

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa referensi yang berhubungan dengan obyek pembahasan. Penggunaan referensi ditujukan untuk memberikan batasan-batasan sistem yang nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut, dengan mengacu kepada referensi yang digunakan diharapkan pengembangan sistem nanti dapat melahirkan suatu sistem baru yang belum ada pada referensi sebelumnya.

Umumnya peningkatan mutu beton atau kuat tekan beton hanya disertai dengan peningkatan kecil dari kuat tarik maupun kuat lenturnya. Peningkatan kuat tekan beton yang disertai dengan kuat tarik beton atau kuat lentur, munculkan istilah beton serat. Penelitian tentang beton serat telah dilakukan, baik dengan melakukan pencampuran pada campuran beton normal maupun beton ringan.

Salah satu penelitian mengenai serat kawat bendrat yaitu oleh Suhendro (1991). Penelitian Suhendro mempelajari pengaruh fiber kawat pada sifat-sifat beton dan beton bertulang. Dalam penelitiannya digunakan tiga jenis kawat lokal yaitu kawat baja, kawat bendrat dan kawat biasa yang berdiameter ± 1 mm dengan panjang ± 60 mm. Konsentrasi fiber yang diteliti adalah 0,5% dan 1%. Diameter kerikil maksimal yang dipakai adalah 20 mm untuk mempermudah penyebaran fiber kawat secara merata kedalam adukan beton. Dari hasil pengujian, disimpulkan bahwa dengan adanya serat pada beton dapat mencegah membesarnya retak-retak rambut, dapat meningkatkan ketahanan terhadap kuat lentur, daktilitas, beban kejut (*impact resistance*) dan kuat desak.

Penelitian lain mengenai serat kawat bendrat yaitu oleh Nugraha Sagit Sahay dan Giris Ngini (Jurnal ISSN 1412 – 3388 Volume 5 Nomor 2 Desember 2010). Penelitian Nugraha Sagit Sahay dan Giris Ngini meneliti mengenai pengaruh penambahan kawat bendrat pada campuran beton terhadap kuat tarik beton, dalam penelitiannya diketahui bahwa Penambahan kawat bendrat diameter

0,8 mm dan panjang 5 cm yang dicampurkan ke dalam campuran beton ringan dengan persentase penambahan 0 %, 1 %, 2 %, 3 % dan 4 % terhadap volume cetakan dengan menggunakan agregat kasar lempung bekah dari Sei Gohong, disimpulkan sebagai berikut : 1. Penambahan kawat bendrat tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan beton ringan. 2. Kuat tekan rata-rata beton ringan maksimum dihasilkan pada penambahan kawat bendrat 2% sebesar 20,374 MPa.

Ramlan Tambunan dan Bambang Sugeng Priyono (Jurnal Rancang Sipil Volume 1 Nomor 1, Desember 2012) dengan judul Peningkatan Kualitas Beton dengan Penambahan Viber Bendrat, dalam penelitiannya diketahui bahwa fiber yang dipakai adalah fiber kawat bendrat dengan volume fraksi fiber 7,5 ; 10 dan 12,5% dari berat pemakaian semen. Perubahan mekanis beton diperoleh dari uji silinder beton 24 buah dan 8 buah balok beton berukuran 75 cm x 15 cm x 15 cm. Pengujian kapasitas lentur diperoleh dari balok lentur murni. Hasil penelitian menunjukkan dengan penambahan fiber menyebabkan kapasitas tekan silinder beton secara signifikan turun, sedangkan kuat tarik beton dan kuat lentur beton naik. Dengan mekanisme rekatan antara fiber dengan beton, kenaikan kekuatan lentur disebabkan tegangan tarik yang bekerja ke fiber dipindahkan ke permukaan fiber dengan beton di sekelilingnya. Adanya rekatan ini, pada akhirnya menyebabkan tegangan lentur ditahan sebagian oleh kuat tarik fiber tersebut. Kapasitas kuat tekan beton pada volume fraksi fiber 7,5 % diperoleh hasil yang paling baik.

(Kasno ,2006 skripsi) Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat kawat bendrat pada campuran beton dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah, kuat tekan, dan modulus elastisitas beton. Kuat tarik belah maksimal terdapat pada kadar serat 5 % yaitu sebesar 3,283 MPa kemudian untuk kadar serat 7,5% dan 10 % tampak bahwa beton mulai mengalami penurunan kuat tarik belah. yaitu sebesar 3,089 MPa dan 2,917 MPa. Namun nilai tersebut masih lebih tinggi dari beton normal 2,597 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton dengan kadar serat 7,5% dengan hasil rata-rata sebesar 37,77 MPa. Sedangkan pada kadar serat 10 %, beton mulai mengalami penurunan kuat tekan

sebesar 29,55 MPa. Nilai tersebut masih lebih tinggi dari kuat tekan beton normal yaitu sebesar 28,97 MPa. Kemudian dari data yang ada diolah menggunakan regresi polinomial sehingga mendapatkan hasil bahwa untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah beton maksimal dibutuhkan kadar serat sebesar 5,794 %. Sedangkan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton maksimal dibutuhkan serat sebesar 5,748 %.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Rodo Roy Naldi Silalahi dan Daniel Rumbi Teruna dengan judul perbandingan kuat lentur balok beton bertulang dengan pemakaian fiber baja dan pemakaian fiber bendrat, diperoleh balok beton bertulang dengan fiber baja tidak hanya mereduksi lendutan sebesar 25,7% tetapi juga mereduksi panjang retak total sebesar 45% bila dibandingkan dengan balok tanpa fiber. Sedangkan balok beton bertulang dengan pemakaian fiber bendrat mereduksi lendutan sebesar 18,6% dan mengurangi panjang retak total sebesar 36% bila dibandingkan dengan balok tanpa fiber. Akhirnya, dapat dinyatakan bahwa pemakaian fiber baja lebih baik daripada pemakaian fiber bendrat bila ditinjau dari lendutan dan pola retak, dan pemakaian fiber pada beton dapat meningkatkan kinerja balok beton bertulang.

Penelitian Mariance Napitupulu dan Besman Surbakti dengan judul analisa dan kajian eksperimental pengaruh penambahan serat bendrat (serat kawat) pada daerah tarik balok beton bertulang menunjukkan kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 37.22% jika menggunakan serat bendrat/kawat. Namun peningkatan signifikan terlihat pada kuat tarik beton, yaitu sebesar 74.52%. Pengujian balok menunjukkan terjadi penurunan lendutan sebesar 35.26%, dan peningkatan kapasitas lentur sebesar 27.97%.

Ivan Christian Lukito dalam skripsi dengan judul studi perilaku kuat geser pada beton dengan menggunakan serat kawat bendrat (1018 / FT.01 / SKRIP / 07 / 2011) , pada penelitian ini menggunakan sampel geser *double-L* berukuran 30 cm x 20 cm x 7.5 cm dan sampel geser kubus berukuran 30 cm x 15 cm x 10 cm. Sampel dibuat dengan mutu beton f_c' 25 MPa dengan variabel jumlah bendrat di dalam campuran beton sebanyak 0%, 4%, 6%, 8%, 10%, dan 12% terhadap jumlah semen. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sampel yang

menggunakan kawat bendrat sebanyak 8% terhadap jumlah semen dalam campuran beton memiliki kenaikan kekuatan geser langsung yang optimum.

Mengacu pada penelitian yang dilakukan sebelumnya, maka peneliti mencoba kembali pemakaian kawat bendrat untuk peningkatan kuat tekan dan kuat lentur beton pada campuran beton normal dengan komposisi yang berbeda, dimana pada penelitian sebelumnya belum ada yang secara khusus membahas tentang kuat lentur beton.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SNI-03-2847-2002). Menurut Pedoman Beton 1989, *Draft Konsesus* (SKBI.1.4.53, 1989: 4-5) beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau sembarang semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan.

Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari. Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (Portland Cement), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (admixture atau additive). Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan untuk agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%.

Disamping kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan beton langsung, seperti disebutkan oleh N. Jackson : “ *The quality of the concrete in the structure depends on the workmanship on site*” (Jackson, 1977 : 146).

Ada empat bagian utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton, yaitu : (1). Proporsi bahan-bahan penyusunnya, (2). Metode perancangan, (3).

Perawatan dan (4). Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan. (Teknologi Beton, Ir. Tri Mulyono, M.T, 2004).

2.2.2 Klasifikasi Beton

Sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat, Beton ini harus disesuaikan dengan kelas dan mutu beton (Mulyono, 2003). Menurut PBI-71 Beton dibagi dalam kelas dan mutu sebagai berikut :

Tabel 2.1. Kelas dan Mutu Beton

Kelas Beton	Mutu Beton	Kekuatan Tekan (Kg/cm ²)	Tujuan Pemakaian Beton
I	Bo	50 – 80	Non-Struktural
II	B1	100	Rumah Tinggal
	K125	125	Perumahan
	K175	175	Perumahan
	K225	225	Perumahan dan Bendungan
III	K > 225	> 225	Jembatan, Bangunan Tinggi, Terowongan Kereta Api

2.2.3 Materi Penyusun Beton

Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya (Navy, 1985 : 8). Sehingga untuk memahami dan mempelajari perilaku beton, diperlukan pengetahuan tentang karakteristik masing-masing komponen pembentuknya. Bahan pembentuk beton terdiri dari campuran agregat halus dan agregat kasar dengan air dan semen sebagai pengikatnya.

a. Semen

Semen berfungsi sebagai perekat butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan mengisi rongga-rongga di antara butir-butir agregat. Semen yang dimaksud di dalam konstruksi beton adalah bahan yang akan

mengeras jika bereaksi dengan air dan lazim dikenal dengan nama semen hidrolik (*hydraulic cement*). Salah satu jenis semen hidrolik yang biasa dipakai dalam pembuatan beton adalah semen portland (*portland cement*).

Menurut ASTM C-150,1985, Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Bahan baku semen yaitu kapur (CaO), Silika (SiO₂), dan alumina (Al₂O₃). Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut (PB. 1989 : 3 . 2 - 8)

Jenis-jenis semen portland yang sering digunakan dalam konstruksi serta penggunaannya :

1. Semen Portland type I

Fungsi semen portland tipe I digunakan untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memakai persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Cocok dipakai pada tanah dan air yang mengandung sulfat 0, 0% – 0, 10 % dan dapat digunakan untuk bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat, perkerasan jalan, struktur rel, dan lain-lain.

2. Semen Portland type II

Fungsi semen portland type II digunakan untuk konstruksi bangunan dari beton massa yang memerlukan ketahanan sulfat (Pada lokasi tanah dan air yang mengandung sulfat antara 0, 10 – 0, 20 %) dan panas hidrasi sedang, misalnya bangunan dipinggir laut, bangunan dibekas tanah rawa, saluran irigasi, beton massa untuk dam-dam dan landasan jembatan.

3. Semen Portland type III

Fungsi semen portland type III digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan awal tinggi pada fase permulaan setelah

pengikatan terjadi, misalnya untuk pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan tingkat tinggi, bangunan-bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat

4. Semen Portland type IV

Fungsi Semen Portland type IV digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas harus diminimalkan. Oleh karena itu semen jenis ini akan memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang Portland tipe I. Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses curing merupakan faktor kritis.

5. Semen Portland type V

Fungsi semen portland type V dipakai untuk konstruksi bangunan-bangunan pada tanah/ air yang mengandung sulfat melebihi 0, 20 % dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

Komposisi kimia dari kelima jenis semen tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2. (Nawy,1985:11).

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Semen

	Komposisi dalam persen (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Semen untuk semua tujuan.
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	2.8	0.6	3	Relatif sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar.
Tipe III, Kekuatan Awal Tinggi	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari.

	Komposisi dalam persen (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Tipe IV, Panas Hidrasi Rendah	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Di pakai pada bendungan beton.
Tipe V, Tahan Sulfat	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspose terhadap sulfat.

(Sumber : Tri Mulyono, 2004 : 39)

b. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang utuh, homogen, rapat, dan variasi dalam perilaku (Nawy, 1998). Berdasarkan ukuran besar butirnya, agregat yang dipakai dalam adukan beton dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

a) Agregat Halus (pasir alami dan buatan)

Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat halus ialah agregat yang semua butirnya menembus ayakan 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976).

Syarat Mutu Agregat Halus menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F yaitu:

- 1) Butirannya tajam, kuat dan keras
- 2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- 3) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %

- Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%
- 4) Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 5 %. Apabila lebih dari 5 % maka pasir harus dicuci.
 - 5) Tidak boleh mengandung zat organik, karena akan mempengaruhi mutu beton. Bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
 - 6) Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 1,5-3,8. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zone 1, 2, 3 atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - Sisa di atas ayakan 4,8 mm, mak 2 % dari berat
 - Sisa di atas ayakan 1,2 mm, mak 10 % dari berat
 - Sisa di atas ayakan 0,30 mm, mak 15 % dari berat
 - 7) Tidak boleh mengandung garam
- b) Agregat Kasar
- Agregat Kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal di atas ayakan 4.8 mm (SII.0052,1980) atau 4.75 mm (ASTM C33,1982) atau 5.0 mm (BS.812,1976).
- Syarat Mutu Agregat Kasar menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F yaitu:
- 1) Butirannya tajam, kuat dan keras
 - 2) Bersifat kekal, tidak pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
 - 3) Sifat kekal, apabila diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 12 %.
 - Jika dipakai Magnesium Sulfat , bagian yang hancur maksimum 10%.
 - 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur (bagian yang dapat melewati ayakan 0,060 mm) lebih dari 1 %. Apabila lebih dari 1 % maka kerikil harus dicuci.

- 5) Tidak boleh mengandung zat organik dan bahan alkali yang dapat merusak beton.
- 6) Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik, sehingga rongganya sedikit. Mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7,10 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - Sisa di atas ayakan 38 mm, harus 0 % dari berat
 - Sisa di atas ayakan 4,8 mm, 90 % - 98 % dari berat
 - Selisih antara sisa-sisa komulatif di atas dua ayakan yang berurutan, maks 60 % dan min 10 % dari berat.
- 7) Tidak boleh mengandung garam.

Standar Gradasi Agregat Normal

SK.SNI. T-15-1990-3 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari British Standard di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam 4 daerah (zona) seperti pada tabel 2.3 berikut :

Tabel 2.3. Batas Gradasi Agregat Halus (*British Standard*)

Lubang Ayakan (mm)	Berat butir yang lewat ayakan dalam persen			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-200	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber : Tri Mulyono, 2004 : 91)

Keterangan :

Daerah gradasi I = Pasir Kasar

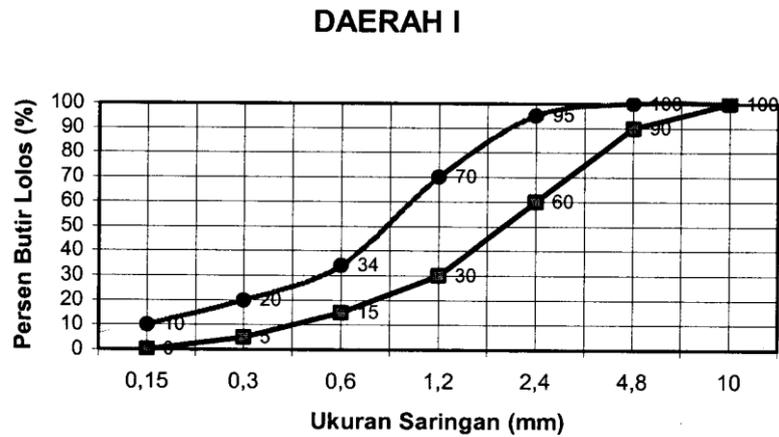
Daerah gradasi II = Pasir Agak Kasar (tidak halus dan tidak kasar)

Daerah gradasi III = Pasir Agak Halus

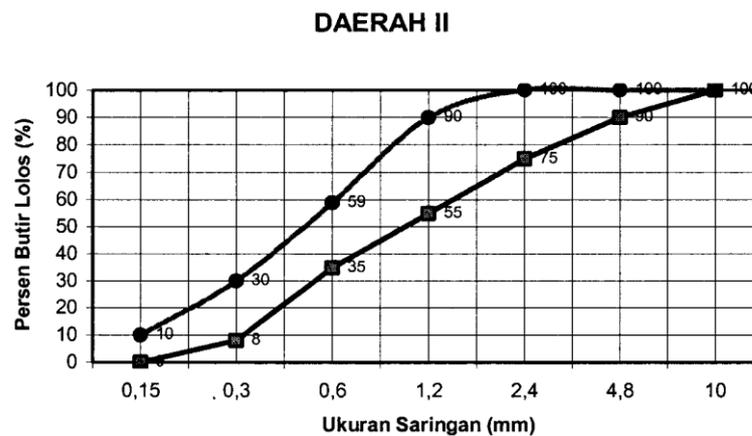
Daerah gradasi IV = Pasir Halus

Batas gradasi ini sering juga ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:

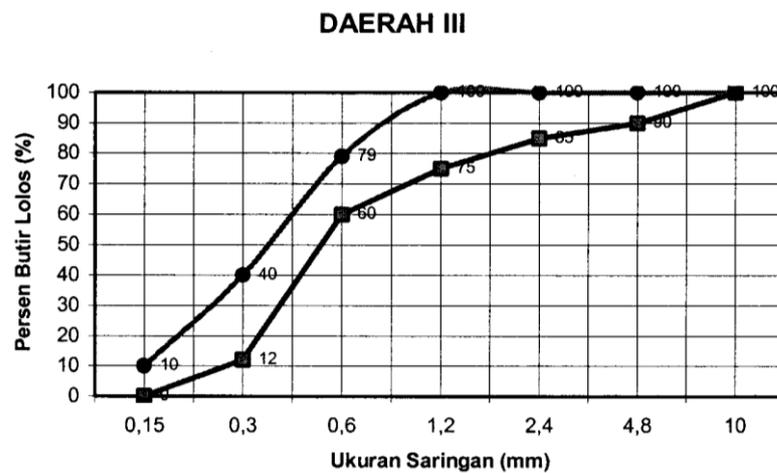
Grafik 2.1. Daerah Gradasi Pasir Kasar



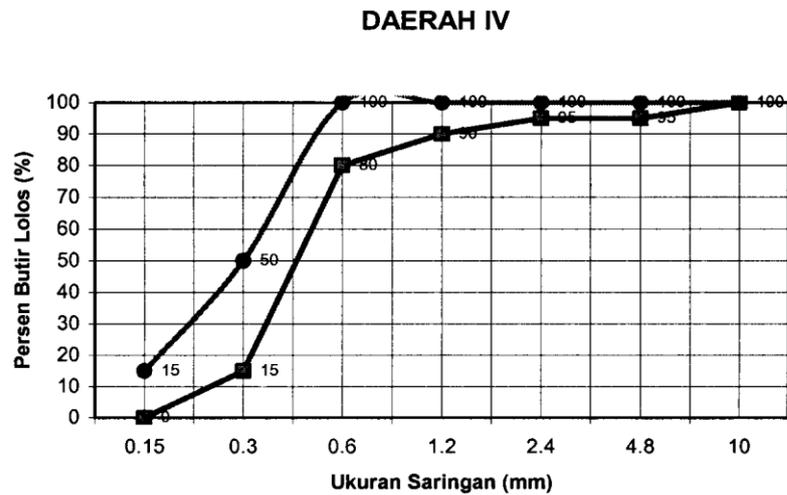
Grafik 2.2. Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar



Grafik 2.3. Daerah Gradasi Pasir Agak Halus



Grafik 2.4. Daerah Gradasi Pasir Halus

Tabel 2.4. Batas Gradasi Agregat Kasar (*British Standard*)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir lewat Ayakan, Besar Butir Maks		
	40 mm	20 mm	12.5 mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12.5	-	-	90-100
10	10-35	25-55	40-85
4.8	0-5	0-10	0-10

(Sumber : Tri Mulyono, 2004 : 94)

Standar Gradasi Agregat Campuran

Gradasi yang baik kadang sangat sulit didapatkan langsung dari suatu tempat (*quarry*). Dalam Praktek, biasanya dilakukan pencampuran agar didapatkan gradasi yang baik antara agregat kasar dengan agregat halus. SK.SNI T-15-1990-3:21 memberikan batasan gradasi yang diadopsi dari B.S , seperti pada tabel 2.5 sampai 2.8.

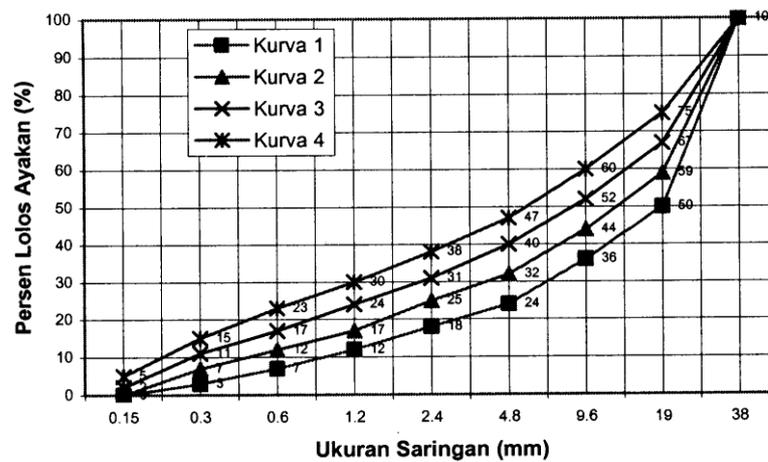
Tabel 2.5. Persen Butir Lewat Ayakan (%) untuk Agregat dengan Butir Maksimum 40 mm

Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
38	100	100	100	100
19	50	59	67	75
9.6	36	44	52	60
4.8	24	32	40	47
2.4	18	25	31	38
1.2	12	17	24	30
0.6	7	12	17	23
0.3	3	7	11	15
0.15	0	0	2	5

(Sumber : Tri Mulyono, 2004 : 94)

Disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut :

Grafik 2.5. Gradasi Standar Agregat Campuran - Butiran Maksimum 40 mm



Tabel 2.6. Persen Butir Lewat Ayakan (%) untuk Agregat dengan Butir Maksimum 30 mm

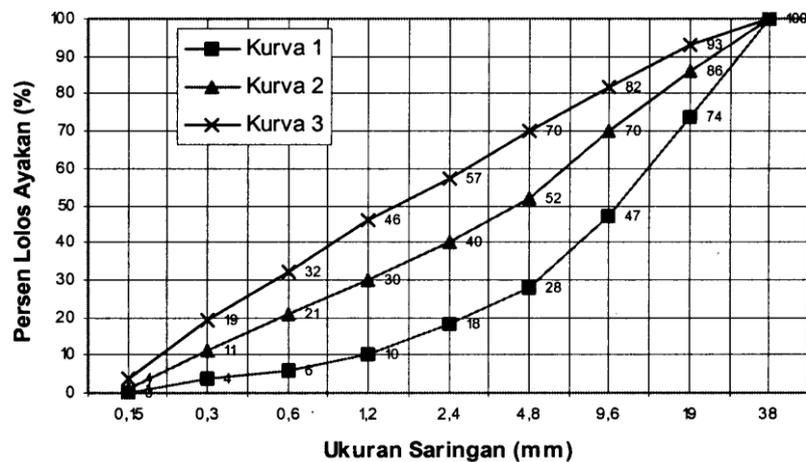
Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3
38	100	100	100
19	74	89	93
9.6	47	70	82
4.8	28	52	70

Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3
2.4	18	40	57
1.2	10	30	46
0.6	6	21	32
0.3	4	11	19
0.15	0	1	4

(Sumber : TriMulyono, 2004 : 95)

Disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut :

Grafik 2.6. Gradasi Standar Agregat Campuran - Butiran Maksimum 30 mm



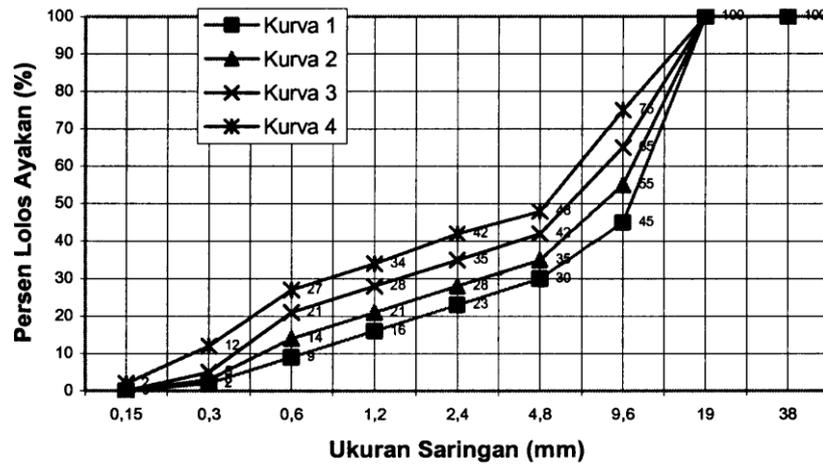
Tabel 2.7. Persen Butir Lewat Ayakan (%) untuk Agregat dengan Butir Maksimum 20 mm

Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
38	100	100	100	100
19	100	100	100	100
9.6	45	55	65	75
4.8	30	35	42	48
2.4	23	28	35	42
1.2	16	21	28	34
0.6	9	14	21	27
0.3	2	3	5	12
0.15	0	0	0	2

(Sumber : Tri Mulyono, 2004 : 95)

Disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut :

Grafik 2.7. Gradasi Standar Agregat Campuran - Butiran Maksimum 20 mm



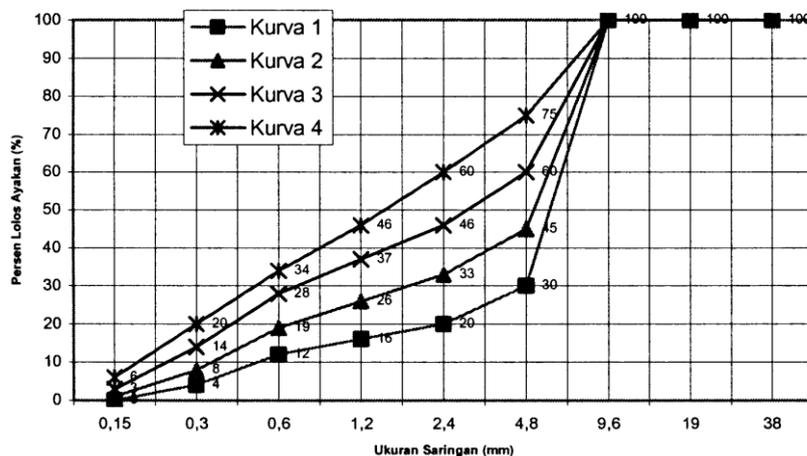
Tabel 2.8. Persen Butir Lewat Ayakan (%) untuk Agregat dengan Butir Maksimum 10 mm

Lubang Ayakan (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
38	100	100	100	100
19	100	100	100	100
9.6	100	100	100	100
4.8	30	45	60	75
2.4	20	33	46	60
1.2	16	26	37	46
0.6	12	19	28	34
0.3	4	8	14	20
0.15	0	1	3	6

(Sumber : Tri Mulyono, 2004 : 96)

Disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut :

Grafik 2.8. Gradasi Standar Agregat Campuran - Butiran Maksimum 10 mm



c. Air

Fungsi air di dalam adukan beton adalah untuk memicu proses kimiawi semen sebagai bahan perekat dan melumasi agregat agar mudah dikerjakan. Kualitas air yang digunakan untuk mencampur beton sangat berpengaruh terhadap kualitas beton itu sendiri.

Air yang berlebihan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan mempengaruhi kekuatan beton. Jika beton menggunakan air yang tidak memenuhi syarat, kekuatan beton pada umur 7 hari atau 28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air standar/suling (PB 1989:9).

Pada umumnya air yang dapat diminum dapat digunakan sebagai air pengaduk pada beton. Adapun jenis-jenis air yang dapat digunakan untuk air pengaduk beton adalah :

- a. Air hujan, air hujan menyerap gas dan udara pada saat jatuh ke bumi. Biasanya air hujan mengandung unsur oksigen, nitrogen dan karbondioksida.
- b. Air Tanah, Biasanya mengandung unsur kation dan anion. Selain itu juga kadang-kadang terdapat unsur CO₂, H₂S dan NH₃.

- c. Air permukaan, terdiri dari air sungai, air danau, air genangan dan air reservoir. Air sungai atau danau dapat digunakan sebagai air pencampur beton asal tidak tercemar limbah industri. Sedangkan air rawa atau air genangan yang mengandung zat-zat alkali tidak dapat digunakan.
- d. Air laut, Air laut mengandung 30.000 – 36.000 mg / liter garam (3 % - 3,6 %) dapat digunakan sebagai air pencampur beton tidak bertulang. Air laut yang mengandung garam di atas 3 % tidak boleh digunakan untuk campuran beton. Untuk beton pra tekan, air laut tidak diperbolehkan karena akan mempercepat korosi pada tulangnya.

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap :

1. Sifat workability adukan beton,
2. Besar Kecilnya nilai susut beton,
3. Kelangsungan reaksi dengan semen Portland, sehingga dihasilkan dan kekuatan selang beberapa waktu,
4. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Penggunaan air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram / liter,
2. Tidak mengandung garam-garam yang merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gram / liter,
3. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 5 gram / liter,
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram / liter.

2.3 Beton Serat

ACI (*American Concrete Institute*) memberikan definisi pada beton serat, yaitu suatu konstruksi yang tersusun dari bahan semen, agregat halus dan kasar serta sejumlah kecil serat (*fibre*).

Dalam ACI Comitte 544 dikatakan bahwa semua material yang terbuat dari baja/ besi yang berbentuk fisik kecil / pipih dan panjang dapat dimanfaatkan sebagai serat pada beton. Dalam ACI Comitte 544 secara umum fiber baja panjangnya antara 0,5 in (12,77 mm) sampai 2,5 in (63,57 mm) dengan diameter antara 0,017 in (0,45 mm) sampai 0,04 in (1,0 mm).

Maksud utama penambahan serat dalam beton adalah untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton sangat rendah. Kuat tarik yang sangat rendah berakibat beton sangat mudah retak, yang pada akhirnya mengurangi keawetan beton. Dengan adanya serat, ternyata beton menjadi lebih tahan retak. Perlu diperhatikan bahwa pemberian serat tidak banyak menambah kuat tekan beton, namun hanya menambah daktilitas. (Tjokrodimulyo, 1996)

Ada beberapa fiber yang sering dipakai dalam campuran beton, salah satunya ialah fiber baja.

Tabel 2.9. Sifat-Sifat Kawat yang Digunakan Sebagai Bahan Fiber Lokal (Suhendro, 2000)

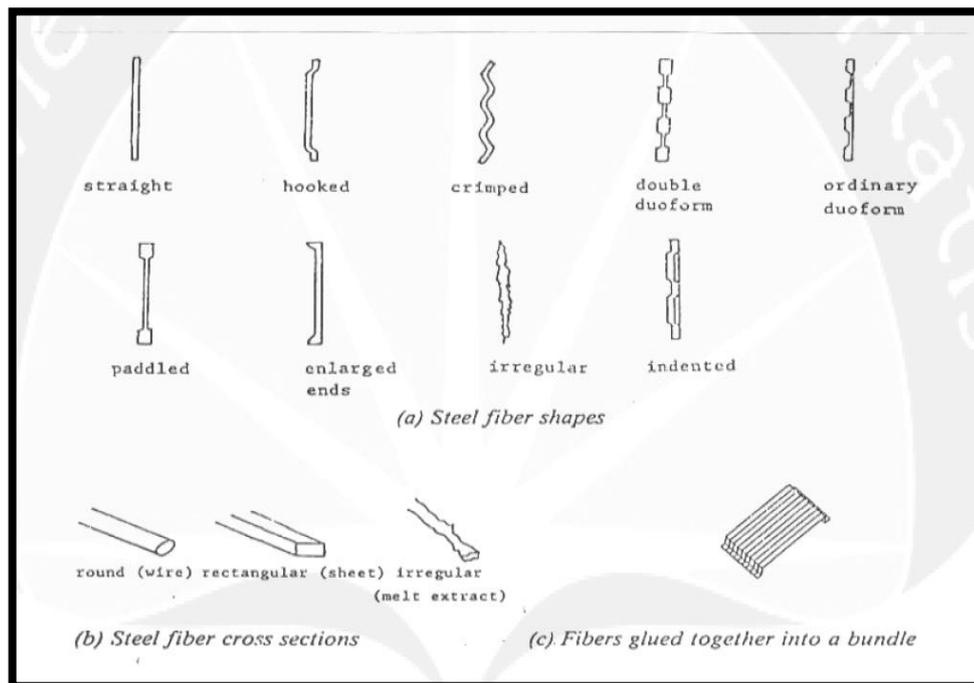
Jenis Kawat	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Pada Saat Putus (%)	Specific Gravity
Kawat Baja	230,0	10,5	7,77
Kawat Bendrat	38,5	5,5	6,68
Kawat Biasa	25,0	30,0	7,70

(Sumber : Studi perilaku..., Ivan Christian Lukito, FT UI, 2011)

Kelebihan fiber ini adalah kekuatan dan modulusnya yang tinggi, tetapi fiber ini juga mempunyai kelemahan yaitu sangat korosif. Hal ini akan terlihat bila ada sebagian dari fiber yang tidak terlindung/tertutup beton. Ada beberapa tipe fiber baja yang biasa digunakan :

1. Bentuk fiber baja (*steel fiber shapes*)
 - a. Lurus (*straight*)
 - b. Berkait (*hooked*)
 - c. Bergelombang (*crimped*)

- d. *Double duo form*
 - e. *Ordinary duo form*
 - f. Bundel (*paddled*)
 - g. Kedua ujung ditekuk (*enlarged ends*)
 - h. Tidak teratur (*irregular*)
 - i. Bergerigi (*indented*)
2. Penampang fiber baja (*steel fiber cross section*)
 - a. Lingkaran atau kawat (*round* atau *wire*)
 - b. Persegi atau lembaran (*rectangular* atau *sheet*)
 - c. Tidak teratur atau bentuk dilelehkan (*irregular* atau *melt extract*)
 3. Fiber dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fiber glued together into a bundle*). Tipe dari fiber baja dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Tipe Bentuk Fiber Baja

Dalam jurnal Analisis Pengaruh Penambahan Serat Kawat Berkait Pada Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat dimuat beberapa penelitian yang telah dilakukan pada beton berserat diantaranya sebagai berikut :

Tabel 2.10. Penelitian yang Telah Dilakukan Pada Beton Berserat

No.	Peneliti	Jenis Serat	Kesimpulan
1.	Brigg, Bowen, kolleck (1979)	Serat Karbon	Bila $l/d > 100$, penyebaran serat tidak merata, bila $l/d <$ ikatan beton dan fiber tidak baik.
2.	Naanan & Najam (1991)	Serat Baja	Sumbangan mekanis pull out serat baja deform pada mortar besarnya > 100 kali disbanding serat polos.
3.	Bayasi & Seng (1993)	Serat Polypropelene	Presentase volume srat $< 0,5\%$ tidak mempengaruhi <i>workability</i> , $> 0,5\%$ mempengaruhi <i>workability</i> .
4.	Suhendro (1997)	Serat Baja Kawat	Balok beton fiber memiliki kuat lentur dan retak meningkat 20% disbanding non fiber baik sebelum / setelah pembebanan.
5.	Sudarmoko (2002)	Serat Baja Harex	Nilai slump menurun dari rata-rata 5,75 cm (non serat) menjadi 0,75 cm (serat 0,49 %).
6.	Dessy Chrysnawaty & Sylvany (2002)	Serat Kain Sintesis	Kuat lentur beton mengalami peningkatan sampai konsentrasi serat 1%. Kuat tekan beton meningkat sampai konsentrasi serat 0,5%
7.	Ananta Ariatama (2005)	Serat Kawat Berkait	Kuat tekan meningkat 14,67 % Kuat lentur meningkat 48,06 %

(Sumber : Jurnal Analisis Pengaruh Penambahan Serat Kawat Berkait Pada Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat)

2.4 Kawat Bendrat Galvanis

Kawat bendrat berfungsi sebagai pengikat antar baja tulangan agar dapat membentuk struktur seperti yang dikehendaki, kawat bendrat yang digunakan pada penelitian ini ialah jenis kawat bendrat galvanis dimana pada kawat ini adanya proses pelapisan logam anti karat atau *non corrosive metal* pada besi. Galvanis dapat juga dikenali dari warnanya yang silver atau *bronzenamun* tidak mengkilat atau *doff*. Warna itu juga sering disebut *dull silver*. Untuk tingkat ketebalannya, galvanis punya tingkat ketebalan yang beragam, mulai dari 1 micron sampai 9 micron juga bahkan lebih. Untuk ketebalan 1 micron Salah satu jenis kawat bendrat yaitu kawat galvanis, kawat galvanis dipilih karena merupakan bahan yang mudah diperoleh serta tahan terhadap korosi akibat sifat porous dari beton ringan.



Gambar 2.2. Kawat Bendrat Galvanis

Proses galvanis ini memiliki dua macam cara, yang pertama adalah *Electro Plating* atau dalam bahasa proyek bisa disingkat dengan EP. Proses ini dengan cara memberikan aliran listrik dalam kolam galvanis. Sehingga partikel galvanis menempel pada besi sampai ketebalan yang diinginkan. Sedangkan proses yang kedua adalah *Hot Dip* galvanis atau dalam bahasa proyek biasa di singkat dengan HD. Proses yang kedua ini dengan cara mencelupkan besi ke dalam kolam galvanis panas.

2.5 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu oleh mesin tekan (SNI 03- 1974-1990).

Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan. Untuk benda uji dengan dimensi yang berbeda nilai kuat tekan beton didapat dengan mengkonversi hasil beton menggunakan faktor kali yang telah tersedia pada SNI 03- 1974-1990.

Berdasarkan SNI 1974:2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang.

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

(1) Rumus kuat tekan beton

$$\sigma_{bi} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

σ_{bi} = kuat tekan beton (kg/cm²)

P = Gaya maksimum dari mesin tekan (kg)

A = luas penampang yang diberi tekanan (cm²)

(2) Rumus kuat tekan beton rata rata

$$\sigma_{bm} = \frac{\sum \sigma_{bi}}{N} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

σ_{bm} = kuat tekan beton rata - rata (kg/cm²)

$\sum \sigma_{bi}$ = kuat tekan beton (kg/cm²)

N = Jumlah benda uji

(3) Rumus deviasi standar

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i^N (\sigma'_b - \sigma'_{bm})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

- S : deviasi standar (kg / cm²)
- N : jumlah benda uji
- σ'_b : kekuatan tekan yang didapat dari masing – masing benda uji (kg/cm²)
- σ'_{bm} : kekuatan tekan beton rata – rata (kg/cm²)

(4) Rumus kuat tekan beton karakteristik

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bk} - 1,64 s \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

- σ_{bk} = kuat tekan beton karakteristik (kg/cm²)
- σ_{bm} = kuat tekan beton rata - rata (kg/cm²)
- N = Standar Deviasi kg / cm²
- 1,64 = Konstanta

Dalam SNI 03- 1974-1990 ada beberapa ketentuan khusus yang harus diikuti, antara lain sebagai berikut :

1. Untuk benda uji berbentuk kubus ukuran sisi 20 x 20 x 20 cm cetakan diisi dengan adukan beton dalam 2 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 29 kali tusukan; tongkat pemadat diameter 16 mm, panjang 600 mm;
2. Untuk benda uji berbentuk kubus ukuran 15 x 15 x 15 cm, cetakan diisi dengan adukan beton dalam 2 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 32 kali tusukan; tongkat pemadat diameter 10 mm, panjang 300 mm;
3. Benda uji berbentuk kubus tidak perlu dilapisi;

4. Bila tidak ada ketentuan lain konversi kuat tekan beton dari bentuk kubus ke bentuk silinder, maka gunakan angka perbandingan kuat tekan seperti berikut :

Tabel 2.11 Daftar Konversi

Bentuk Benda Uji	Perbandingan
Kubus : 15 cm x 15 cm x 15 cm	1,0
: 20 cm x 20 cm x 20 cm	0,95
Silinder : 15 cm x 30 cm *)	0,83

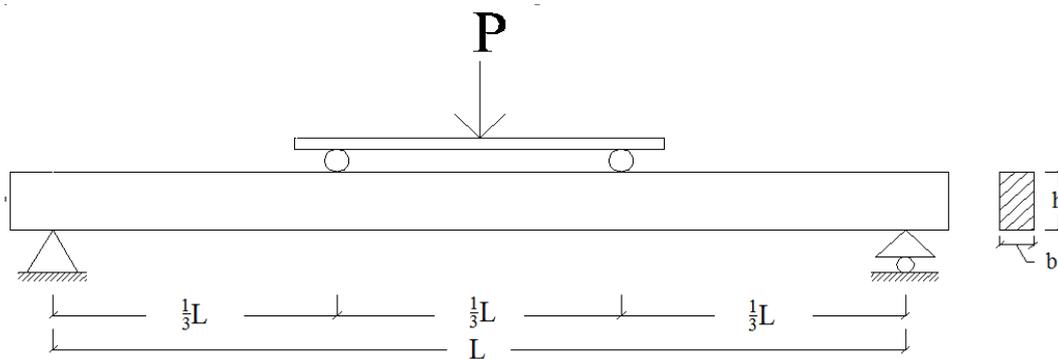
*) 15 cm = diameter silinder
20 cm = tinggi silinder

5. Pemeriksaan kekuatan tekan beton biasanya pada umur 3 hari, 7 hari, 14 dan 28 hari;
6. Hasil pemeriksaan diambil rata-rata dari minimum 3 buah benda uji;
7. Apabila pengadukan dengan tangan (hanya untuk perencanaan campuran beton), isi bak pengaduk maksimum 7 dm³ dan pengadukan tidak boleh dilakukan untuk campuran beton slump.

2.6 Kuat Lentur Balok Beton

Balok beton adalah bagian dari struktur yang berfungsi untuk menopang lantai di atasnya dan balok juga berfungsi sebagai penyalur momen menuju kolom-kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser.

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam MPa gaya tiap satuan luas. (SNI 03-4431-1997). Sketsa pengujian kuat lentur balok dapat ditunjukkan seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Sketsa Pengujian Kuat Lentur Balok

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam metode pengujian kuat lentur balok beton adalah sebagai berikut :

1. Pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat ($1/3$ jarak titik perletakan) di bagian tarik dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan :

$$f_{lt} = \frac{PL}{bh^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

2. Pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (diluar daerah $1/3$ jarak titik perletakan) di bagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan :

$$f_{lt} = \frac{3Pa}{bh^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

f_{lt} : kuat lentur balok beton (MPa)

P : beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N)

l : panjang bentang di antara kedua blok tumpuan (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 sisi titik dari bentang (mm)

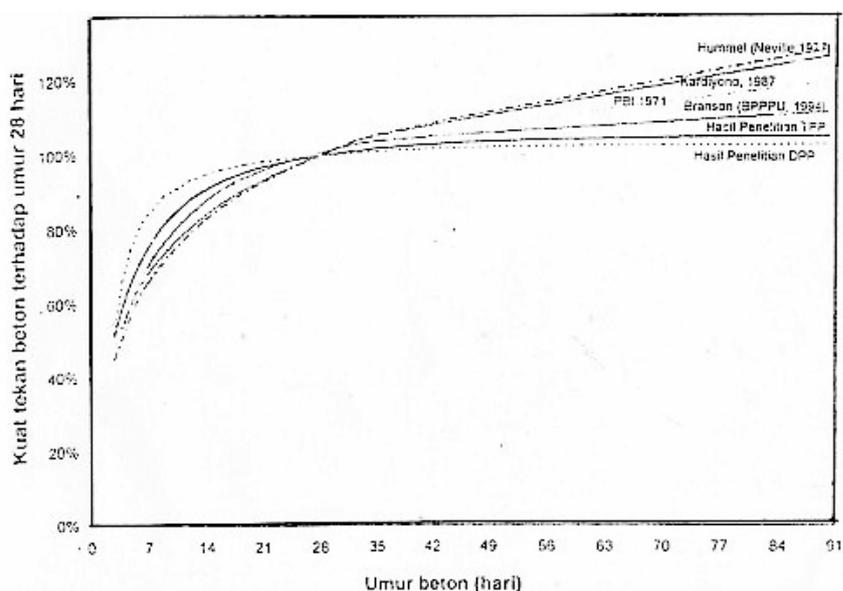
- Untuk benda uji yang patahnya di luar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak dipergunakan.

2.7 Umur Beton

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naiknya secara cepat (*linier*) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus-kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari.

Untuk struktur yang menghendaki kekuatan awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe 1 (OPC-I). Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya. (Teknologi Beton, Ir. Tri Mulyono, MT, 2004:137-138).

Kekuatan beton pada umur 28 hari dianggap telah mencapai 100%, Hubungan antara umur beton dan kekuatan beton dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Hubungan Antara Umur dan Kuat Tekan Beton (Suroso 2001 : 97)

Menurut Samekto dan Rahmadiyanto (2001: 44) pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, disebutkan perbandingan kekuatan tekan (desak) beton pada berbagai umur beton seperti disajikan pada tabel 2.12 dibawah ini.

Tabel 2.12. Perbandingan Kekuatan Beton Pada Berbagai Umur (Samekto dan Rahmadiyanto, 2001 : 44)

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen Portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

(Sumber : Kasno, FT UNNES, 2006)

2.8 *Workability*

Workability / Workabilitas merupakan tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan dan pemadatan. Suatu adukan dapat dikatakan *workable* jika memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a. *Plasticity*, artinya adukan beton harus cukup plastis (Kondisi antara cair dan padat), sehingga dapat dikerjakan dengan mudah tanpa perlu usaha tambahan ataupun terjadi perubahan bentuk pada adukan.
- b. *Cohesiveness*, artinya adukan beton harus mempunyai gaya-gaya kohesi yang cukup sehingga adukan masih saling melekat selama proses pengerjaan.
- c. *Fluidity*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk mengalir selama proses penuangan.
- d. *Mobility*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk bergerak / berpindah tempat tanpa terjadi perubahan bentuk.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan atau keenceran adukan beton. Makin cair adukan maka makin mudah pengerjaannya. Untuk mengetahui kelecakan suatu adukan beton biasanya dengan dilakukan pengujian *slump*. Semakin tinggi nilai *slump* berarti adukan beton

makin mudah untuk dikerjakan. Dalam praktek ada tiga macam tipe *slump* yang terjadi yaitu :

- a. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
- b. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir kebawah pada bidang miring.
- c. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.

2.9 Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara volume lubang-lubang kosong yang dimiliki oleh zat padat (volume kosong) dengan jumlah dari volume zat yang ditempati oleh zat padat.

Porositas pada suatu material dinyatakan dalam persen (%) rongga fraksi volume dari suatu rongga yang ada dalam material tersebut. Besarnya porositas pada suatu material bervariasi mulai dari 0% sampai dengan 90% tergantung dari jenis dan aplikasi material tersebut. Ada dua jenis porositas yaitu porositas tertutup dan porositas terbuka. Porositas tertutup pada umumnya sulit untuk ditentukan pori tersebut merupakan rongga yang terjebak didalam padatan dan serta tidak ada akses ke permukaan luar, sedangkan porositas terbuka ada akses ke permukaan luar, walaupun rongga tersebut ada ditengah-tengah padatan.

2.10 Prosedur Pengujian di Laboratorium

2.10.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Serta Agregat Halus

Dalam pengujian ini terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai langkah-langkah kerja sesuai dengan acuan yang dipakai, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai yang sebenarnya. Adapun pengujian ini meliputi sebagai berikut :

1. Agregat Halus

a. Berat Jenis Kering

$$B_j \text{ Kering} = \frac{B_k}{(B+B_j-B_t)} \dots\dots\dots(2.7)$$

b. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh Air (*Saturated Surface Dry*)

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh air (SSD)} = \frac{B_j}{(B+B_j-B_t)} \dots\dots\dots(2.8)$$

c. Berat Jenis Semu (*Apparent*)

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent)} = \frac{B_k}{(B+B_k-B_t)} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$d. \text{ Penyerapan (Absorption)} = \frac{B_j-B_k}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

B_j : Berat benda uji kering permukaan jenuh air

B_k : Berat benda uji kering oven

B : Berat piknometer berisi air

B_t : Berat piknometer berisi air dan benda uji

2. Agregat Kasar

a. Berat Jenis Kering

$$B_j \text{ Kering} = \frac{B_k}{(B_j-B_a)} \dots\dots\dots(2.11)$$

b. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh Air (*Saturated Surface Dry*)

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh air (SSD)} = \frac{B_j}{(B_j-B_a)} \dots\dots\dots(2.12)$$

c. Berat Jenis Semu (*Apparent*)

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent)} = \frac{B_k}{(B_k-B_a)} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$d. \text{ Penyerapan (Absorption)} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

B_j : Berat benda uji kering permukaan jenuh air

B_k : Berat benda uji kering oven

B_a : Berat benda uji didalam air

2.10.2 Pengujian Analisa Saringan.

Persentase berat benda uji yang tertahan diatas saringan

$$\alpha = \frac{A}{B} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

α : Persentase berat benda uji yang tertahan (%)

A : Berat benda uji yang tertahan diatas ayakan a mm

B : Berat benda uji total

Modulus halus butir adalah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Makin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar ukuran butir-butir agregatnya.

$$\text{Modulus kehalusan butir (MHB)} = \frac{\% \text{ Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100} \dots\dots\dots(2.16)$$

2.10.3 Pengujian Bobot Isi Agregat

$$\text{Bobot Isi Gembur} = \frac{\text{Berat Agregat Gembur}}{\text{Volume Bejana Silinder}} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\text{Bobot Isi Padat} = \frac{\text{Berat Agregat Padat}}{\text{Volume Bejana Silinder}} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots(2.18)$$

2.10.4 Pengujian Kadar Air Agregat

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen.

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat.

$$\text{Kadar Air} = \frac{\text{Berat awal (W3)} - \text{Berat Konstan (W5)}}{\text{Berat Konstan (W5)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.19)$$

2.10.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat

Kadar Lumpur bertujuan untuk memperoleh persentase kadar lumpur yang terkandung dalam agregat.

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{\text{Berat awal (B)} - \text{Berat akhir (C)}}{\text{Berat awal (B)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.20)$$

2.10.6 Pengujian Kadar Organik Agregat

Kadar organik ialah pencampuran agregat halus dengan menggunakan campuran larutan NaOH bertujuan untuk memperoleh persentase kadar organik yang terkandung dalam agregat.

2.10.7 Pematatan Beton

Metode pematatan dapat dilakukan dengan cara ditusuk, digetar dari dalam (dengan jarum getar/ getaran internal) atau digetar dari luar (dengan meja getar). Pemilihan metode yang akan digunakan berdasarkan nilai *slump* dari adukan beton yang akan digunakan.

Adukan beton dengan *slump* lebih dari 75 mm, pematatan dilakukan dengan cara ditusuk. *Slump* antara 25 sampai dengan 75mm dapat ditusuk atau digetar, dan *slump* dibawah 25 mm dilakukan dengan cara digetar. (SNI 03-2493-1991)

2.10.8 Perawatan Beton

Perawatan beton (*curing*) adalah suatu proses untuk menjaga tingkat kelembaban dan temperature ideal untuk mencegah hidrasi terjadi secara berkelanjutan. *Curing* secara umum dipahami sebagai perawatan beton, yang bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air, atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, segeralah setelah proses *finishing* beton selesai dan waktu total *setting* tercapai.

Tujuan pelaksanaan *curing* / perawatan beton adalah memastikan reaksi hidrasi senyawa semen termasuk bahan tambahan atau pengganti supaya dapat berlangsung secara optimal sehingga mutu beton yang diharapkan dapat tercapai, dan menjaga supaya tidak terjadi susut yang berlebihan pada beton akibat kehilangan kelembaban yang terlalu cepat atau tidak seragam, sehingga dapat menyebabkan retak.

Pelaksanaan *Curing*/ perawatan beton dilakukan segera setelah beton mengalami atau memasuki fase *hardening* (untuk permukaan beton yang terbuka) atau setelah pembukaan cetakan/ acuan/ bekisting, selama durasi tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton. Lamanya *curing* sekitar 7 hari berturut-turut mulai hari kedua setelah pengecoran.

Menurut SNI 03-2493-1991, perawatan benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Penutupan Setelah Penyelesaian

Untuk menjaga penguapan air dari beton segar, benda uji setelah diselesaikan/ dilicinkan harus ditutup dengan bahan yang tidak mudah menyerap air, tidak reaktif dan mudah digunakan, tetapi juga harus dapat menjaga kelembaban sampai saat contoh uji dilepas dari cetakan.

Bila digunakan lembaran plastik tersebut dihamparkan melebihi permukaan dari seluruh benda uji untuk menjaga kelembabannya.

Permukaan cetakan bagian luar harus dijaga jangan sampai berhubungan langsung dengan air selama 24 jam pertama setelah beton dicetak, sebab dapat merubah air dalam adukan dan menyebabkan rusaknya benda uji.

2. Pelepasan Benda Uji Cetakan

Lepaslah benda uji dari cetakan setelah 20 jam dan jangan lebih 48 jam setelah pencetakan.

3. Perawatan Benda Uji

Jika tidak ditentukan dengan cara lain, rendamlah seluruh benda uji dalam air yang mempunyai suhu $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ mulai pelepasan dari cetakan hingga saat pengujian dilakukan.

Ruang penyimpanan harus bebas dari getaran terutama pada waktu 48 jam pertama setelah benda uji disimpan.

Untuk pencetakan ulang, perlakuan kondisi perawatan harus sama seperti yang diuraikan di atas.

Kondisi perawatan seperti ini juga dapat dilakukan dengan cara merendam di dalam air yang jenuh kapur juga dapat disimpan di dalam ruang lembab atau dalam lemari lembab, benda uji harus dijaga dari tetesan air atau aliran air dari luar.