

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan terkait pelat beton diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas lentur pelat beton bertulang bambu petung polos (Hantara dkk., 2014).
2. Kontribusi kuat lentur polikarbonat pada pelat beton berpori (Nurtanto dkk., 2016).
3. Analisis dan eksperimen pelat beton bertulang bambu lapis *styrofoam* (Lailasari dkk., 2015).
4. Pengaruh serat sabut kelapa terhadap kuat lentur beton dengan faktor air semen 0,5 (Elhusna dkk., 2011).
5. Pengujian kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton ringan beragregat kasar (batu apung) dan abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen (Rahamudin dkk., 2016).
6. Pengaruh substitusi agregat kasar dengan serat ampas tebu terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton k-350 (Rahmi dkk., 2015).
7. Karakteristik kuat lentur beton ringan akibat penambahan *styrofoam* pada desain campuran beton (Suryanita dkk., 2014).
8. Pengaruh serat limbah karpet terhadap kuat lentur balok beton ringan dari alwa (Haryanto., 2016).
9. Karakteristik beton pada perkerasan kaku dengan pemanfaatan air es dan fly ash terhadap kuat lentur dan kuat tekan (Paripurna dkk., 2017).
10. Pengaruh penambahan serat tandan sawit terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton (Amna dkk., 2014).
11. Pengaruh serat local terhadap kuat tekan dan kuat lentur reactive powder concrete dengan teknik perawatan penguapan (Kushartomo dan Christianto., 2015)

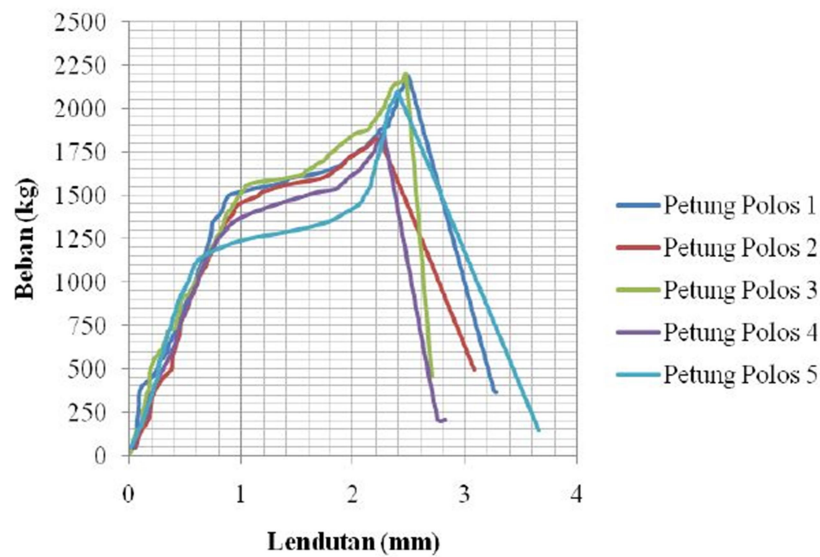
Pada penelitian ini akan meneliti tentang analisis kuat lentur pelat beton non pasir untuk kontruksi jalan raya. Pada penelitian ini yang membedakan dengan penelitian-penelitian sebelumnya adalah campuran pada benda uji akan

ditambahkan bahan tambah *superplastisizer* merk *Viscocrete 1003* dengan kadar 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5%. Penggunaan bahan tambah *superplastisizer* merk *Viscocrete 1003* berfungsi untuk mengurangi air dengan tidak mengubah kadar semen yang ditentukan sehingga dapat menghasilkan *slump* yang lebih tinggi untuk mempermudah proses pekerjaan di lapangan. Selain itu, agregat untuk benda uji yang digunakan adalah 1cm sampai dengan 2 cm dengan fas 0,35. Benda uji tidak menggunakan agregat halus (pasir) dan tidak memakai tulangan. Perbandingan agregat dan semen adalah 5:1. Demikian uraian singkat tentang penelitian ini dan penelitian ini dijamin asli.

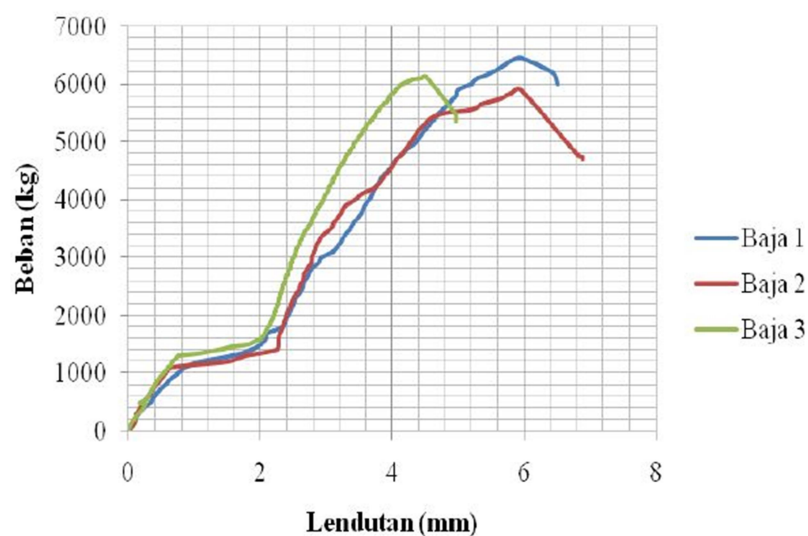
2.1.1. Penelitian Terdahulu Tentang Kuat Lentur Beton

Hantara dkk. (2014) melakukan penelitian dengan judul “ Kapasitas Lentur Plat Beton Bertulang Bambu Petung Polos” yang meliputi pengujian bahan, kuat tarik, kuat tekan, *Modulus of Rupture* (MOR), *Modulus of Elasticity* (MOE), kadar air bambu, kerapatan bambu, dengan ukuran benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dan ukuran dimensi pelat beton yaitu 600 mm × 400 mm × 100. Kuat tekan yg direncanakan adalah 15 MPa untuk benda uji silinder. Pengujian kuat lentur pelat akan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Pada peneitian ini menggunakan metode eksperimental dan dillakukan pengujian di laboratorium. Pengujian pelat berjumlah 3 buah dengan tulangan baja dan 5 buah dengan tulangan bambu petung polos. Pengujian-pengujian ini diawali dengan pengujian kuat tekan, kuat tarik, MOR (*Modulus of Rupture*) dan MOE (*Modulus of Elasticity*) untuk tulangan bambu petung dan uji tarik baja, serta pengujian beban, lendutan, momen, dan kapasitas lentur pada pelat. Dari hasil pengujian didapatkan beberapa hasil yaitu grafik untuk hubungan beban dan lendutan untuk tulangan bambu petung polos dan tulangan baja dapat dilihat di Gambar 2.1 dan Gambar 2.2. Hasil pengujian tarik baja menghasilkan tegangan leleh sebesar 355,4460 MPa, sedangkan pengujian tarik bambu menghasilkan tegangan leleh sebesar 313,2143 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa tegangan leleh bambu petung 88,12 % terhadap tegangan leleh baja. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1. Hasil pengujian modulus elatisitas pada bambu petung rata-rata sebesar 24427,71 MPa sedangkan modulus elastisitas baja rata-rata 177723,02 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas bambu

petung 13,74 % terhadap modulus elastisitas baja. Pengujian dari modulus elastisitas dapat dilihat di Tabel 2.2. Hasil pengujian tegangan lentur pada pelat bertulangan baja rata-rata sebesar 7,8544 MPa dan hasil analisisnya sebesar 5,4387 MPa, sedangkan hasil pengujian tegangan lentur pelat bertulangan bambu petung polos rata-rata sebesar 2,5955 MPa dan hasil analisisnya sebesar 1,256 MPa. Hasil pengujian ini dirangkum pada Tabel 2.3, Tabel 2.4 dan Tabel 2.5. Hasil ini menunjukkan bahwa hasil pengujian lentur pelat beton bertulang bambu 33,04 % terhadap hasil pengujian tegangan lentur pelat beton tulangan baja.



Gambar 2. 1 Hubungan beban dan lendutan pelat tulangan bambu petung polos pada *dial gauge* 2 (Hantara dkk., 2014)



Gambar 2. 2 Hubungan beban dan lendutan pelat tulangan baja pada *dial gauge* 2 (Hantara dkk., 2014)

Tabel 2. 1 Hasil pengujian kuat tarik tulangan baja dan bambu petung (Hantara dkk., 2014)

Jenis Tulangan	Gaya Leleh (kgf)	Tegangan Leleh (MPa)	Rata-Rata (MPa)
Baja	1780	354,1197	335,4460
	1800	358,0986	
	1780	354,1197	
Bambu Petung	3580	298,3333	313,2143
	3650	304,1667	
	3540	337,1429	

Tabel 2. 2 Hasil pengujian modulus elastisitas baja dan bambu petung (Hantara dkk., 2014)

Jenis Tulangan	Gaya Leleh (kgf)	Modulus Elastisitas (MPa)	Rata-Rata (MPa)
Baja	1780	177059,87	177723,02
	1800	179049,31	
	1780	177059,87	
Bambu Petung	28,0	22316,04	24427,71
	32,0	24162,04	
	35,5	26804,76	

Tabel 2. 3 Hasil pengujian kapasitas lentur pelat beton bertulang baja dan bambu petung polos (Hantara dkk., 2014)

Jenis Tulangan	Pmax (ton)	Mn (MPa)	Rata-Rata Mn (MPa)	σ_1 (MPa)	Rata-Rata σ_1 (MPa)
Baja	6,40	0,5486	0,5236	8,2284	7,8544
	5,90	0,5018			
	6,12	0,5025			
	2,18	0,1856			
	1,82	0,1550			
Bambu Petung	2,20	0,1873	0,1730	2,8097	2,5955
	1,86	0,1584			
	2,10	0,1788			
				2,6822	

Tabel 2. 4 Hasil analisis kapasitas lentur pelat beton bertulang baja dan bambu Petung polos (Hantara dkk., 2014)

Benda Uji	Mn (MPa)	σ_1 (MPa)
Beton Tulangan Baja	0,3976	5,4387
Beton Tulangan Bambu Petung Polos	0,2853	1,256

Tabel 2. 5 Perbandingan kapasitas lentur pelat beton bertulang hasil analisis dan hasil pengujian (Hantara dkk., 2014)

Benda Uji	Mn Hasil Analisis (MPa)	Mn Hasil Pengujian (MPa)
Beton Tulangan Baja	0,3976	0,5236
Beton Tulangan Bambu Petung Polos	0,2853	0,1730

Nurtanto (2017) melakukan penelitian dengan judul “ Kontribusi Kuat Lentur Polikarbonat Pada Pelat Beton Berpori” yang meneliti tentang pelat beton berpori yang dibuat dengan jarak lubang 8 cm, dengan ukuran plat $40 \times 40 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$, yang menggunakan tulangan berupa Polikarbonat. Material-material yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir, semen, batu pecah dengan ukuran diameter 10 mm, kayu, kawat bendrat, polikarbonat, air dan tulangan beaja ukuran diameter 6 mm. Jumlah total benda uji yang dibuat adalah sebanyak 20 buah. Variasi benda uji pelat ini dibuat sebanyak 5 buah yaitu 1 benda uji tanpa tulangan, 1 benda uji dengan tulangan baja dua arah dengan diameter 6 mm dan jarak 8 cm, 3 benda uji berturut-turut dengan tulangan polikarbonat dua arah dengan jarak 8 cm dengan variasi lebar 2 cm, 4 cm, dan 6 cm. Campuran *mix desain* plat beton berpori ini menggunakan perbandingan volume yaitu 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan fas 0,5. Ukuran benda uji silinder $15 \times 30 \text{ cm}$ dengan umur beton 28 hari. Tujuan penelitian ini adalah mengganti material baja pada beton bertulang dengan polikarbonat dan diharapkan dapat memberikan kontribusi kuat lentur yang baik pada pelat beton berpori. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton segar 24.699 MPa. Hasil pengujian ini bisa dilihat pada Tabel 2.6. Hasil pengujian kuat lentur pada Tabel 2.7 yang terbesar adalah pelat beton berpori dengan tulangan diameter 6 mm dan hasil pengujian kuat lentur untuk pelat beton berpori tanpa tulangan dan pelat beton berpori dengan polikarbonat adalah sama.

Tabel 2. 6 Kuat Tekan Beton (Nurtanto, 2017)

Benda Uji	Luas (cm^2)	Beban Hancur (KN)	Kuat Hancur (MPa)	Kuat Rata-rata (MPa)	Deviasi (MPa)	Karakteristik (MPa)
A	176,625	441	24,968			
B	176,625	443	25,081	24,93	0,231	24,699
C	176,625	437	24,742			

Tabel 2. 7 Hasil Pengujian Kuat Lentur (Nurtanto, 2017)

Tipe Pelat Beton Berpori	Kuat Lentur (Dif)	Kuat Lentur Rata-Rata (Dif)	Kuat Lentur Rata-Rata (kg)
Tanpa Tulangan	21	22	316,457
	20		
	24		
	23		
Dengan Tulangan diameter 6 mm	38	36,5	525,178
	35		
	36		
	37		
Lembaran Polikarbonat lebar 2 cm	25	23,25	334,531
	25		
	22		
	21		
Lembaran Polikarbonat lebar 4 cm	21	20,75	298,560
	20		
	21		
	21		
Lembaran Polikarbonat lebar 8 cm	25	22	316,457
	20		
	22		
	21		

Lailasari dkk. (2015) melakukan penelitian dengan judul “ Analisis Dan Eksprimen Pelat Beton Bertulang Bambu Lapis *Styrofoam*” yang meneliti tentang kekuatan lentur pelat 1 arah dan 2 arah dan analisis kekuatan pelat pada campuran agregat kasar untuk setiap spesinya. Benda uji yang digunakan berupa pelat dngan ukuran 80 cm × 40 cm × 5 cm dengan jumlah benda uji 5 buah untuk setiap variasi spesi 1 (1 semen :4 pasir) dan spesi 2 (1 semen :3 pasir :1 kerikil), dengan rincian 3 pelat beton tulangan bambu lapis *styrofoam*, dan 2 pelat beton tulangan bambu tanpa lapis *styrofoam* untuk pelat kontrol. Kuat tekan beton yang direncanagn untuk benda uji dengan spesi 1 dan spesi 2 masing-masing 18,15 MPa, dan 23,41 MPa. Ukuran tulangan bambu yang digunakan 75 cm × 0,6 cm × 0,6 cm untuk tulangan memanjang dan 35 cm × 0,6 cm × 0,6 cm. Ukuran *styrofoam* untuk lapisan 75 cm × 36 cm × 1 cm. Umur benda uji yaitu setelah 28 hari. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kuat lentur pelat 1 arah dan 2 arah dan menganalisis kekuatan pelat dengan penambahan agregat kasar pada campuran spesinya. Pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 adalah grafik hubungan lendutan dan beban pelat campuran spesi 1 dan spesi 2 kuat lentur 1 arah. Hasil

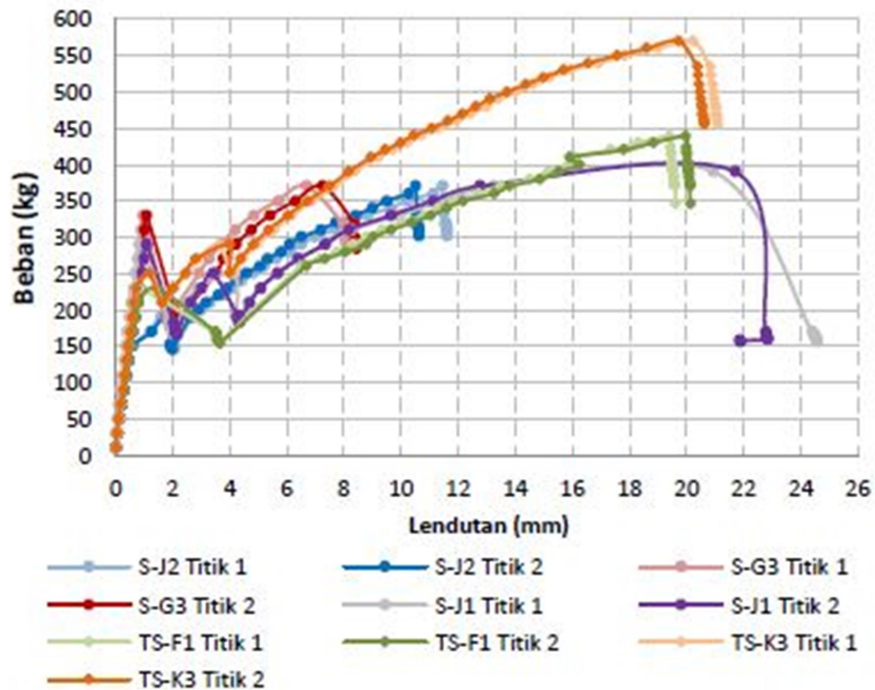
perhitungan teoritis pelat beton bertulangan bambu lapis *styrofoam* dengan campuran spesi 1 adalah 393,9 kg dan untuk spesi 2 adalah 394,1 kg. Pada Tabel 2.8 didapatkan hasil pelat lapis *styrofoam* spesi 1 dan spesi 2 hasilnya masing-masing 376,73 kg dan 556,73 kg. Pelat tanpa lapis *styrofoam* spesi 1 dan spesi 2 masing-masing 504,56 kg dan 660,06 kg. Penambahan agregat kasar (spesi 2) menambah kekuatan lentur satu arah (47,78 %) dari kekuatan pelat campuran spesi 1. Gambar 2.5 dan gambar 2.6 menunjukkan grafik hubungan lendutan dan beban pelat campuran spesi 1 dan spesi 2 kuat lentur 2 arah. Hasil perhitungan teoritis pada pelat beton tulangan bambu dengan campuran spesi 1 dan 2 didapatkan nilai masing-masing 1571,3 kg dan 1573,9 kg. Pada Tabel 2.9 menunjukkan hasil eksperimen pengujian kuat lentur rata-rata dengan pelat beton *styrofoam* spesi 1 dan spesi 2 masing-masing 1046 kg dan 1746 kg. Pelat tanpa lapis *styrofoam* spesi 1 dan spesi 2 adalah 2354,4 kg dan 2204,4 kg. Penambahan agregat kasar (spesi 2) menambah kekuatan lentur 2 arah (66,92 %) dari kekuatan pelat campuran spesi 1.

Tabel 2. 8 Tabel hasil uji kuat lentur satu arah eksperimen beban maksimum rata-rata dan lendutan maksimum rata-rata (Lailasari dkk., 2015)

Spesi	Benda Uji	Retak Pertama		Retak Ultimate	
		P_{cr} (kg)	δ_{cr} (mm)	P_u (kg)	δ_u (mm)
Spesi 1 (1:4)	Pelat Lapis <i>Styrofoam</i>	270,06	1.31	376.73	13.15
	Pelat Kontrol	230,06	1.09	504.56	19.85
Spesi 2 (1:3)	Pelat Lapis <i>Styrofoam</i>	446,73	1.73	556.73	18.69
	Pelat Kontrol	430,06	1.24	660.06	18.32

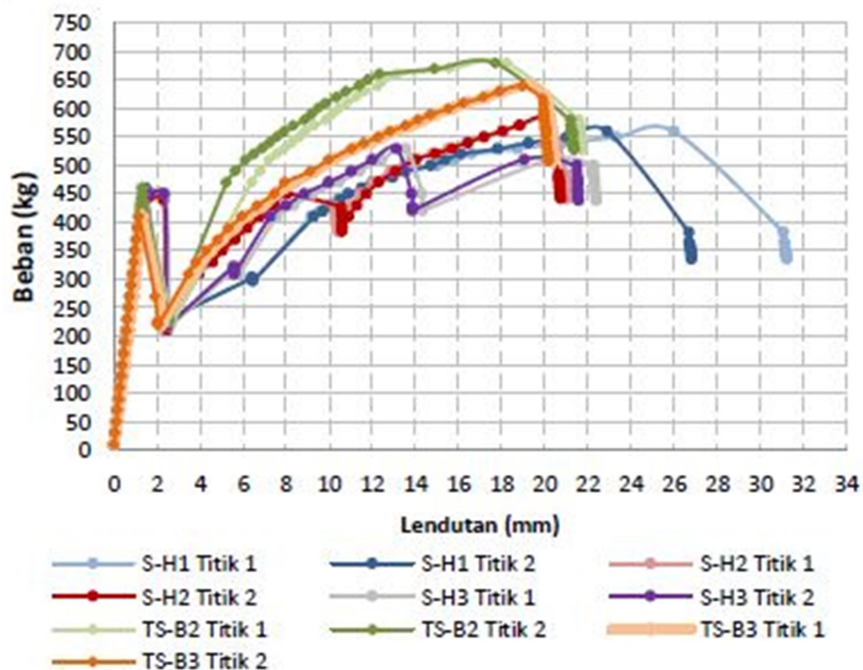
Tabel 2. 9 Tabel hasil uji kuat lentur dua arah eksperimen beban maksimum rata-rata dan lendutan maksimum rata-rata (Lailasari dkk., 2015)

Spesi	Benda Uji	Retak Pertama		Retak Ultimate	
		P_{cr} (kg)	δ_{cr} (mm)	P_u (kg)	δ_u (mm)
Spesi 1 (1:4)	Pelat Lapis <i>Styrofoam</i>	729,3	3,17	1046.0	6.74
	Pelat Kontrol	974,4	2.24	2354.4	46.24
Spesi 2 (1:3)	Pelat Lapis <i>Styrofoam</i>	779,3	1.63	1746.0	12.90
	Pelat Kontrol	829,4	2.63	2204.4	41.05



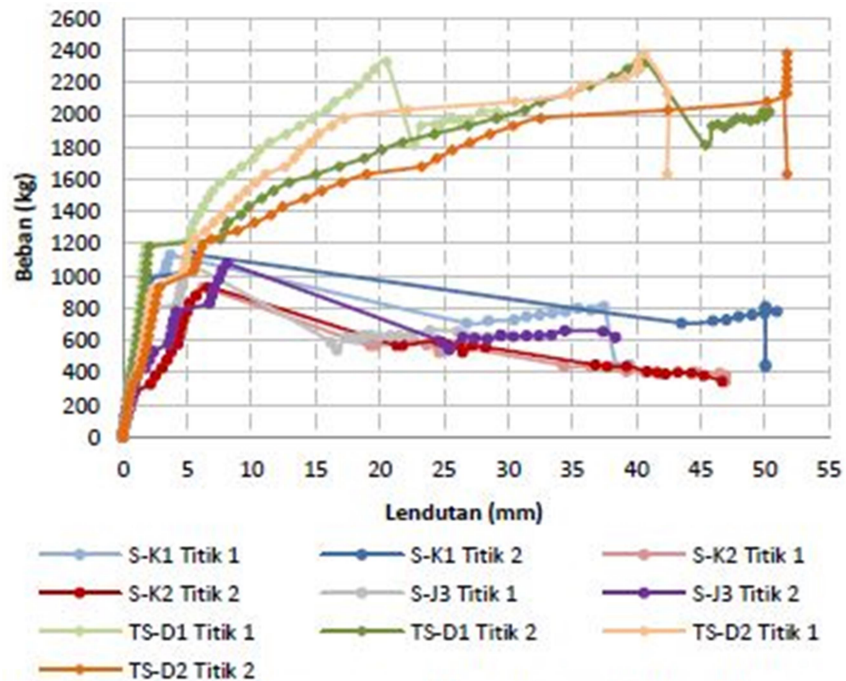
Keterangan : S = Pelat Lapis *Styrofoam*, TS = Pelat Tanpa Lapis *Styrofoam*

Gambar 2. 3 Hubungan lendutan dan beban pelat campuran spesi 1 pengujian kuat lentur 1 arah (Lailasari dkk., 2015)



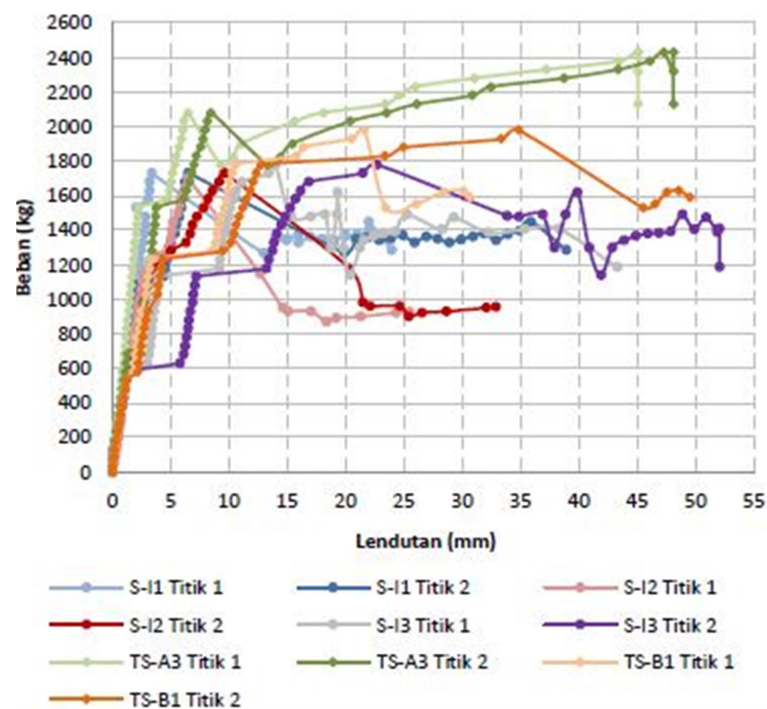
Keterangan : S = Pelat Lapis *Styrofoam*, TS = Pelat Tanpa Lapis *Styrofoam*

Gambar 2. 4 Hubungan lendutan dan beban pelat campuran spesi 2 pengujian lentur 1 arah (Lailasari dkk., 2015)



Keterangan : S = Pelat Lapis *Styrofoam*, TS = Pelat Tanpa Lapis *Styrofoam*

Gambar 2. 5 Hubungan lendutan dan beban campuran spesi 1 pengujian lentur 2 arah (Lailasari dkk., 2015)



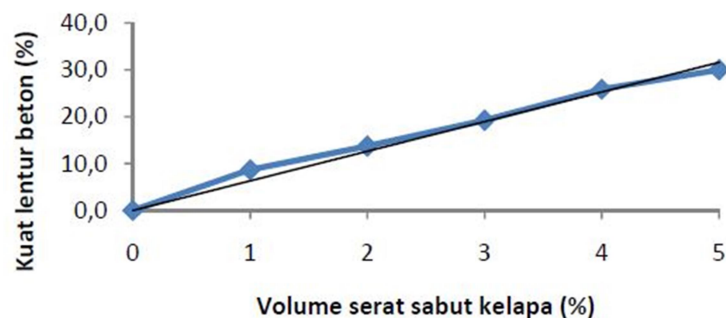
Keterangan : S = Pelat Lapis *Styrofoam*, TS = Pelat Tanpa Lapis *Styrofoam*

Gambar 2. 6 Hubungan lendutan dan beban pelat campuran spesi 2 pengujian lentur 2 arah (Lailasari dkk., 2015)

Elhusna dkk. (2011) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Lentur Beton Dengan Faktor Air Semen 0,5” dengan tujuan mengetahui kuat lentur beton dengan penambahan serat sabut kelapa. Pengujian ini terdiri dari 18 balok dengan ukuran $100 \times 100 \times 500$ mm yang akan di uji setelah berumur 28 hari. Faktor air semen yaitu 0,5 dengan *slump* 30-60 mm. Material yang digunakan untuk membuat benda uji diantaranya agregat kasar, agregat halus, semen tipe 1 merk Semen Padang dan serat sabut kelapa yang dipotong sepanjang 10 mm. Hasil dari penelitian ini yaitu penambahan serat kelapa dapat meningkatkan kuat lentur beton sebesar 30 % untuk penambahan serat sebanyak 5 %. Tabel 2.10 menunjukkan hasil uji kuat lentur balok serat sabut kelapa. Grafik hubungan kuat lentur dan volume serat kelapa dapat dilihat pada Gambar 2.7.

Tabel 2. 10 Hasil uji kuat lentur balok beton serat sabut kelapa (Elhusna dkk., 2011)

No	Uraian	Volume serat sabut kelapa dalam balok beton (%)					
		0	1	2	3	4	5
1	Kuat lentur rerata	4,635	5,077	5,371	5,739	6,254	6,622
2	Deviasi Standar	0,382	0,221	0,127	0,221	0,255	0,221
3	Koefisien Varian	8,25	4,35	2,37	3,85	4,08	3,33
4	Persentase peningkatan kuat lentur beton serat terhadap kuat lentur beton normal	0,0	8,7	13,7	19,2	25,9	30,0



Gambar 2. 7 Hubungan kuat lentur dan volume serat sabut kelapa (Elhusna dkk., 2011)

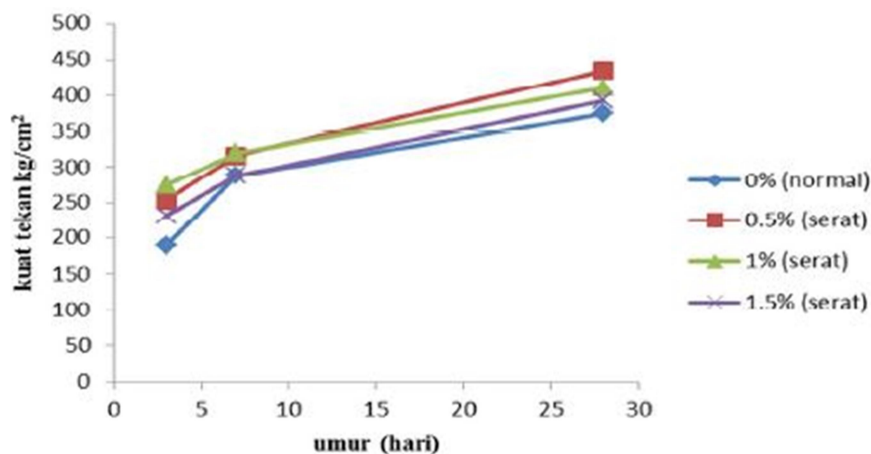
Rahamudin dkk. (2016) melakukan penelitian dengan judul “ Pengujian Kuat Tarik Belah Dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) Dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen” yang bertujuan untuk mengetahui kadar optimum abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen dengan kuat tarik dan kuat tarik lentur beton. Pengujian ini memakai material-material semen Portland tipe-1, agregat kasar yaitu batu apung yang telah di potong-potong dengan ukuran 4,75-19 mm yang diayak dengan saringan $\frac{3}{4}$ dan tertahan saringan no 4, agregat halus berupa pasir yang lolos saringan no 4, dan sekam padi yang dibakar dan lolos saringan no 200. Benda uji berupa silinder dengan ukuran (100 × 200) mm untuk uji tekan dan balok dengan ukuran (100 × 100 × 500) mm untuk uji kuat tarik lentur beton. Semua benda uji akan di uji setelah berumur 28 hari. Untuk pengujian kuat tarik lentur balok penurunan 0,94% untuk substitusi 10% abu sekam padi, penurunan 3,30% untuk substitusi 15% abu sekam padi, dan penurunan 8,27% untuk substitusi 20% abu sekam padi. Hasil dari uji lentur untuk substitusi abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.11 . Substitusi abu sekam padi 15 % pada benda uji silinder beton meningkatkan kuat tekan sebesar 24,38%, kuat tarik belah sebesar 14,18 %, dan kuat tarik lentur pada balok sebesar 0,87%. Sedangkan pada substitusi abu sekam padi 20 % pada benda uji silinder beton menurunkan kuat tekan sebesar 41,37%, kuat tarik belah sebesar 22,98 %, dan kuat tarik lentur pada balok sebesar 44,40%.

Tabel 2. 11 Kuat tekan dan kuat tarik belah beton agregat ringan dengan variasi abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen (Rahamudin dkk., 2016)

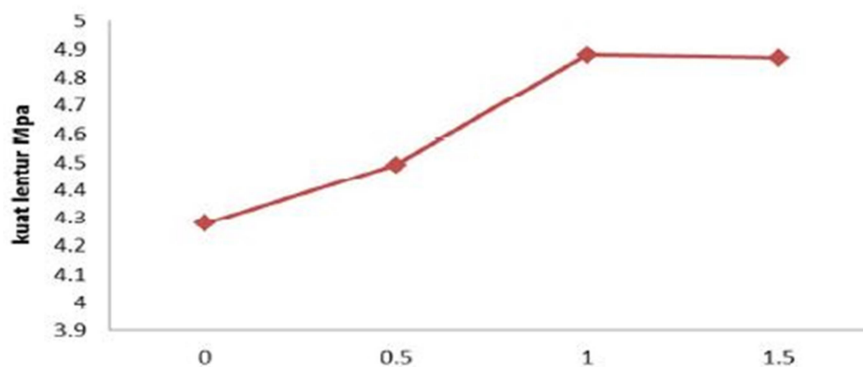
No	Kode Benda Uji	Kadar ASP %	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa)	Kuat Tarik Lentur Rata-rata (MPa)
1	BR0	0	11,73	1,41	2,07
2	BR10	10	13,14	1,53	1,998
3	BR15	15	14,59	1,61	2,088
4	BR20	20	10,32	1,24	1,446

Rahmi dkk. (2015) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Substitusi Agregat Kasar Dengan Serat Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton K-350” dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari serat ampas tebu terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton K-350. Pengujian ini membuat benda

uji masing-masing 3 buah dengan benda uji silinder dengan ukuran 100×200 mm dan balok dengan ukuran $100 \times 100 \times 500$ mm. Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe 1, agregat kasar dengan ukuran 4,75-19 mm, pasir, serat ampas tebu, dan air. Variasi ampas tebu yaitu 0%, 0,5%, 1%, 1,5%. Hasil pengujian ini berupa hasil kuat tekan beton, kuat lentur beton, porositas dan densitas. Kuat tekan beton normal untuk umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari masing-masing sebesar 15,7 MPa, 23,9 MPa, dan 31,1 MPa. Kuat tekan beton dengan variasi serat 0,5%, 1%, dan 1,5% untuk umur beton 28 hari masing-masing 36 MPa, 34 MPa, dan 32,5 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan minimum untuk beton normal 15,7 MPa. Nilai kuat lentur minimum untuk beton normal pada umur 28 hari sebesar 4,28 MPa. Hasil semua pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2.8. Nilai kuat lentur maksimum yaitu pada variasi 1 % serat ampas tebu sebesar 4,88 MPa. Pada variasi serat 1,5%, nilai kuat lentur berkurang yaitu 4,87 MPa. Hasil semua uji lentur dapat dilihat pada gambar 2.9.

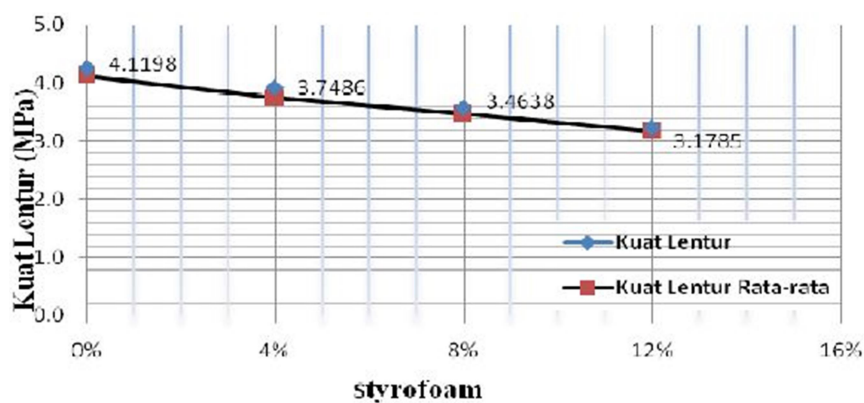


Gambar 2. 8 Pengaruh umur beton terhadap kuat tekan beton (Rahmi dkk., 2015)

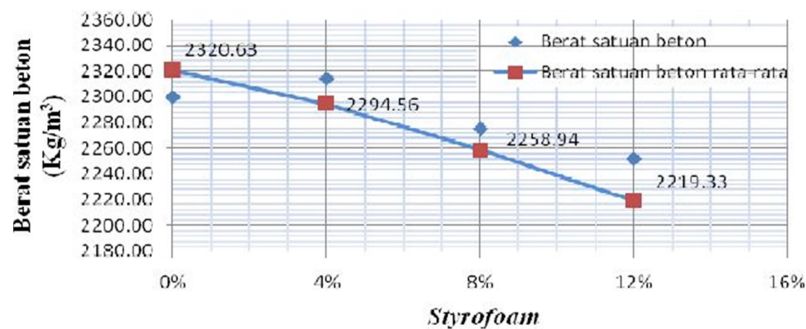


Gambar 2. 9 Pengaruh serat ampas tebu terhadap kuat lentur beton (Rahmi dkk., 2015)

Suryanita dkk. (2014) melakukan penelitian dengan judul “ Karakteristik Kuat Lentur Beton Ringan Akibat Penambahan *Styrofoam* Pada Desain Campuran Beton” dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi penambahan *styrofoam* pada beton ringan. Pengujian ini membuat balok dengan ukuran 150 mm × 150 mm × 600 mm. Komposisi penambahan *styrofoam* 4%, 8% dan 12%. Hasil penelitian ini yaitu kandungan air sebesar 3,53%. Hasil penelitian untuk agregat kasar dan halus dapat dilihat pada Tabel 2.12 dan Tabel 2.13 . Hasil kuat lentur beton tertinggi adalah pada beton normal tanpa *styrofoam* sebesar 4,1198 MPa. Nilai kuat lentur terendah yaitu beton dengan *styrofoam* 12% sebesar 3,1785 MPa. Hasil uji lentur ini dapat dilihat pada Gambar 2.10. Berat satuan untuk beton normal sebesar 2320,63 kg/m³, sedangkan untuk beton dengan penambahan *styrofoam* 12% adalah 2219,33 kg/m³. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 2.11. Kekuatan beton akan berkurang karena adanya penambahan *styrofoam* sehingga akan mengakibatkan semakin besarnya porositas beton. Penambahan *styrofoam* juga dapat menurunkan berat satuan beton.



Gambar 2. 10 Kuat lentur beton ringan dengan variasi persentase *styrofoam* umur 28 hari (Suryanita dkk., 2014)



Gambar 2. 11 Berat satuan beton terhadap persentase *styrofoam* umur 28 hari (Suryanita dkk., 2014)

Tabel 2. 12 Hasil pemeriksaan agregat halus (Suryanita dkk., 2014)

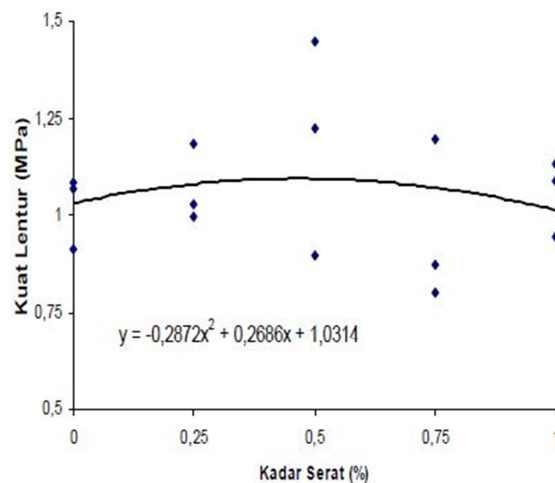
Pemeriksaan	Hasil
Berat Jenis	
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,70
b. <i>Bulk specific gravity on dry basic</i>	2,56
c. <i>Bulk specific gravity on SSD basic</i>	2,61
d. <i>Water absorption (%)</i>	2,04
Berat volume (gr/cm ³)	
a. Kondisi padat	1,88
b. Kondisi lepas	1,68
Kadar air (%)	3,53
Kadar lumpur (%)	3,10
Modul Kehalusan	3,15

Tabel 2. 13 Hasil pemeriksaan agregat kasar (Suryanita dkk., 2014)

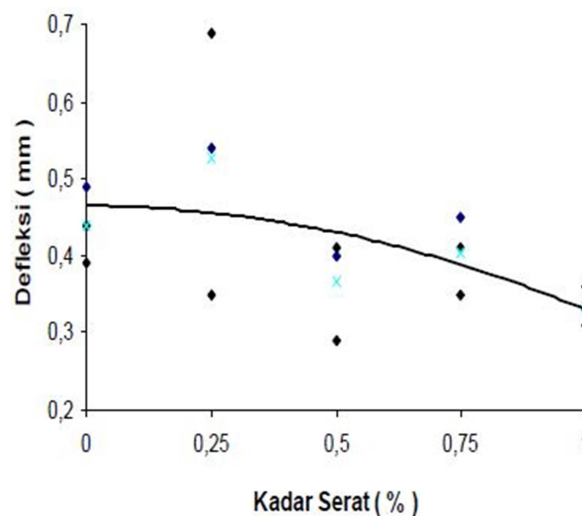
Pemeriksaan	Hasil
Berat Jenis	
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,66
b. <i>Bulk specific gravity on dry basic</i>	2,58
c. <i>Bulk specific gravity on SSD basic</i>	2,62
d. <i>Water absorption (%)</i>	1,10
Berat volume (gr/cm ³)	
a. Kondisi padat	1,57
b. Kondisi lepas	1,46
Kadar air (%)	1,33
Kadar lumpur (%)	2,13
Modulus Kehalusan	7,23
Keausan (Mesin <i>Los Angeles</i>)(%)	7,83

Haryanto (2016) melakukan penelitian tentang penelitian dengan judul “Pengaruh Serat Limbah Karpet Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Ringan Dari Alwa” dengan tujuan mengetahui pengaruh serat limbah karpet terhadap kuat lentur balok beton ringan dari ALWA. ALWA merupakan singkatan dari *Artificial Lightweight Aggregate*. Penelitian ini membuat benda uji balok beton berukuran 150 mm × 150 mm × 600 mm dengan variasi serat limbah karpet 0%, 0,25%, 0,50%, 0,75%, dan 1,00% yang akan di uji lentur dengan 2 titik pembebanan. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu alat uji lentur *Flexural Testing Machine*, ayakan, oven, *concrete mixer*, kerucut abrams, cetakan balok beton. Material-material yang digunakan pada penelitian ini antara lain semen, pasir, ALWA, serat limbah karpet, air dan *superplasticizer* dengan masing masing variasi dibuat 3 buah benda uji. Dari hasil pengujian berat jenis beton memiliki nilai maksimal 1,94 ton/m³ dengan penggunaan ALWA. Hasil dari

penelitian ini yaitu penambahan serat limbah karpet dapat berpengaruh pada meningkatnya berat jenis beton mencapai 0,67%. Berdasarkan grafik hubungan kadar serat karpet dan kuat lentur pada Gambar 2.12, menunjukkan kadar serat limbah karpet 0,47%, nilai kuat lenturnya adalah 1,09 MPa. Dari data ini menunjukkan penambahan serat limbah karpet dapat meningkatkan kuat lentur beton ringan dari ALWA sampai 7,15%. Hasil uji lentur keruntuhan balok dengan penambahan serat limbah karpet bersifat liat, lebih tahan retak dan benturan. Berdasarkan grafik hubungan kadar serat karpet dan defleksi pada Gambar 2.13, rata-rata nilai defleksi terkecil pada kadar serat limbah karpet 1% sebesar 0,33mm, atau berkurang 24,32% dari beton ringan dari ALWA tanpa serat limbah karpet.



Gambar 2. 12 Hubungan kadar serat karpet dan kuat lentur (Haryanto, 2016)



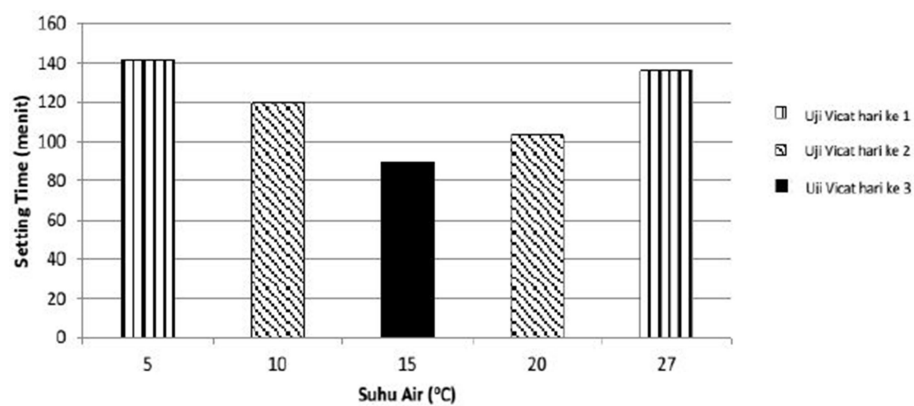
Gambar 2. 13 Hubungan kadar serat karpet dan defleksi (Haryanto, 2016)

Paripurna dkk. (2017) melakukan penelitian dengan judul “Karakteristik Beton Pada Perkerasan Kaku Dengan Pemanfaatan Air Es Dan *Fly Ash* Terhadap Kuat Lentur Dan Kuat Tekan”. dengan tujuan mengetahui temperature beton dan *setting time* beton pada perkerasan kaku dengan pemanfaatan air es variasi 5⁰C, 10⁰C, 15⁰C, 20⁰C dan 27⁰C serta analisa karakteristik beton terhadap kuat lentur dan kuat tekan pada campuran beton dengan pemanfaatan air es, *fly ash* dan retarder. Benda uji silinder dan benda uji balok masing-masing sebanyak 55 dan 33 buah dengan variasi campuran *fly ash*, retarder, dan suhu. Hasil dari penelitian ini yaitu penentuan *setting time* dari hasil pengujian *vicat apparatus*. Gambar 2.16 menunjukkan hubungan linier anatar *setting time* dan suhu air, yaitu semakin rendah suhu beton akan memperlambat waktu *setting time*. Pemanfaatan air es suhu 5⁰C, 10⁰C, 15⁰C, 20⁰C dan 27⁰C untuk perkerasan kaku dengan metode ACI,2010 dan CCAA, 2004 menghasilkan nilai temperature rata-rata sebesar 25,00⁰C, 26,18⁰C, 27,65⁰C, 29,40⁰C, dan 31,22⁰C. Waktu *setting time* pada masing-masing suhu 5⁰C, 10⁰C, 15⁰C, 20⁰C dan 27⁰C sebesar 141 menit, 120 menit, 90 menit, 103 menit, dan 136 menit. Hasil perhitungan temperature beton dapat dilihat pada Tabel 2.14. Hasil hubungan *setting time* terhadap suhu air dapat dilihat pada Gambar 2.14. Hasil uji kuat tekan beton umur 14 hari, 15 hari, dan 28 hari bisa dilihat pada Gambar 2.15. Hasil uji tekan ini ada perbedaaan untuk setiap benda uji yang berumur 14 hari, dan 15 hari, kecuali benda uji no 2 dan no 3, dikarenakan adanya benda uji yang belum kering pada umur 14 hari. Campuran *retarder* berfungsi untuk mempermudah pekerjaan, memperpanjang waktu *setting time*, dan mengurangi susut retak beton. Dari hasil uji tekan diketahui dengan pemanfaatan air es, *fly ash*, dan *retarder*, memiliki kuat tekan beton lebih baik dari campuran lainnya, semakin tinggi suhu air akan menambah kuat tekan beton. Hasil uji lentur pada umur beton 14 hari dan 28 hari, menunjukkan campuran tanpa *retarder* pada benda uji no 5, 6, 7 dan 8 memiliki kuat lentur terlemah. Campuran lain memenuhi syarat teknis Spesifikasi Jalan Bebas Hambatan Dan Jalan Tol Bina Marga Tahun 2015, yaitu 90 % dari nilai kuat lentur $f_s = 45$ (40,5 kg/cm²). Hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 2.16. Pemanfaatan campuran air es, *fly ash*, dan *retarder*, mempunyai kuat lentur lebih

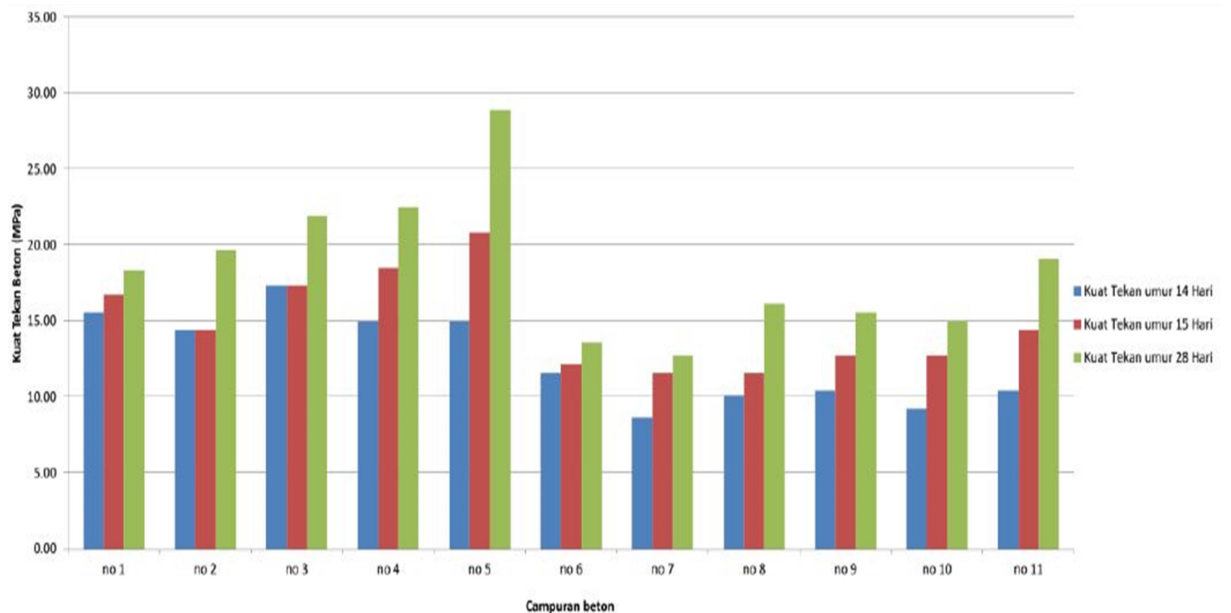
baik dibanding campuran lainnya, semakin tinggi suhu beton maka akan menurunkan kuat lentur beton.

Tabel 2. 14 Perhitungan temperature beton (Paripurna dkk., 2016)

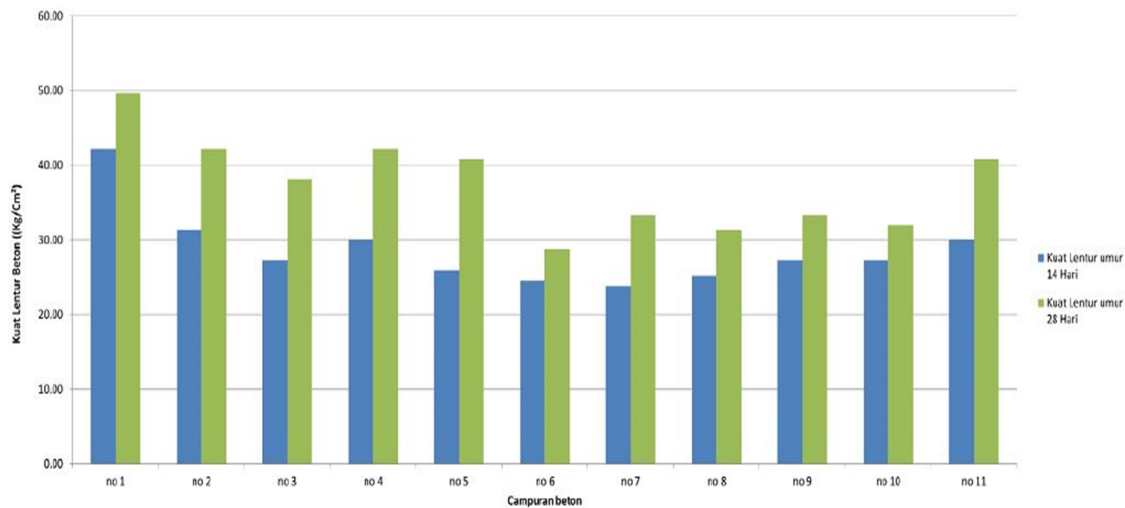
Suhu Air ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur Beton metode ACI ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur Beton metode CCAA ($^{\circ}\text{C}$)	Setting Time (menit)
5	25,27	24,3	141
10	26,56	25,8	120
15	28,00	27,3	90
20	30,00	28,8	103
27	31,54	30,9	136



Gambar 2. 14 Hasil uji *setting time* (Paripurna dkk., 2017)



Gambar 2. 15 Hasil uji kuat tekan beton (Paripurna dkk., 2017)



Gambar 2. 16 Hasil uji kuat lentur beton (Paripurna dkk., 2017)

Amna dkk. (2014) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan Serat Tandan Sawit Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton” dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serat tandan sawit terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Pada penelitian kali ini dibuat benda uji silinder dengan ukuran diameter 150 mm, tinggi 300 mm, dan benda uji balok dengan ukuran 600 mm × 150 mm × 150 mm. Peralatan yang digunakan yaitu cetakan benda uji, martil karet, tongkat pemadat dari besi, sendok beton dan peralatan *slump test*. Campuran dari setiap benda uji terdiri dari 3 variasi serat yaitu 5%, 10% dan 15%. Pengujian ini berupa kuat tekan beton dan kuat lentur beton yang akan di uji setelah benda uji berumur 28 hari. Penambahan serat 5% , 10% , dan 15% didapatkan hasil kuat tekan rata-rata pada masing masing benda uji sebesar 21,137 MPa, 19,439 MPa, dan 20,193 MPa. Hasil dari penelitian ini tidak dapat meningkatkan kuat tekan beton. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 2.15. Dari Gambar 2.17 ini didapatkan persamaan linier dengan $y = -0,283x + 23,40$. Pada hasil uji kuat lentur balok beton dengan penambahan serat dapat meningkatkan kuat lentur beton. Penambahan serat 5%, 10% dan 15% untuk uji lentur didapatkan hasil kuat lentur pada masing-masing benda uji sebesar 3,88 Mpa, 4,18 Mpa, dan 3,91 Mpa. Hasil uji kuat lentur beton dapat dilihat pada Tabel 2.16. Penambahan serat tandan sawit dapat memperlambat waktu runtuhnya beton. Dari Gambar 2.18 didapatkan persamaan linier dengan $y = 0,032x + 3,599$. Dari hasil persamaan kuat tekan beton dan kuat lentur beton

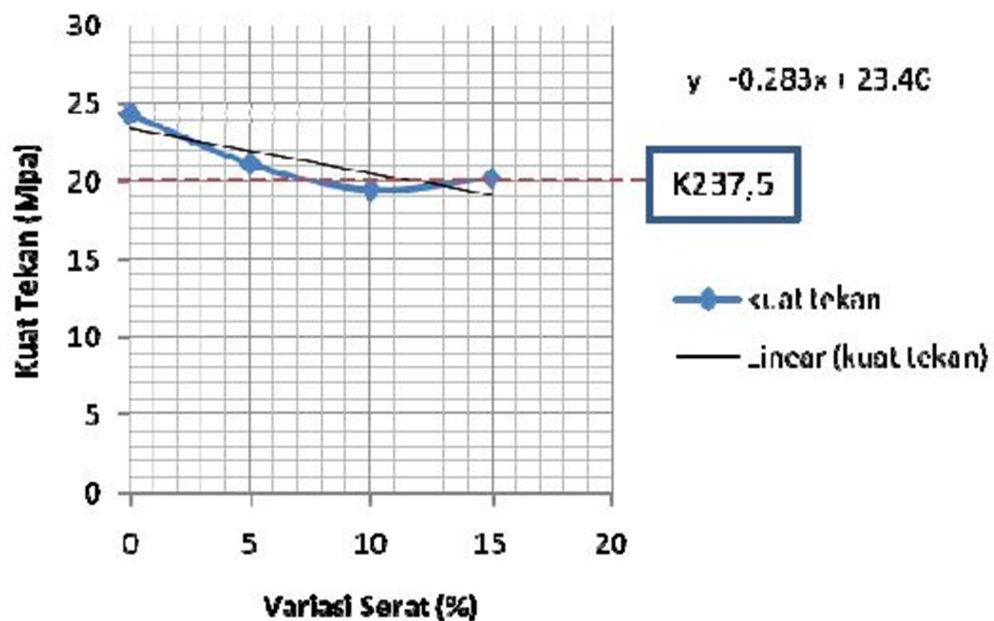
didapatkan komposisi optimum untuk kuat tekan beton dan kuat lentur beton yang masih dalam kuat tekan rencana. Komposisi optimum yaitu pada variasi serat 12% dengan kuat lentur 3,99 MPa, dan kuat tekan 20 MPa. Hasil uji kuat lentur dan kuat tekan beton didapatkan grafik hubungan kuat tekan dan kuat lentur pada Gambar 2.19.

Tabel 2. 15 Hasil pengujian kuat tekan beton (Amna dkk., 2014)

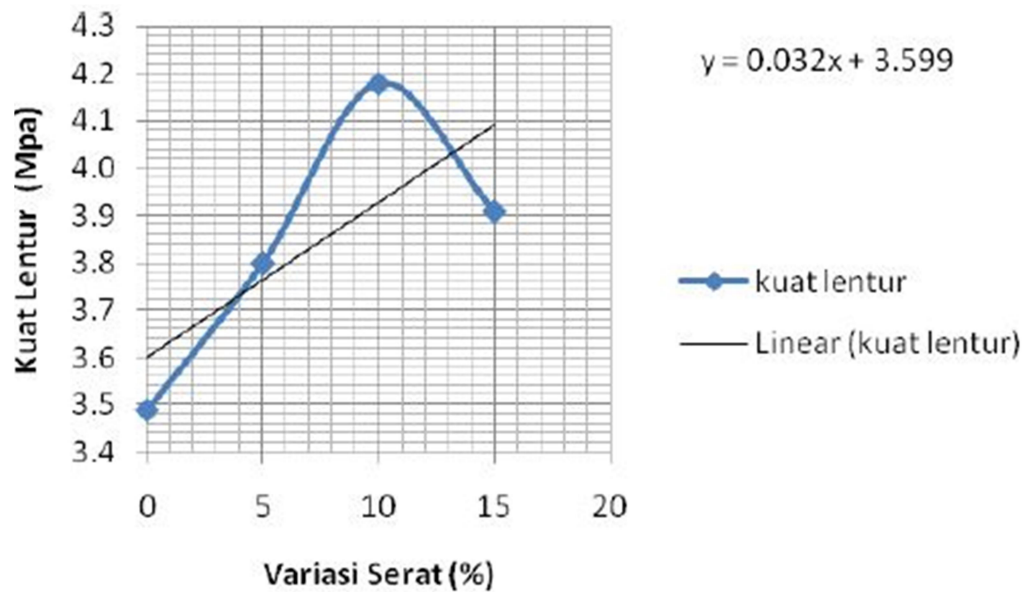
No	Serat (%)	Umur (hari)	Slump (mm)	Kuat Rerata (Mpa)	Waktu Runtuh Rerata (S)
1	0	28	78	24,345	40,0
2	5	28	120	21,137	58,0
3	10	28	80	19,439	76,7
4	15	28	90	20,193	89,3

Tabel 2. 16 Hasil pengujian kuat lentur beton (Amna dkk., 2014)

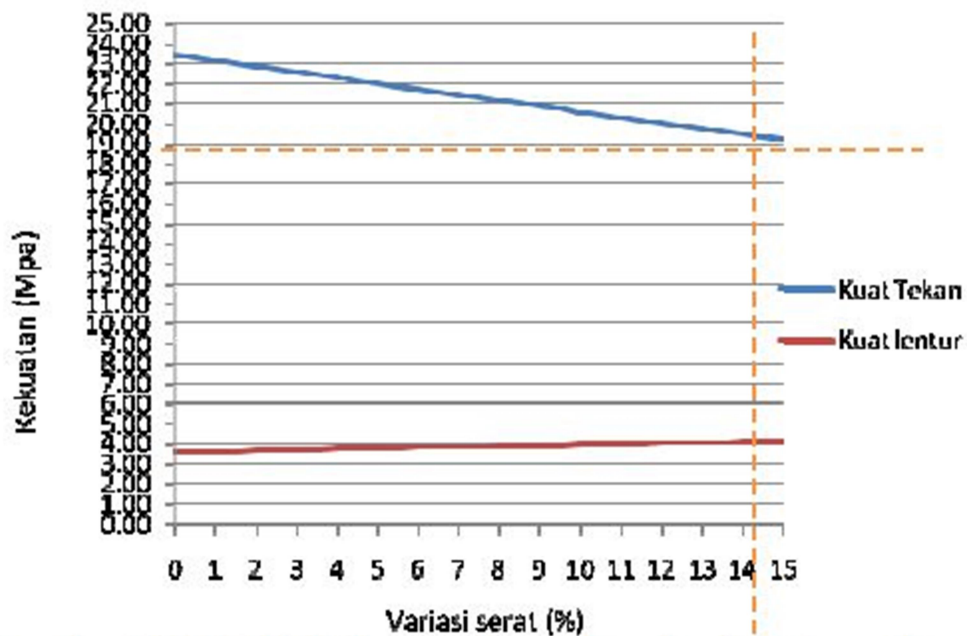
No	Serat (%)	Umur (hari)	Slump (mm)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)
1	0	28	90	3,49
2	5	28	130	3,80
3	10	28	100	4,18
4	15	28	80	3,91



Gambar 2. 17 Kuat tekan beton rata-rata (Amna dkk., 2014)



Gambar 2. 18 Kuat lentur rata-rata (Amna dkk., 2014)



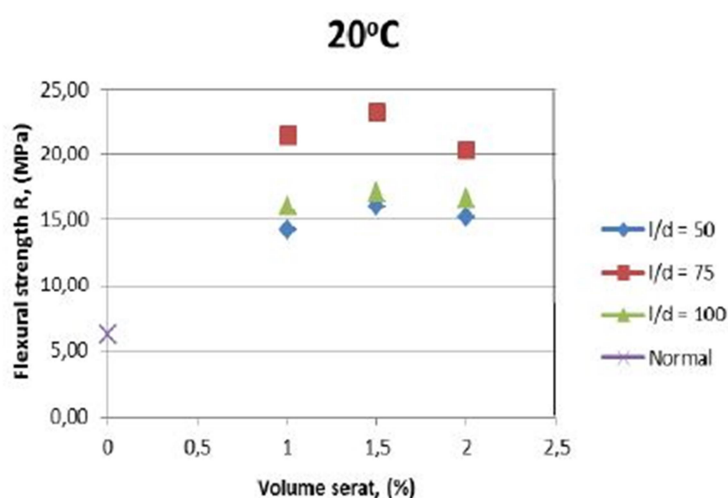
Gambar 2. 19 Hubungan kuat tekan dan kuat lentur beton (Amna dkk., 2014)

Kushartomo dan Christianto (2015) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Serat Lokal Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Reactive Powder Concrete dengan Teknik Perawatan Penguapan” dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh volume (V_f) dan aspek rasio (I/d) serat baja local atau produksi dalam negeri terhadap kuat lentur dan kuat tekan. Benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 75 mm, dan tinggi 150 mm dan benda uji balok dengan ukuran

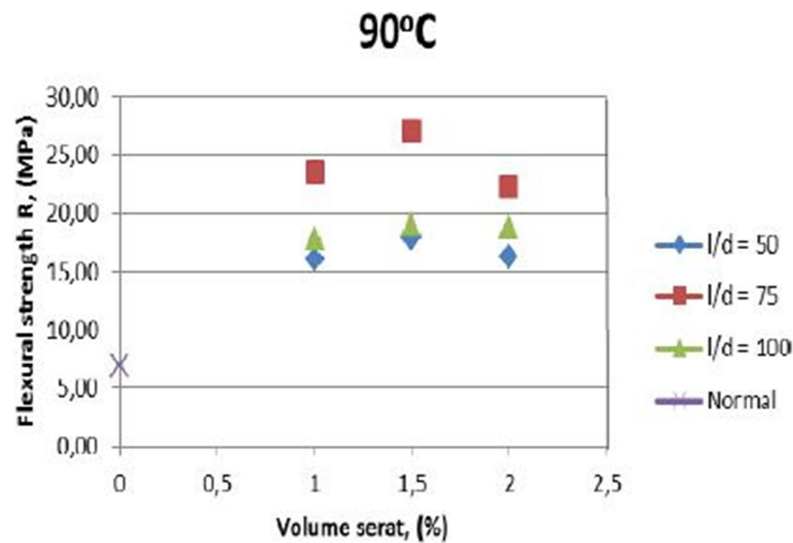
100 mm × 100 mm × 350 mm. Semua benda uji direndam pada suhu 20⁰ C selama 3 hari dan dilanjutkan penguapan dengan temperatur 90⁰C selama 28 hari. Rencana campuran benda uji dapat dijelaskan pada Tabel 2.17 dengan perbandingan air dan semen 0,2, *silica fume* dan semen 0,25, *superplasticizer* dan semen : 0,03, pasir dan semen 1,5 dan tepung silika dan semen 0,3. Hasil penelitian ini berupa kuat tekan maksimal dengan teknik perawatan penguapan dengan suhu 90⁰C dan teknik perendaman dengan 20⁰ C masing-masing sebesar 98,36 MPa dengan volume serat 1,5% dan aspek rasio I/d = 75. dan 76,23 MPa dengan volume serat 1,5% dan aspek rasio I/d=75. Penambahan serat baja ke dalam *reactive powder concrete* (RPC) berpengaruh pada kuat lentur pada benda uji yang perawatannya direndam pada suhu 20⁰ C dan perawatan beton dengan suhu 90⁰C yang dapat dilihat pada Gambar 2.20 dan Gambar 2.21. Kuat lentur optimum dari volume serat 1,5% dengan aspek rasio I/d =75 dengan temperatur 20⁰ C sebesar 23,17 MPa, sedangkan pada temperatur 90⁰C sebesar 27,01 MPa. sehingga dari penelitian ini didapatkan peningkatan pada kuat lentur balok tersebut.

Tabel 2.17 Rencana campuran pembuatan RPC (Kushartomo dan Christianto 2015)

Perbandingan		Vr		
		1,0	1,5	2,0
I/d	50	S1-50	S1,5-50	S2-50
	75	S2-75	S1,5-75	S2-75
	100	S3-100	S1,5-100	S2-100



Gambar 2. 20 Hubungan kuat lentur dan volume serat dengan suhu 20⁰ C (Kushartomo dan Christianto 2015)



Gambar 2. 21 Hubungan kuat lentur dan volume serat dengan suhu 90⁰C (Kushartomo dan Christianto 2015)

2.2. Dasar Teori

Penelitian ini membahas tentang beberapa karakteristik agregat beton non pasir. Beberapa pengujian yang akan dilakukan diantaranya pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, pengujian kadar air, pengujian abrasi (keausan), pengujian kuat lentur pelat. Beberapa dasar teori dari penelitian ini akan dibahas di dalam subbab ini.

Menurut Tjokrodimuljo (2010), beton normal adalah hasil dari pencampuran air, semen *portland*, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil atau batu pecah). Beton khusus adalah beton yang terdiri dari campuran seperti beton normal dengan bahan tambah seperti pozolan, bahan kimia pembantu, serat, dan sebagainya. Penggunaan dari beton khusus ini biasanya digunakan beton mutu tinggi untuk balok, kolom dan elemen-elemen struktur lain. Contoh beton khusus lainnya yaitu beton ringan, beton non pasir, dan sebagainya.

Menurut Trisnoyuwono (2014), beton non pasir adalah beton yang mengurangi agregat halus pada campurannya. Beton non pasir biasa disebut beton *porous*, *no-fines concrete*, *permeconcrete*, dan *pervious concrete*. Beton non pasir biasanya digunakan pada pembuatan buis beton, perkerasan jalan lingkungan, rumah sederhana, batako ringan. Kisaran kekuatan beton non pasir yaitu 70 kg/cm² sampai 140 kg/cm² saat berumur 28 hari dengan kepadatan masing-masing 1900 kg/cm³ dan 2100 kg/cm³. Beberapa keunggulan beton non

pasir dalam aplikasi perkerasan jalan raya adalah beton non pasir dapat mengurangi genangan air dari permukaan lapisan yang kedap air seperti aspal dan beton, beton non pasir juga dapat menyaring material polutan yang bercampur pada air hujan yang mengalir pada saluran drainase, dan permukaan tanah yang tertutup pada beton non pasir bisa subur karena beton tersebut bisa meloloskan air sehingga dapat meresap ke tanah sehingga tanaman sekitarnya dapat tumbuh dengan baik.

Berdasarkan *ACI* (2006) beton non pasir dalam aplikasinya bisa digunakan untuk :

- a. Perkerasan parkir jalan
- b. Lapisan luar di bawah area drainase
- c. Lantai rumah hijau
- d. Perkerasan, dinding dan lantai
- e. Bagian dek dari kolam renang
- f. Struktur dinding pemecah ombak
- g. Tanggul jembatan
- h. Lapisan permukaan untuk parkir, lapangan tennis, dan area kebun binatang

2.2.1. Bahan Penyusun Beton Non Pasir

Bahan-bahan penyusun beton hendaknya harus diteliti terlebih dahulu untuk menentukan material yang cocok dalam pencampurannya. Penggunaan agregat yang tepat, air, dan semen merupakan suatu indikasi bahwa meningkatkan mutu beton yang baik. Kuat tekan beton dan kuat lentur beton merupakan suatu tujuan yang menentukan indikasi beton tersebut bermutu baik. Oleh karena itu dapat diketahui penggunaan material-material beton yang baik akan menentukan kuat tekan dan kuat lentur yang baik pula.

1. Semen *Portland* Dan Semen *Portland Pozolan*

Semen adalah bahan ikat campuran dari agregat halus, agregat kasar, dan air. Semen terdiri dari 2 kelompok yaitu semen non hidrolik dan semen hidrolik. Semen non hidrolik adalah semen yang mengeras pada saat di udara, tetapi tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air. contoh semen non hidrolik adalah kapur. Semen hidrolik adalah semen yang mampu mengikat dan mengeras di dalam air. contoh semen hidrolik adalah kapur hidrolik, semen *pozolan*, semen

terak, semen alam, semen *portland*, semen *portland-pozolan*, semen *portland* terak tanur tinggi, semen alumina dan semen ekspansif (Mulyono, 2005).

Menurut Tjokroadimuljo (2010) semen *portland* adalah semen yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang sifatnya hidrolisis. Semen yang diaduk dengan air akan menghasilkan pasta semen, dan jika ditambahkan pasir akan menjadi mortar, dan jika ditambahkan dengan kerikil akan menjadi beton. Beton terdiri dari bahan aktif dan pasif. Bahan aktif berupa semen dan air sebagian bahan perekat, dan bahan pasifnya berupa pasir dan kerikil sebagai bahan pengisi. Sifat semen Portland *adhesive* dan *kohesif*. Bahan-bahan dasar campuran semen *portland* yaitu bahan mengandung kapur, alumina, silika, dan oksidasi besi. Empat senyawa yang terkandung dalam semen yaitu *trikalsium silikat* (C_3S), *dikalsium silikat* (C_2S), *trikalsium aluminat* (C_3A), dan *tetrakalsium aluminoforit* (C_4AF). Bahan penyusun dari semen ini dapat dilihat pada Tabel 2.18. Unsur-Unsur dominan yang terkandung pada semen adalah C_3S dan C_2S mencapai 70-80%. Pengerasan semen dipengaruhi oleh unsur C_3S yang terkena air sehingga berhidrasi dan menghasilkan panas sebelum umur 14 hari. Unsur C_2S berperan melindungi semen terhadap serangan kimia dan susutan besar pengeringan. Selain itu unsur C_2S juga akan bereaksi dengan air dengan durasi yang lambat untuk mempengaruhi pengerasan beton lebih dari 7 hari. Kedua unsur ini memerlukan air sebanyak masing-masing 24% dan 21% dari berat masing-masing untuk terjadinya reaksi kimia, sehingga unsur C_3S lebih besar pengaruh pengerasan beton dari pada unsur C_2S . Unsur C_3A berhidrasi secara *exothermic* dan bereaksi sesudah 24 jam yang akan memberikan kekuatan. Unsur ini memerlukan sebanyak 40% air dari beratnya untuk bereaksi, sehingga unsur ini berpengaruh terhadap panas hidrasi yang tinggi. Unsur yang terakhir yaitu unsur C_4AF yang kurang berpengaruh terhadap proses pengerasan beton. Semen juga memiliki sifat-sifat fisik yaitu kehalusan butir, waktu ikatan, panas hidrasi, dan berat jenis. Butir-butir halus pada semen akan mempercepat proses hidrasi sehingga meningkatkan kohesi pada beton dan mengurangi *bleeding*. Efek dari butir-butir halus selain meningkatkan proses hidrasi dan kohesi beton juga dapat menyusutkan beton lebih banyak, dan mempermudah terjadinya retak susut. Waktu ikatan semen yaitu

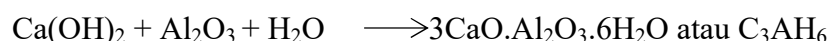
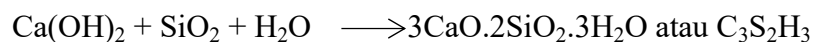
waktu semen bercampur dengan air membentuk gel menjadi kurang platis dan menjadi keras pada akhirnya. Waktu ikatan ini terhitung setelah air bercampur dengan semen. Waktu ikatan ada 2 yaitu waktu ikatan awal (*initial time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting time*). Waktu ikatan awal adalah waktu disaat air dan semen bercampur sampai sifat keplastisannya menghilang, sedangkan waktu ikatan akhir waktu dimana pasta dari campuran semen tersebut mengeras. Semen Portland biasa, waktu ikatan awalnya tidak kurang dari 60 menit dan waktu ikatan akhirnya tidak boleh lebih dari 8 jam. Panas hidrasi adalah reaksi unsur silikat dan aluminat pada semen menjadi perekat yang memadat dan membentuk massa yang keras. Temperatur yang besar disebabkan karena proses hidrasi. Berat jenis semen berkisar 3,15. Nilai berat jenis semen ini digunakan dalam perhitungan perbandingan .

Tabel 2. 18 Susunan unsur semen Portland (Tjokroadimuljo, 2010)

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60-65
Silika, 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

Menurut BSN (1989) semen *portland* dibedakan menjadi 5 jenis berdasarkan tujuan pemakaiannya masing-masing. Semen jenis 1 adalah semen *portland* yang banyak digunakan untuk kontruksi umum. Semen jenis 2 adalah semen *portland* yang digunakan pada kontruksi yang tahan terhadap sulfat dan hidrasi sedang. Semen jenis 3 adalah semen *portland* yang digunakan untuk kontruksi dengan kekuatan awal tinggi, semen jenis 4 adalah semen *portland* yang digunakan untuk kontruksi yang panas hidrasinya rendah. Semen jenis 5 adalah semen *portland* yang digunakan untuk kontruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

Semen *Portland Pozolan* adalah semen yang terbuat dengan menggiling halus klinker semen *portland* dan *pozolan* secara merata dalam campurannya sehingga menjadi bahan perekat yang hidrolis. *Pozolan* terdiri dari unsur-unsur silikat (SiO_2) dan aluminat (Al_2O_3). *Pozolan* ini bukan sebagai bahan perekat, tetapi jika dicampur dengan kapur padam aktif dan air akan mengeras dan membentuk massa yang padat dan sangat susah larut di dalam air dengan rumus reaksi sebagai berikut:



Dari rumus reaksi tersebut dapat diketahui kuat tekan beton menjadi tinggi disebabkan unsur dari bahan *pozolan* yaitu SiO_2 dan Al_2O_3 bereaksi sampingan dengan hidrasi semen Ca(OH)_2 sehingga menjadi senyawa $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$. Semen *portland pozolan* memiliki sifat tahan terhadap kotoran dalam air (kandungan garam), sehingga sangat bagus dipakai pada konstruksi bangunan di air payau, bangunan yang memerlukan kekedapan air yang tinggi, beton massa, dan pekerjaan plesteran (Tjokroadimulyo, 2010).

2. Air

Air merupakan bahan dasar untuk membuat beton agar bisa bereaksi dengan semen *portland* untuk mempermudah adukan campuran beton. Fas yang digunakan dalam adukan campuran beton adalah lebih dari 0,40. Semen *portland* akan bereaksi dengan air dengan campuran 25-30 persen dari berat semen. Fas yang digunakan untuk mencampur semen *portland* dan air kurang dari 0,35, akan tetapi adukan campuran beton sangat sulit dikerjakan. Oleh karena itu penggunaan nilai fas lebih dari 0,40 merupakan lebihnya air untuk mempermudah campuran adukan semen pada saat pencampuran beton. penggunaan air terlalu banyak juga akan memperkecil kuat tekan beton (Tjokroadimuljo, 2010).

Berdasarkan ACI (2006) jika fas besar, maka penggunaan air akan semakin meningkat, kekuatan beton akan melemah dan *workability* akan bagus. Sebaliknya, jika fas kecil, maka penggunaan air akan berkurang, kekuatan beton akan meningkat dan *workability* akan jelek. Syarat fas menurut ACI 522R-06 yaitu diantara 0,26-0,45.

Berdasarkan BSN (1989) syarat air untuk bahan bangunan adalah sebagai berikut:

- a. Air harus bersih
 - b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang
 - c. Tidak mengandung garam-garam yang bisa larut dan dapat merusak beton seperti asam dan zat organik lainnya lebih dari 15 gram/liter.
 - d. Tidak mengandung *Klorida* (Cl) 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter.
 - e. Tidak mengandung senyawa sulfat (SO₃) lebih dari 1 gram/liter.
3. Agregat Kasar

Agregat adalah bahan pengisi campuran beton yang terdiri dari agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) berupa butiran alami. Volume beton yang diisi oleh agregat kira-kira sebanyak 70%. Cara membedakan jenis agregat halus dan kasar adalah pada ukuran butirannya. Ukuran untuk agregat kasar ukuran butirnya lebih dari 4,80 mm. Ukuran untuk agregat halus ukurannya kurang dari 4,80 mm. Agregat kasar biasanya disebut kerikil, batu pecah, atau split. Agregat pada umumnya digolongkan menjadi 3 golongan yaitu batu untuk butiran yang besarnya 40 mm, kerikil untuk butirannya 5 mm dan 40 mm dan pasir untuk butirannya antara 0,15 mm dan 5 mm (Tjokroadimuljo,2010).

Berdasarkan *ACI* (2006) gradasi yang digunakan untuk beton non pasir adalah agregat seragam. Agregat ini berukuran 9,5mm-19 mm. Agregat seragam adalah agregat yang butiran-butirannya sama besar atau fraksi tunggal.

Berdasarkan BSN (1989) agregat kasar yang memenuhi syarat antara lain:

- a. Butiran-butiran agregat tidak berpori dan keras dengan ketentuan indeks kekerasan ≤ 5 persen yang diuji dengan goresan batang tembaga. Bisa juga diuji dengan bejana *Rudeloff* atau *Los Angeles* sesuai Tabel 2.19.
- b. Agregat tidak pecah dan hancur ketika terkena cuaca panas dan dingin dan 12 % dan 18 % yang hancur jika diuji masing-masing dengan larutan garam Natrium Sulfat dan Megnesium Sulfat.
- c. Banyaknya agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%.
- d. Agregat tidak boleh mengandung zat-zat reaktif terhadap alkali.
- e. Agregat harus dicuci, agar tidak mengandung lumpur lebih dari 1%.

- f. Ukuran maksimum agregat tidak boleh $1/5$ jarak yang sangat kecil antara bidang bidang cetakan, $1/3$ tebal dari pelat beton dan $3/4$ jarak bersih antar tulangan.
- g. Ukuran modulus halus butir antara 6-7,10 sesuai dengan standar gradasi variasi butirannya.

Tabel 2. 19 Persyaratan kekerasan/kekuatan agregat kasar beton normal (BSN, 1989)

Kelas dan mutu beton	Bejana <i>Rudeloff</i> maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 2mm (persen)		Mesin <i>Los Angeles</i> maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7mm (persen)
	Ukuran butir 19-30 (mm)	Ukuran butir 9,5-19 (mm)	
Kelas I mutu B0 dan B1	30	32	50
Kelas II mutu K-125 ($F_c' = 10$ MPa) sampai K-225 ($F_c' = 20$ MPa)	22	24	40
Kelas III mutu di atas K-225 ($F_c' = 20$ MPa)	14	16	27

4. Bahan Tambah

Pekerjaan beton meliputi pekerjaan pengecoran dan mutu beton di lapangan. Kinerja beton di lapangan dalam pekerjaannya terutama dalam pengecoran, akan ditambahkan zat adiktif berupa bahan tambah dengan tujuan untuk mempermudah kinerja beton. Ada 2 jenis bahan tambah yaitu bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*) dan bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*). Perbedaan jenis bahan tambah ini yaitu bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*) adalah bahan tambah yang ditambahkan pada saat pengadukan beton, sedangkan bahan tambah bersifat kimiawi (*chemical admixture*) adalah bahan tambah yang ditambahkan pada saat pengecoran atau pengadukan beton (Mulyono, 2005).

Menurut Tjokroadimuljo (2010) bahan tambah dibedakan menjadi 3 jenis antara lain bahan tambah kimia (*chemical admixture*), bahan tambah serat (*fibre*), dan bahan tambah *pozolan* (bersifat semen).

Berdasarkan ASTM. C494 dan BSN (1989) ada 7 jenis tipe bahan tambah yaitu:

a. Bahan Tambah Tipe A (*Water Reducing Admixture*)

Bahan tambah tipe A adalah jenis bahan tambah yang ditambahkan pada beton dengan tujuan mengurangi air tanpa mengubah nilai *slump* dan kadar semen dengan nilai *fas* yang rendah dan nilai *fas* yang tetap tanpa mengubah kadar semen dengan tujuan nilai *slump* bisa tinggi untuk pencampuran beton yang sesuai dengan perencanaan.

b. Bahan Tambah Tipe B (*Retarding Admixture*)

Bahan tambah tipe B adalah bahan tambah yang fungsinya untuk mnegurangi waktu ikatan beton. Kegunaan dari bahan tambah ini adalah untuk memperlambat waktu pengecoran di lapangan disaat kondisi cuaca yang tidak memungkinkan untuk dilakukannya pengecoran.

c. Bahan Tambah Tipe C (*Accelerating Admixture*)

Bahan tambah tipe C adalah bahan tambah yang fungsinya mempercepat pengembangan dan ikatan kekuatan awal beton.kegunaan dari bahan tambah ini adalah memperlambat waktu pengeringan sehingga akan mempercepat kekuatan pada beton.

d. Bahan Tambah Tipe D (*Water Reducing Admixture* dan *Retarding Admixture*)

Bahan tambah tipe D adalah bahan tambah yang fungsinya menghambat pengikatan awal beton dan mengurangi jumlah air pada campurannya pada perencanaan beton yang telah di desain. Kegunaan bahan tambah ini adalah menambah kekuatan beton dengan mengurangi jumlah semen dan air.

e. Bahan Tambah Tipe E (*Water Reducing* dan *Accelerating Admixture*)

Bahan tambah tipe E ini adalah bahan tambah yang fungsinya mempercepat pengikatan awal beton dan mengurangi jumlah air dari campurannya pada perencanaan beton yang telah di desain. Kegunaan bahan tambah ini adalah menambah kekuatan beton dengan mengurangi jumalh air pada beton.

f. Bahan Tipe F (*Water Reducing, High Range Admixture*)

Bahan tambah tipe F adalah bahan tambah yang fungsinya mengurangi air sebanyak 12% atau lebih dalam pencampuran beton dengan perencanaan yang direncanakan. Kegunaan dari bahan tambah ini adalah mengurangi air sebanyak 12% atau lebih pada campuran beton. Bahan tambah ini akan memudahkan pekerjaan, mengurangi air lebih banyak dengan harapan kekuatan beton akan meningkat.

g. Bahan Tipe G (*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*)

Bahan tambah tipe G adalah bahan tambah yang fungsinya mengurangi jumlah air sebanyak 12% atau lebih dan menghambat pengikatan beton. Penambahan bahan tambah ini ditambahkan di saat minimnya sumber daya dalam mengerjakan beton.

Bahan tambah yang dicampurkan pada penelitian ini adalah *Sika Viscocrete* 1003 dengan tujuan mengurangi air dan menambah kekuatan awal pada beton. pengurangan air dengan penambahan bahan tambah ini adalah sebanyak 30 % sehingga kekuatan beton dapat meningkat. Selain itu penambahan bahan tambah ini juga dapat meningkatkan slump beton sampai 208mm atau lebih, sehingga memudahkan pekerjaan di lapangan pada saat pengecoran.

2.2.2. Pengujian-Pengujian Agregat Kasar

a. Pengujian Kadar Air

Menurut Mulyono (2005) kadar air merupakan banyaknya kandungan air yang terdapat dalam suatu agregat. Kadar air dibedakan menjadi 4 jenis yaitu kadar air kering tungku, kadar air kering udara, kadar air jenuh kering permukaan dan kadar air dalam kondisi basah. Kadar air kering tungku adalah keadaan agregat yang memang tidak berair. Kadar air kering udara adalah keadaan agregat yang permukaannya kering tetapi kandungan airnya sedikit dalam porinya, tetapi masih dapat menyerap air. Kadar air jenuh kering permukaan adalah keadaan agregat tidak ada air di permukaan agregat, tetapi agregat tersebut masih mampu menyerap air. Kondisi basah adalah kondisi agregat yang butir-butirnya banyak mengandung air.

Menurut BSN (1990 a) perhitungan kadar air agregat kasar adalah sebagai berikut :

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{w_3 - w_5}{w_5} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan : W3 = berat benda uji (gram)

W5 = berat benda uji kering (gram)

b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Menurut BSN (2008 a) berat jenis adalah perbandingan berat satuan volume dari material dengan berat volume air pada temperatur yang telah ditentukan. Pengujian ini berfungsi untuk menghitung volume agregat dalam pencampuran beton. Tujuan penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui nilai penyerapan air (*absorpsi*) yaitu perbandingan berat air dalam pori agregat terhadap berat agregat dalam kondisi kering.
2. Mengetahui berat jenis semu (*apparent specific gravity*) yaitu perbandingan berat satuan volume agregat terhadap berat volume agregat di udara dari air suling pada temperatur tertentu.
3. Mengetahui berat jenis curah (*bulk specific gravity SSD*) yaitu perbandingan berat volume agregat kering udara terhadap berat volume agregat di udara dari air suling pada temperatur tertentu.
4. Mengetahui berat jenis curah kering (*bulk specific gravity*) yaitu perbandingan berat volume agregat kering terhadap berat volume agregat di udara dari air suling pada temperature tertentu.

Berdasarkan BSN (2008 a) perhitungan berat jenis pada agregat kasar menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis curah kering (SSD)} = \frac{B}{B-C} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{A}{B-C} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{A-C} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

keterangan,

A = berat benda uji kondisi kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh air permukaan di udara (gram)

C = berat benda uji kondisi di dalam air (gram)

c. Pengujian Berat Satuan

Berdasarkan BSN (2008 a) berat satuan beton adalah perbandingan berta total campuran beton (kg) terhadap volume beton (m³). Pengujian ini berfungsi mengetahui berat satuan campuran beton yang kita perlukan untuk membuat benda uji. Perhitungan berat satuan ini menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat satuan} = \frac{Mc - Mm}{Vm} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan : Mc = berat beton pada wadah ukur (kg)

Mm = berat wadah ukur (kg)

Vm = volume wadah ukur (m³)

d. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Menurut BSN (2008 b) pengujian keausan adalah pengujian yang membandingkan berat bahan aus terhadap berat semula dengan tujuan untuk mengetahui angka keausan agregat yang dinyatakan dalam persen. Pengujian keausan agregat ini menggunakan rumus :

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

Keterangan : a = berat benda uji semula (gram)

b = berat benda uji tertahan saringan no 12 (1,70 mm) (gram)

2.2.3. Pengujian Lentur Pelat Beton

Berdasarkan BSN (2011) kuat lentur beton adalah kemampuan balok yang menahan gaya yang tegak lurus terhadap bidangnya dengan 2 perletakan yang diuji sampai patah dan dinyatakan dalam satuan *Mega Pascal* (MPa) gaya persatuan luas. Pengujian lentur pada beton dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat lentur benda uji, } \sigma = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Kuat lentur benda uji, } \sigma = \frac{P.a}{b.h^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

σ = Kuat lentur benda uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam ton sampai 3 angka dibelakang koma)

L = Jarak bentang antara 2 garis perletakan (mm)

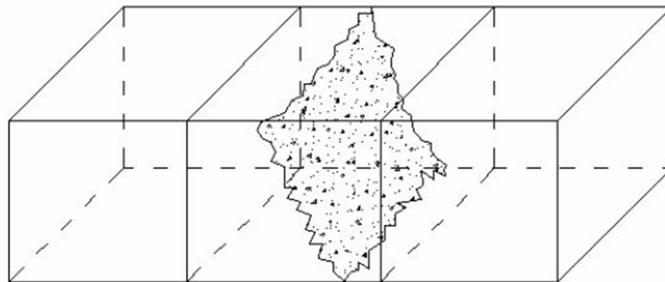
b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

Persamaan 2.8 adalah persamaan untuk benda uji yang bidang patahnya pada daerah pusat dengan jarak $1/3$ jarak titik perletakan ke bagian tengah. Persamaan 2.9 adalah persamaan untuk benda uji yang bidang patahnya di luar pusat benda uji dengan jarak $1/3$ jarak titik perletakan ke bagian tengah dan jarak antara titik perletakan dan jarak titik patah dan titik pusat kurang dari 5%.

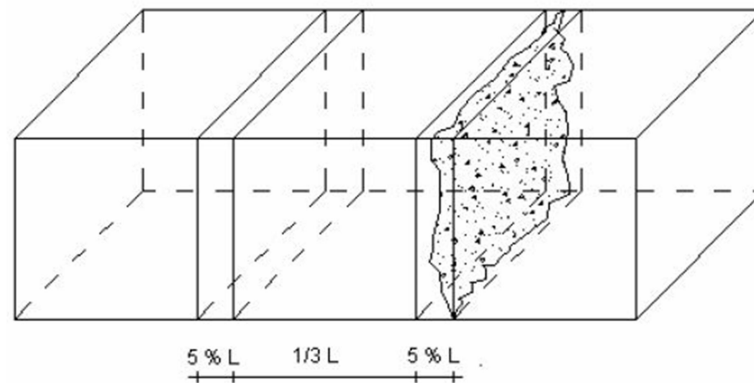
Pengujian dengan menggunakan Persamaan 2.8 adalah uji lentur yang pengujiannya masih dipengaruhi oleh gaya geser (SFD), ini dikarenakan bidang tengah dari benda uji yang terletak di tengah tersebut pengujian lentur tersebut menghasilkan reaksi dari setiap tumpuan yang sama sehingga pada bidang tengah dari benda uji yang digambarkan akan menghasilkan gaya geser pada bidang tengah benda uji tersebut.



Gambar 2.22 Bidang patah pengujian uji lentur untuk persamaan 2.8 (BSN, 2011)

Pengujian dengan menggunakan Persamaan 2.9 adalah uji lentur yang pengujiannya tidak dipengaruhi oleh gaya geser (SFD), sehingga bisa disebut pengujian uji lentur murni. Hal ini 1 titik untuk $1/3$ jarak titik perletakan ke bagian tengah dan 1 titik untuk $1/3$ jarak titik perletakan ke bagian tengah akan menghasilkan gaya geser (SFD) = 0, hal ini disebabkan karena dengan reaksi perletakan sebanyak 2 buah dengan nilai yang sama akibat 2 titik perletakan

dengan nilai yang sama pula akan menghasilkan nilai gaya geser (SFD) = 0 sehingga ini disebut dengan pengujian uji lentur murni.



Gambar 2.23 Bidang patah pada pengujian uji lentur untuk persamaan 2.9 (BSN, 2011)

2.2.4. Perencanaan *Mix Desain* Beton Non Pasir (*No Fines Concrete*)

Kebutuhan setiap material-material beton non pasir harus diketahui dengan merencanakan mix desain dari beton tersebut. Jumlah kebutuhan material-material non pasir ini akan mempengaruhi kuat tekan, kuat lentur atau lebih dikenal dengan mutu beton. mutu beton yang sesuai dengan perencanaan harus kita tunjang dengan pengerjaan pengecoran yang sesuai dengan kebutuhan pekerjaan yang akan dilakukan. Berdasarkan ACI (2006) tahap-tahap perencanaan mix desain beton non pasir sebagai berikut :

- Menentukan nilai fas diantara 0,26-0,45. Semakin kecil nilai fas maka kekuatan beton menurun, sedangkan semakin besar nilai fasnya maka kekuatan beton aka meningkat. Rentang nilai kuat tekan beton non pasir 2,8 MPa sampai 28 MPa.
- Menentukan perbandingan antara agregat dengan semen. Perbandingan yang sering digunakan adalah 4:1 dan 10:1.
- Menghitung kebutuhan material-material campuran beton menggunakan rumus-rumus berikut :

$$W_k = \frac{\text{perbandingan agregat}}{\text{jumlah perbandingan total}} \times W_{sk} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$W_s = \frac{\text{perbandingan semen}}{\text{jumlah perbandingan total}} \times W_{ss} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$W_a = FAS \times W_s \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

Wk = berat kerikil/split (kg/m^3)

Wss = berat satuan semen (kg/m^3)

Ws = berat semen (kg/m^3)

Wa = volume air (liter)

FAS = faktor air semen

Wsk = berat satuan kerikil/split (kg/m^3)

Wsk = berat satuan kerikil/split (kg/m^3)

2.2.5. Pengujian *Slump* Beton

Mengukur tingkat kental dan cairnya campuran beton adalah dengan cara uji *slump*. Tujuan pengujian *slump* ini adalah untuk mengetahui besarnya penurunan pada permukaan beton segar dengan tujuan untuk mempermudah pekerjaan pada saat pengecoran (Tjokroadimuljo, 2010).

Menurut Tjokroadimuljo, 2010 kelecakan beton yang disarankan terlihat pada Tabel 2.20 di bawah ini.

Tabel 2. 20 Nilai *slump* beton segar (Tjokroadimuljo,2010)

Pemakaian	Maksimum (cm)	Minimum (cm)
Pelat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal (beton massa)	7,5	2,5
Dinding, plat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	12,5	5
Kaison, Fondasi telapak tidak bertulang, struktur di bawah tanah	9	2,5

Berdasarkan *ACI* (2006), beton non pasir memiliki nilai *slump* adalah 0. Tinggi dan rendahnya nilai *slump* akan mempengaruhi *workability* pekerjaan pengecoran beton tersebut. Jika *slump* tinggi maka pengerjaannya akan mudah, tetapi jika *slump*nya rendah maka pengerjaannya akan sulit. Tinggi dan rendahnya nilai fas dipengaruhi oleh nilai *slump*. Jika *slump*nya tinggi maka nilai fas akan tinggi, dan jika nilai *slump*nya rendah maka nilai fas akan rendah.

2.2.6. Perawatan Beton

Perawatan beton adalah pekerjaan beton terakhir dalam menjaga kelembapan dengan tujuan beton akan mencapai kekuatan rencana pada saat umur beton 28 hari. Perawatan beton ini yaitu dengan menjaga kelembapannya dengan

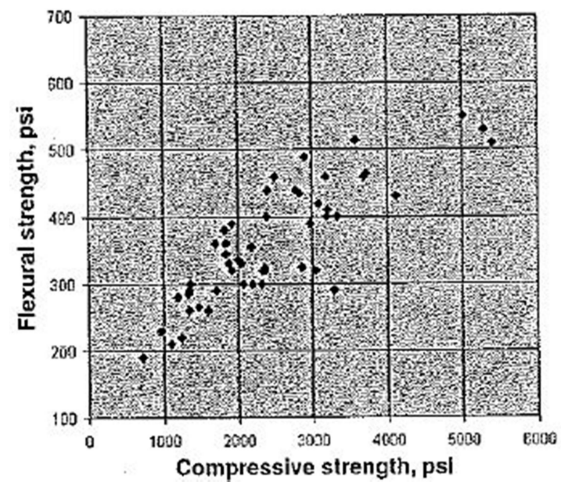
tujuan air dalam beton tidak keluar. Tujuan air tidak keluar dalam beton adalah menjamin proses hidrasi di dalam beton untuk menghindari retak pada beton jika terkena panas dan tiupan angin. Jika beton terkena panas dan tiupan angin maka beton tersebut akan mengalami penguapan sehingga lama-kelamaan beton tersebut akan mengalami retak-retak (Tjokroadimuljo,2010).

Menurut Tjokroadimuljo (2010) tata cara perawatan beton tergantung dari ukuran beton yaitu:

- a. Perawatan beton ukuran besar dengan cara menyirami beton secara terus-menerus, menggenangkan air dengan benda uji beton dan menyelimuti beton dengan karung basah. Contoh beton berukuran besar adalah pelat lantai, kolom beton, dan balok beton.
- b. Perawatan beton untuk ukuran yang kecil dengan cara menaruh beton di dalam air, di atas genangan air dan di dalam ruangan yang lembab. Contoh beton berukuran kecil adalah belok beton yang berukuran kecil genteng beton dan silinder beton.

2.2.7. Faktor-Faktor Yang Berpengaruh Kuat Lentur Beton Non Pasir (*No Fines Concrete*)

Menurut *ACI* (2006) kekuatan beton non pasir berupa kuat tekan (*compressive strength*) dan kuat lentur (*flexural strength*). Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat lentur beton non pasir ini akan mempengaruhi pencampuran pada saat pengadukan. Beberapa variasi dari kekuatan beton non pasir adalah kandungan semen, ratio antara semen dan air, tingkat kepadatan agregat kasar dan kualitas dari gradasi agregat kasar harus sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Pada Gambar 2.24 menunjukkan grafik hubungan antara nilai kuat tekan beton non pasir dan kuat lentur beton non pasir. Dari grafik tersebut diketahui kuat tekan beton non pasir berbanding lurus dengan kuat lentur beton non pasir. Jika kuat tekannya semakin tinggi, maka kuat lentur dari beton non pasir tersebut akan semakin tinggi.



Gambar 2. 24 Hubungan kuat tekan beton dan kuat lentur beton (ACI, 2006)