Pranoto dkk., 2014)

Benda Uji	Pmax (ton)	Mn (ton.m)
Baja 1	6,45	0,5514
Baja 2	5,90	0,5046
Baja 3	6,12	0,5233
Rata-Rata		0,5236



Gambar 2.8 Perbandingan beban dengan nilai lendutan pada pelat tulangan bambu wulung (Pranoto dkk., 2014)



Gambar 2.9 Perbandingan beban dengan nilai lendutan pada pelat tulangan baja (Pranoto dkk., 2014)

Wirawan dkk. (2016) dalam penelitian mengenai “Analisis Petrografi Agregat Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Perkerasan Kaku”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kandungan mineral dari agregat terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton yang digunakan pada perkerasan kaku. Benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat lentur berukuran panjang 60 cm, lebar 16 cm dan tebal 15 cm. pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Pada perencanaan pencampuran beton digunakan FAS sebesar 0,4, 0,45 dan 0,5. Agregat yang digunakan berasal dari Kabupaten boyolali tepatnya di daerah Ampel dan Kota Magelang tepatnya di daerah Kramat. Berdasarkan Tabel 2.9 melalui pengujian kandungan mineral (petrografi) didapatkan bahwa agragat dari Ampel merupakan jenis batuan basalt dan agregat dari Kramat merupakan jenis batuan Andesit. Dari

Tabel 2.10 dapat dilihat bahwa agregat yang berasal dari batuan basalt lebih besar kuat lenturnya dibandingkan dengan agregat dari batuan andesit. Rata-rata nilai kuat lentur terbesar agregat dari batuan basalt dan batuan andesit terdapat pada fas 0,4 sebesar 5,24 MPa dan 4,83 MPa. Pada Tabel 2.10 dapat dilihat korelasi persentasi kandungan mineral didalam batuan terhadap hasil kuat lentur beton. Semakin banyak kandungan mineral di dalam suatu agregat maka semakin besar nilai kuat lenturnya.

Tabel 2.9 Hasil penjuan kuat lentur agregat batuan basalt dan agregat batuan andesit (Wirawan dkk., 2016)

FAS	Kuat Lentur Agregat Batuan Basalt (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)	Kuat Lentur Agregat Batuan Andesit (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
0,4	4,39	5,24	5,10	4,83
	5,54		4,92	
	5,80		4,48	
0,45	4,75	5,16	4,04	4,69
	5,10		4,48	
	5,63		5,54	
0,5	4,66	4,95	4,00	4,79
	4,92		5,19	
	5,27		5,19	

Tabel 2.10 Hubungan besar kandungan mineral agregat terhadap kuat lentur beton (Wirawan dkk., 2016)

Jenis Mineral	Andesit		Basalt	
	Persentase Kandungan (%)	Kuat Lentur (MPa)	Persentase Kandungan (%)	Kuat Lentur (MPa)
Plagioklas	40%		40%	
Piroksen	8%		15%	
Massa Dasar Gelas Vulkanik	35%	5,24	42%	4,83
Homblende	2%		0%	
Kalsium Feldspar	5%		0%	

Royani dkk. (2014) dalam penelitian mengenai “Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik, Kuat Lentur Dan Redaman Bunyi Pada Panel Dinding Beton Ringan Dengan Agregat Limbah Plastik Pet dan Limbah Serbuk Kayu”. Penelitian ini bertujuan untuk mengalisis penggunaan limbah plastik pet dan limbah serbuk kayu sebagai agregat kasar dan agregat halus dalam pengujian kuat lentur, kuat tekan, kuat tarik

dan redaman bunyi. Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini memiliki panjang 50 cm, tebal 3 cm dan lebar 30 cm sebanyak 3 buah. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Perbandingan limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu adalah 1:4. Pada Tabel 2.11 diketahui nilai kuat lentur rata-rata pelat panel sebesar 1,82 MPa, hal ini belum dapat memenuhi standar yang ditetapkan dalam SNI 03-6861.1-2002 yaitu sebesar 10 MPa. Oleh karena itu penggunaan limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu sebagai pengganti agregat dan pasir kurang tepat.

Tabel 2.11 Hasil kuat lentur beton agregat limbah plastik PET dan limbah serbuk kayu (Royani dkk., 2014)

Benda Uji	P max (kN)	σ_l (MPa)	σ_l rata-rata (MPa)
L1	1520,55	1,76	
L2	1530,36	1,78	1,82
L3	1677,51	1,94	

2.2. Dasar Teori

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 (BSN, 2002) beton merupakan sebuah campuran yang membentuk masa padat, campuran tersebut terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen Portland atau semen hidraulik lain dan air yang dicampurkan atau tidak dicampurkan dengan bahan tambahan. Beton harus dirancang agar menghasilkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan.

Berdasarkan ACI 522R-06 (ACI, 2006) beton non pasir (*pervious concrete*) adalah beton dengan nilai slump nol, dengan bahan campuran yang terdiri dari semen Portland, agregat kasar, sedikit atau tanpa agregat halus, bahan tambahan dan air. Dengan bahan campuran tersebut akan menghasilkan beton yang berpori dengan ukuran 2 mm sampai 8 mm, yang memudahkan air lolos dari permukaan beton.

Beton non pasir yang baik adalah beton yang tidak terpisahnya agregat (*segregasi*), tidak terpisahnya air dengan semen (*bleeding*), serta tidak terdapat kesulitan selama proses pengadukan bahan material, pemindahan ke dalam cetakan benda uji dan pemadatan beton. Beton yang baik adalah beton yang memiliki tingkat keawetan lama, tidak terjadi korosi, kuat dan mengalami perubahan volume yang kecil.

2.2.1. Kelebihan dan Kekurangan Beton Non Pasir

Kelebihan beton non pasir dibanding dengan beton normal adalah sebagai berikut :

- a. Lebih ringan daripada beton normal, karena beton non pasir memiliki lebih banyak rongga atau bisa dikatakan tingkat kepadatannya lebih rendah dibandingkan beton normal.
- b. Lebih ramah lingkungan, karena dengan banyaknya rongga pada beton air mudah lolos dan tidak menggenang diatas beton. Sehingga beton tersebut dapat digunakan pada sumur resapan dan pada perkerasan jalan dapat digunakan sebagai perkerasan di daerah yang sering banjir.
- c. Tidak membutuhkan banyak semen, karena tidak digunakannya pasir dalam proses pembuatannya.
- d. Lebih mudah dan sederhana proses pembuatannya.
- e. Tingkat penyusutan yang lebih tinggi daripada beton normal menyebabkan lebih rendahnya resiko keretakan pada beton non pasir.

Kekurangan beton non pasir dibandingkan dengan beton normal adalah sebagai berikut :

- a. Kekuatan yang lebih rendah dibandingkan beton normal dikarenakan beton non pasir lebih banyak rongga dibandingkan beton normal.
- b. Dikarenakan kekuatan yang lebih rendah dibandingkan beton normal, beton-non pasir tidak dapat digunakan pada semua pekerjaan struktur beton.
- c. Tidak dianjurkan menggunakan tulangan baja karena beton non pasir mudah mengalami korosi.
- d. Untuk lebih memperkuat beton non pasir, sebaiknya diberi tambahan material lain.
- e. Nilai FAS harus lebih dikontrol agar didapatkan adukan beton yang baik

2.2.2. Bahan Penyusun Beton

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 (BSN, 2002) campuran beton terdiri dari agregat kasar agregat halus, semen *portland* atau jenis semen hidraulik lain dan air yang dicampurkan atau tidak dicampurkan dengan bahan tambahan. Adapun bahan penyusun beton non pasir yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Agregat kasar

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 (BSN, 2002) agregat kasar adalah batu kerikil yang memiliki ukuran 5 mm – 40 mm. Adapun syarat agregat yang dapat digunakan dalam pembuatan beton berdasarkan SNI 03-6861-2002 (BSN, 2002), sebagai berikut :

- a. Kadar lumpur yang terdapat didalam agregat harus lebih kecil daripada 1%, jika lebih daripada 1% maka agregat kasar harus dilakukan pencucian terlebih dahulu.
- b. Nilai modulus halus butir (mhb) agregat kasar yang didapat setelah pengayakan menggunakan mesih *shaker* berada pada rentang 6-7,10. Agregat kasar harus memiliki ukuran yang beragam atau bergradasi menerus. Agregat harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut :
 1. Sisa dari pengayakan agregat tidak boleh lebih besar dari 60% dan kurang dari 10% berat total.
 2. Agregat yang tertahan pada saringan diameter 4,8 mm, besarnya berada pada rentang 90%-98%.
 3. Agregat yang tersisa ukurannya tidak boleh lebih dari 38 mm.
- c. Agregat kasar memiliki sifat yang tahan terhadap cuaca apapun. Untuk mengetahui ketahanan suatu agregat dapat dilihat berdasarkan syarat sebagai berikut :
 1. Tidak terdapat unsur yang dapat bereaksi dengan alkali atau unsur lain yang dapat merusak beton.
 2. Jumlah agregat yang hancur melalui pengujian dengan Natrium Sulfat tidak lebih dari 12%.
 3. Jumlah agregat yang hancur melalui pengujian dengan Magnesium Sulfat tidak lebih dari 10%.
- d. Agregat panjang dan pipih yang digunakan tidak boleh lebih dari 20% berat total agregat.
- e. Agregat tidak berpori dan berbutir keras. Pengujian dengan alat *Los Angels* dilakukan untuk mengetahui tingkat keausan dan kekerasan dari agregat kasar. Pada Tabel 2.12 dapat dilihat syarat dari hasil pengujian keausan dengan mesin *Los Angels*.

Tabel 2.12 Persyaratan agregat pada pengujian keausan dengan mesin *Los Angels* (BSN, 2002)

Kelas Berdasarkan Nilai Kekuatan Beton	Agregat yang hancur pada pengujian dengan Mesin <i>Los Angles</i> lolos ayakan 1,7 mm (%)	Agregat yang hancur pada pengujian dengan Bejana <i>Rudeloff</i> Maksimum bagian yang hancur, lolos ayakan 2 mm (%)	
		Ukuran butir	
		9,6 - 19 mm	19 - 30 mm
Kelas I ≤ 10 Mpa	50	32	30
Kelas II 10-20 MPa	40	24	22
Kelas III >20 Mpa	27	16	14

2. Agregat halus

Berdasarkan SNI 1970:2008 (BSN, 2008) agregat halus merupakan pasir yang berukuran 4,75 mm (No.4) yang berasal dari hasil pelapukan alami dari batuan atau dapat berasal dari industri pemecah batu.

Menurut Tjokrodinuljo (2010) adapun syarat-syarat agregat halus yang baik digunakan dalam struktur beton :

- a. Kaitan antar agregat harus baik yang ditandai dengan betuk butir agregat halus yang tajam dan keras.
- b. Agregat halus tidak boleh mudah hancur atau pecah oleh pengaruh cuaca atau bersifat kekal. Untuk mengetahui kekekalan dapat dilakukan pengujian nilai maksimum yang hancur dengan Magnesium sulfat maksimal 18% dan dengan natrium sulfat maksimal 12%.
- c. Modulus halus butir 1,50-3,80 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- d. Kadar lumpur dari agregat halus tidak boleh lebih dari 5% dari berat kering pasir. Kadar lumpur yang banyak dapat menurunkan kualitas dari beton.
- e. Bahan organik yang terdapat pada agregat halus tidak boleh terlalu banyak.
- f. Untuk beton dengan keawetan tinggi, agregat halus tidak dapat bereaksi dengan alkali.

3. *Fly ash*

Berdasarkan SNI 2460:2014 (BSN, 2014) *fly ash* adalah butiran halus yang berasal dari pembakaran batubara melalui aliran udara panas. *Fly ash* tidak memiliki sifat mengikat seperti semen, namun jika *fly ash* dicampurkan dengan cairan alkalin maka akan menimbulkan reaksi kimia sehingga membentuk sifat

seperti semen. Ada 3 tipe kelas *fly ash* berdasarkan SNI 2460:2014 (BSN, 2014), yaitu :

- a. Kelas N yaitu *fly ash* yang berasal dari batu rijang berupa serpih atau bongkahan, tanah hasil pelapukan, batu apung, *tufa*, atau abu vulkanik dimana bahan tersebut termasuk kedalam pozolan alam, baik yang belum dikalsinasi ataupun yang telah dikalsinasi sampai diperoleh sifat *fly ash* yang sesuai, seperti serpih dan lempung.
- b. Kelas F yaitu *fly ash* yang utamanya berasal dari pembakaran batubara jenis *bituminous* dan pembakaran *antasiit*, namun *fly ash* tipe ini dapat pula berasal dari pembakaran batubara jenis *lignite* dan batubara jenis *subbituminous*. Kelas F memiliki sifat pozolanik.
- c. Kelas C yaitu *fly ash* yang utamanya berasal dari pembakaran batubara jenis *lignite* dan batubara jenis *subbituminous*, namun *fly ash* tipe ini dapat juga berasal dari pembakaran batubara jenis *bituminous* dan pembakaran *antasiit*. *Fly ash* kelas C memiliki kadar CaO (kalsium oksida) total diatas 10%.

Adapun persyaratan kimia (Tabel 2.13) dan persyaratan fisik (Tabel 2.14) yang telah disyaratkan sesuai SNI 2460:2014 (BSN, 2014).

Tabel 2.13 Syarat kimia *fly ash* (BSN, 2014)

No	Syarat Kimia	Kelas		
		N	F	C
1	Kandungan minimum SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	70	70	60
2	Kandungan maksimum SO ₃ (%)	4	5	5
3	Kadar air maksimum (%)	3	3	3
4	Nilai maksimum hilang pijar (%)	10	6	6

Tabel 2.14 Syarat fisik *fly ash* (BSN, 2014)

No	Syarat Fisik	Kelas		
		N	F	C
1	Kehalusan : Jumlah maksimum <i>fly ash</i> yang diayak dalam keadaan basah dengan ayakan No. 325 (45 mm) (%)	34	34	34
2	Indeks aktifitas kekuatan : Minimal nilai persen kontrol dengan semen <i>porttland</i> , pada umur 7 hari (%)	75	75	75
	Minimal nilai persen kontrol dengan semen <i>porttland</i> , pada umur 28 hari (%)	75	75	75
	Maksimal nilai persen kontrol pada kebutuhan air (%)	115	105	105
3	Kekekalan bentuk (<i>soundness</i>): Maksimal nilai penyusutan dengan <i>autoclave</i> (%)	0,8	0,8	0,8

Tabel 2.15 Syarat fisik *fly ash* (BSN, 2014) (lanjutan)

No	Syarat Fisik	Kelas		
		N	F	C
4	Persyaratan keseragaman Variasi maksimal densitas dan kehalusan sampel (%)	5	5	5
5	Persentase maksimal <i>fly ash</i> tertahan di saringan no. 325	5	5	5

4. Semen *Portland*

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 (BSN, 2004) Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling kalsium silikat yang bersifat hidrolis bersama dengan tambahan kristal senyawa kalsium sulfat dan bahan tambahan lain. Menurut Tjokrodimuljo (2010) Pasta semen yang berasal dari campuran antara semen dan air berfungsi untuk mengikat seluruh bahan campuran semen menjadi massa yang kompak. Pasta Semen dihasilkan dari campuran antara semen dengan air, mortar merupakan campuran antara semen, air dan pasir sedangkan beton merupakan campuran dari semen, air, pasir dan kerikil.

Menurut Tjokrodimuljo (2010) sebagian besar unsur semen *portland* adalah kalsium silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) sebesar 75%. Persentase unsur kimia semen *portland* dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.16 Persentase kandungan unsur kimia semen (Tjokrodimuljo, 2010)

No	Unsur Kimia	Persentase
1	Sulfur (SO_3)	1-2
2	Soda/potash, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0,5-1
3	Silika (SiO_2)	17-25
4	Magnesia (MgO)	0,5-4
5	Kapur (CaO)	60-65
6	Besi (Fe_2O_3)	0,5-6
7	Alumina (Al_2O_3)	3-8

Reaksi dari pencampuran semen dengan air adalah rekasi hidrasi. Hidrasi semen merupakan proses dari pertemuan antara alumina dan silika dengan air, sehingga menimbulkan panas pada bagian dalam beton sedangkan bagian luar beton telah dingin. Reaksi hidrasi menghasilkan *tobermorite* atau $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ atau CHS atau $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ dan kapur bebas $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 (BSN, 2004) tentang Semen *Portland*, terdapat lima jenis semen *Portland* yaitu :

1. Jenis I yaitu semen *portland* yang penggunaannya tidak ada ketentuan khusus, dan biasa dipergunakan untuk umum.
2. Jenis II yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Terdapat 2 syarat mutu semen Portland berdasarkan SNI 15-2049-2004 (BSN, 2014) yaitu syarat kimia (Tabel 2.16 dan Tabel 2.17) dan syarat fisika (Tabel 2.18 dan Tabel 2.19).

Tabel 2.17 Syarat mutu kimia semen *Portland* (BSN, 2004)

No.	Syarat Kimia	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Maksimum unsur Al_2O_3 (%)	-	6,0	-	-	-
2	Maksimum unsur Fe_2O_3 (%)	-	6,0	-	6,5	-
3	Maksimum unsur MgO (%)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
4	Maksimum unsur SO_3 (%)					
	Jika $C_3A \leq 8,0$	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika $C_3A > 8,0$	3,5	-	4,5	-	-
5	Maksimum unsur C_3S (%)	-	-	-	35	-
6	Maksimum unsur C_3A (%)	-	8,0	15	7	5
7	Maksimum unsur $C_4AF + 2C_3A$ atau $C_4AF + C_2F$ (%)	-	-	-	-	25
8	Minimum unsur C_2s (%)	-	-	-	40	-
9	Minimum unsur SiO_2 (%)	-	20	-	-	-
10	Maksimum hilang pijar (%)	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
11	Maksimum bagian tidak larut (%)	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5

Tabel 2.18 Syarat mutu kimia tambahan semen *Portland* (BSN, 2004)

No.	Unsur Kimia	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Maksimum unsur C_3A (%)	-	-	8	-	-
2	Maksimum unsur $(C_3S + 2C_3A)$ (%)	-	58	-	-	-
3	Maksimum unsur Alkali ($Na_2O + 0,658 K_2O$) (%)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
4	Minimum unsur C_3A (%)	-	-	5	-	-

Tabel 2.19 Syarat mutu fisika semen *Portland* (BSN, 2004)

No.	Syarat Fisika	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Dilakukan pengujian permeabilitas udara untuk mengetahui kehalusan butir dengan alat:					
	a. Nilai minimum dengan alat Turbidi meter (m^2/kg)	160	160	160	160	160
	b. Nilai minimum dengan alat Blaine (m^2/kg)	280	280	280	280	280
2	Waktu ikat dilihat menggunakan 2 alat, yaitu :					
	a) Gilimore					
	a. Minimal waktu ikat awal (menit)	60	60	60	60	60
	b. Maksimum waktu ikat akhir (menit)	600	600	600	600	600
	b) Vicat					
	a. Minimal waktu ikat awal (menit)	45	45	45	45	45
	b. Maksimum waktu ikat akhir (menit)	375	375	375	375	375
3	Nilai maksimal pemuaiian dengan autoclave (%)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
4	Nilai kuat tekan minimum (kg/cm^2)					
	a. Umur 1 hari	-	-	120	-	-
	b. Umur 3 hari	135	100	240	-	80
	c. Umur 7 hari	215	175	-	70	150
	d. Umur 28 hari	300	-	-	170	210

Tabel 2.20 Syarat mutu fisika tambahan semen *Portland* (BSN, 2004)

No.	Syarat Kimia	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Minimum Pengikatan semu Penetrasi akhir (%)	50	50	50	50	50
2	Minimum nilai kuat tekan umur 28 hari (kg/cm^2)	-	280	-	-	-
3	Maksimum kandungan udara mortar (%)	12	12	12	12	12
4	Maksimum pemuaiian karena sulfat 14 hari (%)	-	220	-	-	0,04
5	Maksimum panas hidrasi umur 7 hari (kal/gram)	-	70	-	60	-
	Maksimum panas hidrasi umur 28 hari (kal/gram)	-	-	-	70	-

Berdasarkan SNI 15-0302-2004 (BSN, 2004) Semen *Portland Pozzolan* adalah semen yang didalamnya terdiri atas campuran semen hidrolis dengan *pozzolan*, penggunaan *pozzolan* dalam semen berada pada kisaran 6% - 40 % dari massa berat semen *portlan pozzolan*. Adapun *pozzolan* berdasarkan SNI 15-0302-2004 (BSN, 2004) merupakan suatu bahan kimia yang pada dasarnya tidak memiliki sifat seperti semen, namun setelah *pozzolan* bercampur dengan air maka

senyawa tersebut berubah menjadi sama dengan senyawa pada semen. Zat kimia didalam *Pozzolan* diantara *silica*, *ferum* dan *alumina* ($SiO_2 + F_2O_3 + Al_2O_3$).

Pada pengujian ini digunakan semen *portland pozzolan* jenis I yaitu semen *portland pozzolan* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyarat khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

5. Air

Air merupakan bahan penting dalam pencampuran material beton. Air berfungsi untuk mencampurkan agregat dengan material lainnya serta membentuk reaksi dengan semen. Adapun ketentuan penggunaan air dalam pencampuran beton berdasarkan SNI 03-2847-2002 (BSN, 2002):

- a. Air yang digunakan harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang memiliki kandungan asam, alkali, oli, bahan organik, garam ataupun bahan lain yang dapat merusak beton dan tulangan beton.
- b. Selain bersih air juga harus dapat diminum, kecuali telah memenuhi syarat sebagai berikut :
 1. Menggunakan pemilihan proporsi campuran beton yang memiliki sumber air yang sama.
 2. Pengujian kuat tekan kubus mortar pada umur 7 hari dan 28 hari beton dengan air yang tidak dapat diminum harus memenuhi minimal 90% kuat tekan beton kubus mortar dengan air yang dapat diminum.
- c. Untuk beton prategang atau beton yang menggunakan logam alumunium, air harus bebas ion klorida dalam jumlah berlebih.

Berdasarkan ACI 522R-06 (ACI, 2006) fas dapat mempengaruhi kemudahan pengerjaan (*workability*) dari beton non pasir. Semakin kecil nilai fas yang digunakan semakin buruk *workability* yang dihasilkan dan semakin besar nilai fas yang digunakan semakin baik *workability* yang dihasilkan. namun nilai fas yang berlebihan dapat memperburuk beton non pasir karena dapat menyebabkan pasta semen mengendap di dasar beton dan terjadi penyumbatan pori-pori pada dasar beton, nilai fas yang terlalu kecil juga dapat mengurangi daya rekat antara air, agregat kasar dan semen yang digunakan. Di dalam ACI 522R-06 (ACI, 2006) telah ditentukan nilai fas yang digunakan dalam beton non pasir berkisar antara 0,26 – 0,45.

6. Bahan tambahan

Menurut Tjokrodimuljo (2010) bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan dengan mengubah sifat-sifat dari beton tersebut pada saat pengadukan atau proses pengecoran. Bahan tambahan berupa cairan atau zat kimia terbagi menjadi 7 jenis berdasarkan ASTM C.494 (ASTM, 1995), yaitu :

- a. Tipe A merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air dalam campuran beton untuk mendapatkan beton dengan konsistensi sesuai yang diinginkan. Tipe A digunakan dengan tidak mengubah nilai FAS beton dan kadar semen agar dihasilkan beton dengan nilai *slump* yang tinggi sehingga dapat memperlambat waktu penuangan adukan dan mempermudah proses penuangan adukan. Atau mengurangi nilai *slump* dan kadar semen agar didapatkan adukan beton dengan nilai FAS yang rendah sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton.
- b. Tipe B merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk memperlambat waktu pengikat beton. Tipe B biasa digunakan untuk menghindari *cold joint* dengan memperpanjang waktu pematangan, menghindari penurunan beton saat pengecoran dan digunakan saat kondisi cuaca panas.
- c. Tipe C merupakan bahan tambahan yang berfungsi menambah kekuatan awal beton dan mempercepat waktu pengikat beton sehingga dapat mengurangi waktu pengeringan beton. Tipe C terdiri dari senyawa-senyawa garam diantaranya klorida, karbonat, *bromide*, silikat dan *tri-etanolamin*. Senyawa Tipe C yang paling terkenal adalah kalsium klorida. Penggunaan kalsium klorida maksimum 2% dari berat semen dan tidak digunakan pada tulangan baja dapat mengalami korosi.
- d. Tipe D merupakan bahan tambahan yang berfungsi memperlambat waktu pengikat beton dengan mengurangi jumlah air sehingga didapatkan konsistensi beton sesuai yang diinginkan. Penggunaan Tipe D pada campuran beton dilakukan dengan mengurangi jumlah semen setara dengan jumlah air yang dikurangi, dengan perbandingan semen dan agregat tidak berubah. Penggunaan Tipe D dapat meningkatkan nilai kekuatan beton.

- e. Tipe E merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk menambah kekuatan awal beton, mempercepat waktu pengikat beton dan mengurangi jumlah air dan campuran beton sehingga didapatkan konsistensi beton tertentu. Penggunaan Tipe E digunakan dengan nilai FAS yang tetap dengan kadar air yang dikurangi, dengan cara mengurangi jumlah air dan jumlah semen yang digunakan, pengurangan jumlah semen setara dengan pengurangan jumlah air. Tidak boleh terjadi perubahan pada perbandingan semen dan agregat. Penggunaan Tipe E dapat menghasilkan beton dengan nilai kuat tekan tinggi dengan kecepatan pengikat tinggi.
- f. Tipe F merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk mengurangi 12% atau lebih jumlah air dalam campuran beton sehingga didapatkan konsistensi beton sesuai yang ingin diterapkan. Bahan tambahan Tipe F dapat berupa *superplasticizer*.
- g. Tipe G merupakan bahan tambahan yang berfungsi untuk memperlambat waktu pengikat beton dan mengurangi 12% atau lebih jumlah air dalam campuran beton sehingga didapatkan konsistensi beton sesuai yang ingin diterapkan. Bahan tambahan Tipe G dapat berupa *superplasticizer* dengan penundaan waktu pengikat beton.

Dalam pengujian ini digunakan bahan tambahan katageori *superplasticizer* yaitu *Sika Viscocrete 1003*. Berdasarkan ACI 522R-06 (ACI, 2006) *Superplasticizer* dapat mengurangi air hingga 30% dari volume total, mengurangi pemisahan agregat, mengurangi pemisahan semen dan air, memperbaiki ketahanan karbonasi dan memperbaiki penyusutan.

2.2.3. Pengujian Agregat Kasar

1. Pengujian keausan agregat

Berdasarkan SNI 2417:2008 (BSN, 2008) keausan agregat adalah perbandingan antara berat agregat kasar yang tergerus oleh bola baja dengan berat total agregat kasar. Pengujian keausan menggunakan alat abrasi *Los Angeles* yaitu alat yang terbuat dari pelat baja dengan panjang 711 mm dan lebar 508 mm dan diputar sebanyak 500 putaran dengan kecepatan berputar tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk melihat ketahanan suatu agregat kasar terhadap beban yang disimulasikan dengan bola-bola baja serta ketahanan terhadap cuaca. Berat bola

baja sendiri sebesar 390 gr – 445 gr. Saringan yang digunakan dalam uji keausan adalah saringan 1,70 mm (No. 12).

Berdasarkan SNI 2417:2008 (BSN, 2008) hasil pengujian keausan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1.

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100 \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan,

a = berat uji awal (gram)

b = berat uji tertahan saringan ukuran 1,70 mm (No.12) (gram)

2. Pengujian berat satuan

Pengujian berat satuan adalah perbandingan antara total berat isi benda uji dengan volume cetakan benda uji, yang berkisar antara 1300 kg/m³ - 1600 kg/m³. Pengujian ini bertujuan untuk perencanaan campuran beton non pasir.

Hasil pengujian berat satuan agregat kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.2.

$$\text{Berat satuan} = \frac{b}{v} \times 100 \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan,

b = berat total isi benda uji (kg)

v = volume benda uji (m³)

3. Pengujian kadar air agregat

Berdasarkan SNI 03-1971-1990 (BSN, 1990) kadar air agregat adalah perbandingan antara besarnya air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam kondisi kering yang dinyatakan dalam persen. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan air dalam suatu agregat.

Berdasarkan Berdasarkan SNI 03-1971-1990 (BSN,1990) hasil pengujian kadar air agregat kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan,

P = kadar air agregat kasar (%)

W₁ = massa agregat sebelum dioven (gram)

W₂ = massa agregat setelah dioven (gram)

4. Pengujain berat jenis dan penyerapan agregat

Berdasarkan SNI 1969:2008 (BSN, 2008) berat jenis adalah perbandingan ataran berat satuan suatu bahan dengan volume air. Penyerapan agregat adalah proses meresapnya air kedalam pori-pori agregat sehingga menyebabkan bertambahnya berat dari agrgat tersebut. Pengujian ini bertujuan untuk perencanaan campuran beton dan mengetahui jenis agregat yang digunakan. Selain itu tujuan dari pengujian berat jenis adalah sebagai berikut :

- a. Untuk menganalisis nilai berat jenis curah kering (*bulk specific gravity*) dengan melakukan perbandingan berat agregat kering oven dengan berat total volume suatu agregat.
- b. Untuk menganalisis nilai berat jenis curah kering permukaan (*bulk specific gravity SSD*) dengan melakukan perbandingan berat agregat kering permukaan (*SSD*) dengan berat total volume suatu agregat.
- c. Untuk meng analisis nilai berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dengan melakukan perbandingan berat agregat kering oven terhadap volume total agregat.
- d. Untuk menganalisis nilai penyerapan air (*absorpsi*) dengan melakukan perbandingan berat air dengan berat agregat pada kondisi kering oven.

Berdasarkan SNI 03-1971-1990 (BSN, 1990) hasil pengujian berat jenis curah kering (*bulk specific gravity*), berat jenis curah kering permukaan (*bulk specific gravity SSD*, nilai berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dan penyerapan air (*absorpsi*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.4, Persamaan 2.5, Persamaan 2.6 dan Persamaan 2.7.

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{a}{b-c} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Berat jenis curah kering permuukaan} = \frac{b}{b-c} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{a}{a-c} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{b-a}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan,

a = berat benda uji kering oven (gram)

b = berat benda uji kering permukaan (gram)

c = berat benda uji didalam air (gram)

2.2.4. Perencanaan campuran beton non pasir

Untuk mengetahui kebutuhan campuran beton maka dilakukan perencanaan campuran beton (*mix design*), perencanaan campuran beton juga dilakukan untuk mendapatkan campuran yang ekonomis dan memiliki *workability* yang baik. Pada perencanaan beton non pasir menggunakan acuan ACI 522R-06 (ACI, 2006). Adapun langkah-langkah perencanaan adukan beton berdasarkan ACI 522R-06 (ACI, 2006) sebagai berikut :

1. Penentuan nilai fas. Semakin besar nilai fas maka semakin kecil kekuatan beton dan semakin kecil nilai fas semakin baik kekuatan beton yang dihasilkan. Nilai fas yang baik digunakan berkisar antara 0,26-0,45.
2. Penentuan perbandingan semen, agregat kasar dan fly ash. Beton non pasir hanya menggunakan semen dan agregat kasar. Namun, untuk penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai *filler* dengan 3 variasi *fly ash* yaitu 20%, 40% dan 60%. Perbandingan semen : agregat : *fly ash* yang digunakan dalam pengujian ini adalah 1:5:0,2 (untuk kadar *fly ash* 20%), 1:5:0,4 (untuk kadar *fly ash* 40%) dan 1:5:0,6 (untuk kadar *fly ash* 60%).
3. Kebutuhan setiap material untuk 1 m³ dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W_k = \frac{\text{perbandingan agregat}}{\text{jumlah perbandingan total}} \times W_{sk} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$W_s = \frac{\text{perbandingan semen}}{\text{jumlah perbandingan total}} \times W_{ss} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$W_f = W_{\text{semen}} \times \text{Persentase } \textit{fly ash} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$W_a = \text{FAS} \times W_s \dots \dots \dots (2.13)$$

dengan,

W_k = berat kerikil/split (kg/m³)

W_s = berat semen (kg/m³)

W_f = berat *fly ash*

W_a = volume air (liter)

W_{sk} = berat satuan kerikil/split (kg/m³)

W_{ss} = berat satuan semen (kg/m³)

FAS = faktor air semen

2.2.5. Pengujian *Slump* Beton

Berdasarkan SNI 1972:2008 (BSN, 2008) *slump* adalah pengukuran penurunan ketinggian permukaan campuran beton yang berasal dari pengangkatan cetakan uji *slump*. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan campuran beton segar kedalam cetakan uji *slump* yang memiliki tinggi 305 mm, diameter bawah 203 mm dan diameter atas 102 mm. Dilakukan penusukan beton segar sebanyak 25 kali setiap sepertiga tinggi cetakan, yang berguna untuk pemadatan beton di dalam cetakan. Setelah penuh, angkat cetakan dan ukur tinggi *slump*. Nilai *slump* didapatkan dari selisih antara tinggi cetakan dan tinggi penurunan beton.

Nilai *slump* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar *workability* atau kemudahan pengerjaan dari beton segar. Semakin besar nilai *slump* maka semakin mudah pengerjaannya dan semakin kecil nilai *slump* maka semakin sulit pengerjaannya. Berdasarkan ACI 522R-06 (ACI, 2006) beton non pasir memiliki nilai *slump* 0 cm. Nilai fas dapat mempengaruhi nilai *slump*, beton segar dengan nilai *slump* tinggi memiliki nilai fas besar dan beton segar dengan nilai *slump* rendah memiliki nilai fas kecil.

2.2.6. Pengujian Kuat Lentur Beton

Berdasarkan SNI 03-4154-1996 (BSN, 1996) kuat lentur adalah momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang benda uji yang menghasilkan nilai tegangan tarik. Pengujian kuat lentur pada penelitian ini dilakukan dengan beban terpusat di tengah betang benda uji. Pengujian kuat lentur dalam penelitian ini dilakukan pada umur 28 hari.

Berdasarkan SNI 4145:2014 (BSN, 2014) dapat dilihat rumus untuk menghitung modulus runtuh.

$$\sigma = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan,

σ = Kuat Lentur (Mpa)

P = Beban maksimum mesin uji (N)

L = Panjang bentang (mm)

b = Lebar rata-rata specimen di daerah runtuh (mm)

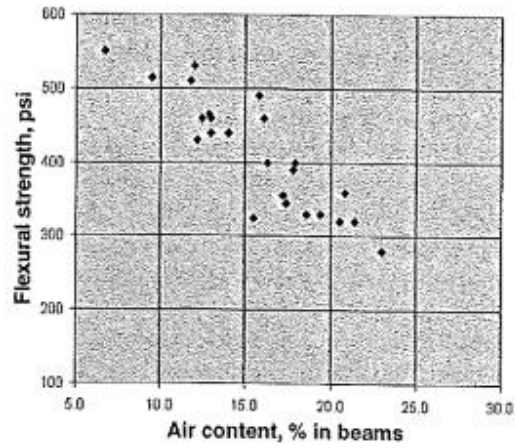
d = Tinggi rata-rata specimen di daerah runtuh (mm)

2.2.7. Perawatan Beton

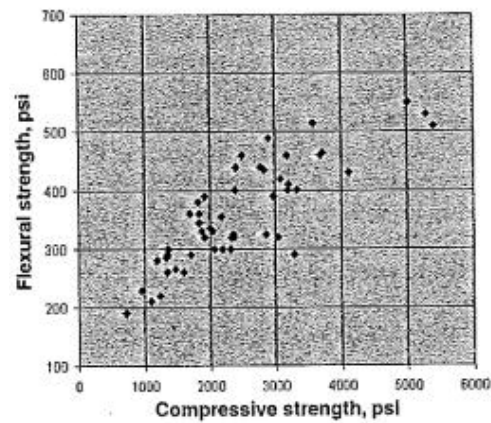
Setelah dilakukan pencetakan terhadap campuran beton. SNI 2493:2011 (BSN, 2011) beton ditunggu selama 24 jam \pm 8 jam untuk dilepas dari cetakan. Sebelum dilepas dari cetakan bagian atas dari cetakan beton diberi penutup dari plastik dan karung goni basah guna mencegah penguapan air sebelum beton mengeras. Setelah dilepas dari cetakan, dilakukanlah proses perawatan beton. Lingkungan perawatan yang diperlukan benda uji beton adalah dengan cara dirawat basah dengan suhu udara berkisar $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$. dengan cara direndam didalam air. Selama 48 jam beton harus terbebas dari getaran. Pada penelitian ini perawatan beton dilakukan dengan cara menutupi benda uji dengan karung goni dan dibasahi. Tujuan dari perawatan beton adalah untuk menghambat hidrasi yang terjadi didalam beton, karena jika hidrasi terlalu cepat beton mudah retak. Proses hidrasi sendiri akan mencapai kestabilan pada umur 28 hari.

2.2.8. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Lentur

Berdasarkan ACI 522R-06 (ACI, 2006) kuat lentur dapat dipengaruhi oleh persentase rongga udara, dapat dilihat pada Gambar 2.10 grafik hubungan nilai kuat lentur dengan persentase rongga udara, semakin besar persentase rongga udara semakin kecil nilai kuat lenturnya, semakin kecil persentase rongga udara semakin besar nilai kuat lenturnya. Selain persentase rongga udara nilai kuat tekan beton non pasir dapat pula mempengaruhi nilai kuat lenturnya, dapat dilihat pada Gambar 2.11 dapat dilihat grafik hubungan kuat tekan dengan kuat lentur beton non pasir. Semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin tinggi juga nilai kuat lenturnya dan semakin rendah nilai kuat tekannya semakin rendah juga nilai kuat lenturnya. Nilai kuat lentur dipengaruhi juga oleh nilai fas, jika nilai fas terlalu besar akan menyebabkan terjadinya pemisahan agregat dengan air dan pemisahan agregat dengan semen. Yang selanjutnya terjadi adalah semen dan air akan mengendap ke bawah cetakan menyebabkan kurangnya daya ikat antara agregat. Sedangkan nilai fas yang terlalu kecil menyebabkan sulit tercampurnya bahan penyusun dari beton itu sendiri, bahan yang sulit tercampur membuat sulitnya dilakukan proses pemadatan di dalam cetakan. Sehingga beton yang padat tersebut dapat juga mengurangi kekuatan dalam menerima beban. Dikarenakan kuat lentur dapat dipengaruhi oleh kuat tekan, maka nilai fas dapat juga mempengaruhi kuat lentur.



Gambar 2.10 Grafik hubungan antara persentase rongga udara dengan nilai kuat lentur beton non pasir (ACI, 2006)



Gambar 2.11 Grafik hubungan antara nilai kuat lentur dengan nilai kuat tekan beton non pasir (ACI, 2006)