

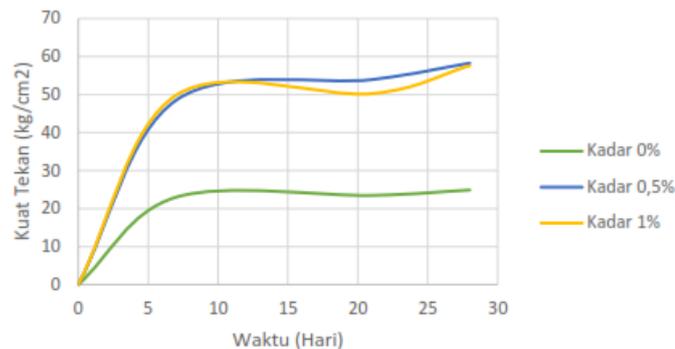
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Setiawan (2017) melakukan penelitian tentang beton mutu tinggi dengan bahan tambahan (*admixture*) untuk *rigid pavement*. *Admixture* yang digunakan pada penelitian ini berupa *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* dengan tiga variasi yaitu 0% dari berat semen, 0,5% dari berat semen dan 1% dari berat semen dan kemudian diuji kuat tekan beton.

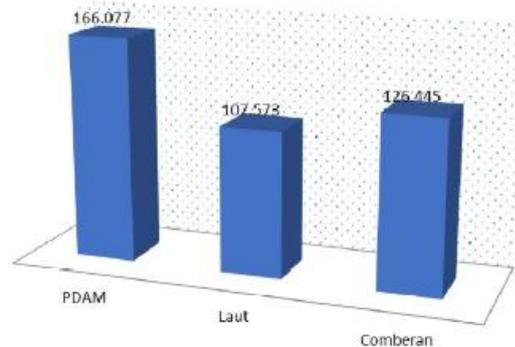


Gambar 2. 1 Hubungan Umur Beton dengan Kuat Tekan Beton (kg/cm^2)
(Setiawan, 2017)

Pada Gambar 2.1 disajikan hasil uji hubungan antara umur beton dengan kuat tekan beton dari penelitian ini, disimpulkan bahwa kuat tekan beton tertinggi terdapat pada campuran beton dengan variasi 1%. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Setiawan (2017) adalah pada variasi bahan tambah tambah pada beton *admixtures*. Perbedaan variasinya yaitu pada penggunaan *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* dengan variasi 0%, 0,5% dan 1% pada penelitian terdahulu sedangkan pada penelitian sekarang penggunaan variasi *Plastocrete 06* sebesar 0,6% dan *Sikament NN* sebesar 2,3%.

Saputra dan Hepiyanto (2017) melakukan penelitian tentang perendaman beton sebagai perawatan pada beton dengan menggunakan tiga macam air yang berbeda pada beton f_c 14,53 MPa. Air yang digunakan untuk merendam beton pada

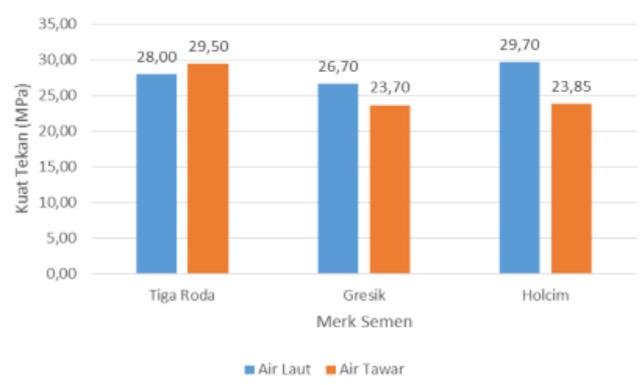
penelitian ini adalah air PDAM, air laut dan air comberan kemudian diuji kuat tekan beton.



Gambar 2. 2 Bar chat Hasil Kuat Tekan (Saputra dan Hepiyanto, 2017)

Pada Gambar 2.2 disajikan hasil uji kuat tekan beton umur 7 hari, disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton menggunakan air PDAM mendekati K-175 (14,53 MPa) dibandingkan air laut dan air comberan. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Saputra dan Hepiyanto (2017) adalah pada penggunaan air perendaman. Pada penelitian terdahulu perendaman menggunakan air PDAM, air laut dan air comberan. Sedangkan pada penelitian sekarang perendaman menggunakan air konsentrasi basa (NaOH) dengan pH > 8,5.

Prayuda dan Pujianto (2018) melakukan penelitian tentang perendaman beton sebagai perawatan pada beton dengan menggunakan air laut dan air tawar. Penelitian ini juga menggunakan tiga macam semen yang berbeda dalam pembuatan beton sampel benda uji yang kemudian diuji kuat tekan beton.



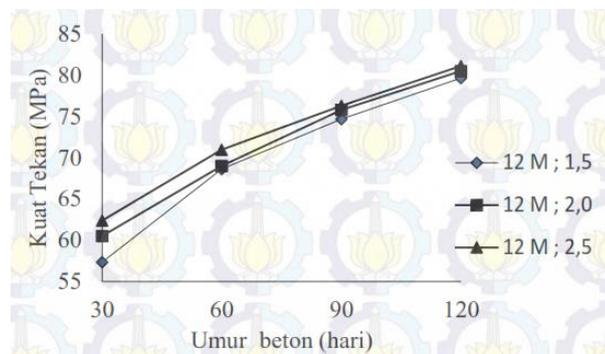
Gambar 2. 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Umur 28 hari (Prayuda dan Pujianto, 2018)

Pada Gambar 2.3 disajikan hasil uji penelitian ini, disimpulkan bahwa hasil kuat tekan beton menggunakan semen Holcim pada perendaman air laut lebih tinggi

dibandingkan semen Tiga Roda dan semen Gresik sedangkan kuat tekan beton menggunakan semen Tiga Roda pada perendaman air tawar lebih tinggi dibandingkan semen Holcim dan semen Gresik. Hasil penyerapan disimpulkan bahwa bertambahnya waktu perendaman pada air laut lebih besar dibanding perendaman pada air tawar.

Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Prayuda dan Pujianto (2018) adalah pada penggunaan air perendaman. Pada penelitian terdahulu perendaman menggunakan air laut dan air tawar pada 3 variasi semen. Sedangkan pada penelitian sekarang perendaman menggunakan air konsentrasi basa (NaOH) dengan pH > 8,5 pada beton *admixtures*.

Simanjuntak (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh alkali terhadap penetrasi *ion chlorida* pada beton geopolimer. Alkali aktivator sebagai tambahan campuran pada beton geopolimer dan dipenetrasi dengan *ion chlorida* kemudian perendaman dengan air tawar dan air laut dengan simulasi air mengandung pH 8,1. Pada Gambar 2.4 disajikan hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa kenaikan kuat tekan beton geopolimer semakin meningkat pada rendaman air laut (garam) dengan pH 8,1.



Gambar 2. 4 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton 12M dengan Rasio Alkali 1,5 ; 2 ; 2,5 (Simanjuntak, 2016)

Pengujian benda uji dalam penelitian ini adalah kuat tekan beton dan *resistivity test* pada beton. Pada Tabel 2.1 disajikan hasil penelitian ini, bahwa nilai resistivitas benda uji mencapai 99 kΩ.cm untuk semua variasi. Maka, dapat disimpulkan bahwa beton tersebut tahan akan resiko terkena korosi sangat lambat. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Simanjuntak (2016) adalah pada penggunaan alkali. Pada penelitian terdahulu penggunaan alkali sebagai bahan campuran beton geopolimer. Sedangkan pada penelitian sekarang

penggunaan alkali (lingkungan basa) sebagai perendaman beton dengan *admixtures*.

Tabel 2. 1 Hasil Uji *Resistivity* (Simanjuntak, 2016)

Variasi	Nilai Resistansi (k Ω .cm)			
	30 hari	60 hari	90 hari	120 hari
8 M : 1,5	99	99	99	99
8 M : 2	99	99	99	99
8 M : 2,5	99	99	99	99
10 M : 1,5	99	99	99	99
10 M : 2	99	99	99	99
10 M : 2,5	99	99	99	99
12 M : 1,5	99	99	99	99
12 M : 2	99	99	99	99
12 M : 2,5	99	99	99	99
OPC	99	99	99	99

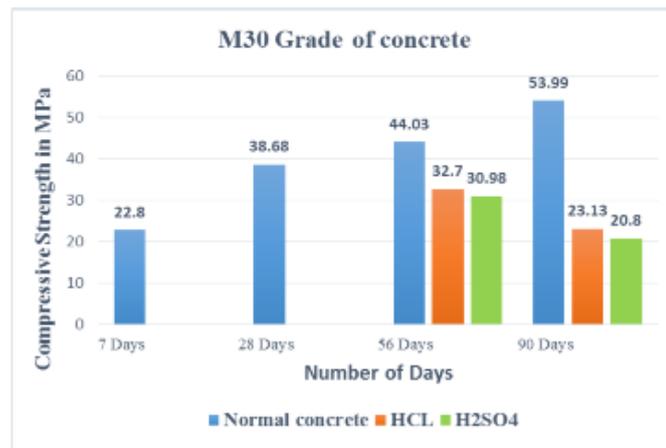
Kurda dkk., (2019) melakukan penelitian tentang penyerapan air (*water adsorbtion*) terhadap beton dengan campuran *fly ash* dan menggunakan agregat daur ulang juga *superplastizier*. Pada penelitian ini digunakan pengujian penyerapan air dengan perendaman, penyerapan air dengan kapilaritas dan pengujian resistivitas. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Kurda dkk., (2019) adalah pada bahan tambah dan pada campuran beton. Pada penelitian terdahulu penggunaan agregat daur ulang sebagai material agregat dan bahan tambah berupa *fly ash* pada campuran beton. Sedangkan pada penelitian sekarang penggunaan bahan tambah berupa *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* pada campuran beton.

Mixes	M1	M1 _{sp}	M2	M3	M3 _{sp}	M4	M5	M5 _{sp}	M6	M7	M7 _{sp}	M8	M9	M9 _{sp}
28 days	98	220	80	72	142	197	155	381	145	230	633	194	170	460
90 days	147	238	120	110	155	417	330	516	310	490	960	450	421	760
180 days	162	250	134	124	165	521	413	610	400	809	1296	748	715	1050
365 days	170	256	142	132	170	586	465	666	462	1040	1523	970	930	1250
Mixes	M10	M10_{sp}	M11	M12	M12_{sp}	M13	M14	M14_{sp}	M15	M16	M16_{sp}	M17	M18	M18_{sp}
28 days	88	195	73	66	134	183	145	340	135	210	570	180	165	430
90 days	140	212	112	101	146	390	310	462	290	455	870	435	415	680
180 days	155	225	126	115	156	500	410	580	382	755	1195	725	710	990
365 days	164	232	134	123	161	571	480	654	447	975	1418	940	925	1219

Gambar 2. 5 Nilai Resistivitas Beton Campuran 28, 90, 180, dan 365 hari (Ω .m)
(Kurda dkk., 2019)

Pada Gambar 2.5 disajikan hasil dari pengujian resistivitas penelitian ini yang disimpulkan bahwa beton dengan agregat daur ulang menurunkan nilai resistivitas dan begitu juga sebaliknya pada beton dengan campuran *fly ash*.

Patel dkk., (2017) melakukan penelitian tentang beton kubus M30 dan beton mikro yang direndam dengan 5% HCl dan 5% H₂SO₄. Pada penelitian ini digunakan pengujian kuat tekan beton untuk menentukan nilai beban yang diterima beton dalam kondisi korosi akibat paparan bahan kimia.

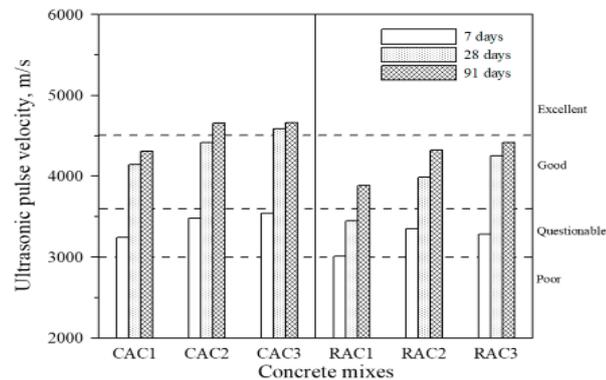


Gambar 2. 6 Grafik Kuat Tekan Beton Kubus M30 (Patel dkk., 2017)

Pada Gambar 2.6 disajikan hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa beton kubus M30 pada *curing* air normal memiliki kuat tekan tertinggi sebesar 53,99 MPa pada umur 90 hari dan disimpulkan bahwa beton kubus *curing* HCl dan H₂SO₄ mengalami penurunan pada umur 90 hari. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Patel dkk., (2017) adalah pada jenis air perendaman (*curing*). Pada penelitian terdahulu digunakan beton tanpa bahan tambah dan perendaman dengan 5% HCl dan 5% H₂SO₄, sedangkan pada penelitian sekarang digunakan beton dengan bahan tambah *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* serta perendaman dengan NaOH pH $\pm 8,5$.

Lee (2019) melakukan penelitian tentang beton dengan bahan tambah berupa serat nylon dan agregat daur ulang. Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan serat nylon dengan agregat daur ulang terhadap permeabilitas dan sifat mekanik beton tersebut. Salah satu pengujian yang dilakukan adalah pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*. Pada Gambar 2.7 disajikan hasil pengujian pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa benda uji

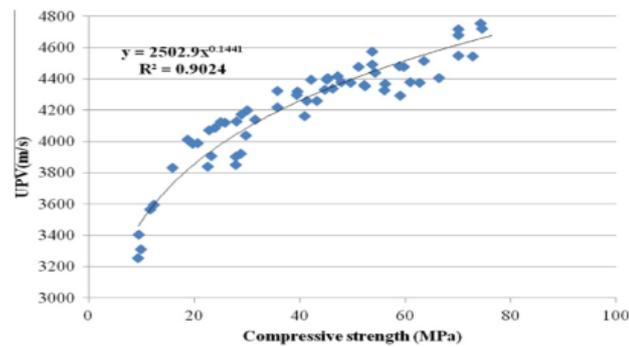
dengan penambahan serat nylon dan agregat daur ulang lebih rendah dibanding benda uji dengan penambahan nylon dan agregat alami.



Gambar 2. 7 *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dari Beton Campuran (Lee, 2019)

Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Lee (2019) adalah pada bahan tambah campuran beton. Pada penelitian terdahulu dilakukan pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* pada beton dengan penggunaan agregat daur ulang sebagai material agregat dan bahan tambah berupa *nylon fiber* atau serat nylon pada campuran beton. Sedangkan pada penelitian sekarang dilakukan pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* pada beton dengan penggunaan bahan tambah berupa *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* pada campuran beton.

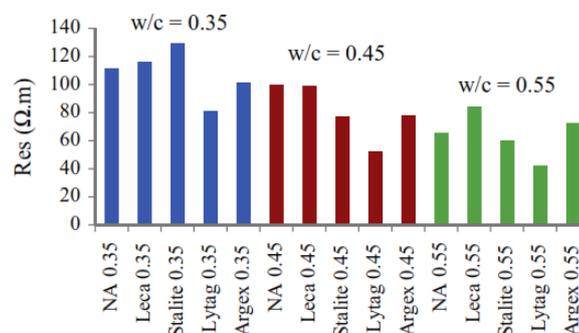
Kou dan Poon (2015) melakukan penelitian tentang kualitas beton dengan agregat daur ulang dan tambahan campuran berupa *fly ash*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kualitas beton terhadap material agregat daur ulang dengan beberapa pengujian salah satunya pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dan menghasilkan hubungan kuat tekan beton dengan hasil *UPV*. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Kao dan Poon (2015) adalah pada bahan tambah pada campuran beton. Pada penelitian terdahulu dilakukan pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* pada beton dengan bahan tambah berupa *fly ash* dan penggunaan agregat daur ulang sebagai bahan material. Sedangkan pada penelitian sekarang dilakukan pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* pada beton dengan bahan tambah berupa *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* pada campuran beton. Pada Gambar 2.8 disajikan grafik hubungan hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kuat tekan beton dan nilai *UPV* pada kedua macam campuran beton sangat baik.



Gambar 2. 8 Hubungan Antara Kuat Tekan dengan *UPV* Seluruh Beton Campuran (Kou dan Poon, 2015)

Real dkk., (2015) melakukan penelitian tentang karakteristik resistensi penetrasi *ion chlorida* dari beton agregat ringan struktural yang disebut SLWAC dengan bahan material penyusunnya berbagai jenis agregat dengan tambahan bahan pengikat untuk kuat tekan sekitar 20 – 65 MPa. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah penyerapan air, resistivitas dan penetrasi *ion chlorida*. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya milik Real dkk., (2015) salah satunya adalah bahan material penyusunnya. Pada penelitian terdahulu dilakukan pengujian resistivitas pada beton dengan bahan material beberapa tipe agregat dengan bahan tambah *fly ash* dan *silica fume*. Sedangkan pada penelitian sekarang dilakukan pengujian resistivitas pada beton normal dengan bahan tambah berupa *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* pada campuran beton.

Pada Gambar 2.9 disajikan hasil dari pengujian resistivitas dari berbagai jenis agregat yang digunakan sebagai sampel benda uji dan variasi w/c, maka dapat disimpulkan bahwa hubungan antara nilai resistivitas listrik dengan tipe agregat tidak jelas sehingga pengujian resistivitas ini sulit untuk menganalisis pengaruh dari faktor yang kurang relevan seperti tipe agregat ini.



Gambar 2. 9 Resistivitas Listrik dari Campuran CEM I (Real dkk., 2015)

Anggraeni dkk. (2013) melakukan penelitian tentang perkiraan kuat tekan beton dari hasil pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)* dengan menggunakan persamaan regresi dari penelitian terdahulu di negara lain. Pengujian pada penelitian ini adalah *UPVT* dan kuat tekan beton untuk membandingkan hasil kuat tekan beton aktual dengan kuat tekan beton hasil perhitungan. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu milik Anggraeni dkk. (2013) adalah pada beton yang digunakan dan formula perhitungan yang digunakan. Pada penelitian dahulu digunakan beton konvensional K-200 dan digunakan formula Mahure dkk, Kurtulus dan Bozkurt, dan Orioz dkk. Sedangkan pada penelitian sekarang digunakan beton K-400 dengan *admixtures* dan digunakan formula perhitungan dari Mahure (2011).

Tabel 2. 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Aktual Beton 28 Hari (Anggraeni dkk, 2013)

No sampel	Kode	Kekuatan tekan silinder (N/mm ²)	Kekuatan tekan kubus (N/ mm ²)
1	A1	22,58	27,20
2	A2	23,29	28,06
3	A3	18,45	22,23
4	A4	26,33	31,72
5	A5	19,05	22,95
6	A6	18,89	22,76
7	A7	17,11	20,61
8	A8	21,59	26,01
9	A9	21,67	26,11
10	A10	24,65	29,70
Rerata		21,36	25,75
SD		2,96	3,57
CV		13,86%	13,86%
Kek Tekan Karakteristik (K)	= Rerata - 1,64 SD	= 19,89 N/mm ² ≈ 20 N/mm ²	

Tabel 2. 3 Hasil Pengujian Tes *UPV* (Anggraeni dkk., 2013)

No	Kode sampel	Kecepatan gelombang UPV (Km/ det)
1	A1	3,72
2	A2	3,69
3	A3	3,87
4	A4	3,83
5	A5	3,64
6	A6	3,91
7	A7	3,89
8	A8	3,85
9	A9	3,85
10	A10	3,80
Rerata (km/ det)		3,81
SD (km/ det)		0,09
CV (%)		2,34

Pada Tabel 2.2 disajikan hasil kuat tekan aktual beton 28 hari sedangkan pada Tabel 2.3 disajikan hasil pengujian *UPVT*. Dari hasil pengujian tersebut didapat

kesimpulan bahwa formula Mahure dkk untuk beton M20 mendekati hasil kuat tekan beton aktual dengan rerata kekuatan beton sebesar 8%, perkiraan kekuatan beton dari tes *UPV* dari mutu beton yang sesuai target mutu beton rencana yang hasilnya paling mendekati kekuatan beton tersebut, dan formula berdasarkan campuran beton tanpa tahu kekuatan aktualnya, tidak selalu dapat digunakan untuk perkiraan kekuatan beton yang dibuat dari campuran beton yang sama.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Beton

Menurut Pedoman Beton 1989 (dalam Tri Mulyono, 2004), beton didefinisikan sebagai campuran semen *portland* atau sembarang semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan. Beton juga didefinisikan oleh Tjokrodimulyo (2007) yaitu suatu bahan campuran (komposit) dari beberapa material yang terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambahan lain dengan perbandingan atau perencanaan tertentu.

Beton sering digunakan dalam ranah teknik sipil khususnya pada pembangunan suatu konstruksi. Beton juga digunakan dalam bidang sarana transportasi yaitu jalan raya sebagai bagian struktur jalan salah satunya untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*). Tentunya mutu beton yang direncanakan sesuai dengan spesifikasi yang digunakan. Menurut Bina Marga Spesifikasi Umum Jalan 2018, spesifikasi mutu beton yang digunakan terdapat dalam Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 4 Mutu Beton dan Penggunaan (Bina Marga, 2018)

Jenis Beton	f_c' (MPa)	Uraian
Mutu Tinggi	$f_c' \geq 45$	Umumnya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, pelat beton pratekan, diafragma pratekan, dan sejenisnya.
Mutu sedang	$20 \leq f_c' < 45$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non pratekan, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.

Tabel 2. 5 Mutu Beton dan Penggunaan (Bina Marga, 2018) (Lanjutan)

Mutu rendah	$15 \leq f_c' < 20$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, dan trotoar.
	$f_c' < 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

2.2.2. Komposisi Beton

Komponen material penyusun beton pada umumnya tersusun dari campuran bahan material yaitu semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh material penyusunnya sehingga material yang digunakan adalah material yang memenuhi syarat tertentu.

2.2.1.1. Semen

Semen merupakan bahan campuran sebagai pengikat bahan material dalam beton. Semen terdiri dari unsur bahan mentah yang dicampur menjadi bentuk serbuk halus sehingga menghasilkan suatu bahan perekat yang bila ditambah air akan menimbulkan reaksi hidrasi, sehingga dapat mengeras dan digunakan sebagai pengikat.

Berdasarkan ASTM C150 (2019), jenis dan penggunaan semen *portland* di Indonesia antara lain sebagai berikut:

1. Jenis I yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang dalam penggunaannya lebih khusus pada ketahanan terhadap sulfat sedang.
3. Jenis III semen *portland* yang untuk penggunaan umum yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2.1.2. Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir alami, pasir produksi atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus tidak boleh lebih dari 45% yang lolos saringan dan tertahan pada susunan saringan berikutnya berturut-turut dan memiliki modulus halus butiran tidak kurang dari 2,3 dan tidak lebih dari 3,1 (ASTM C33, 2013). Agregat halus sebagai salah satu bahan material pada campuran beton harus memenuhi spesifikasi dan memiliki gradasi yang baik. Sifat fisik agregat halus untuk adukan harus memenuhi syarat gradasi seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Persyaratan Gradasi Agregat Halus (ASTM C33, 2013)

Ukuran Saringan		Persen Lolos
3/8 in	9,5 mm	100 - 100
no. 4	4,75 mm	95 - 100
no. 8	2,36 mm	80 - 100
no. 16	1,18 mm	50 - 85
no. 30	600 μ m	25 - 60
no. 50	300 μ m	5 - 30
no. 100	150 μ m	0 - 10
no. 200	75 μ m	0 - 0,3

2.2.1.3. Agregat Kasar

Agregat kasar terdiri dari kerikil, kerikil remuk, batu pecah, terak tanur tinggi atau beton semen hidrolis yang dihancurkan (ASTM C33, 2013). Agregat kasar sebagai salah satu bahan material pada campuran beton harus memenuhi spesifikasi yang baik. Sifat fisik agregat halus untuk adukan harus memenuhi syarat gradasi seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Persyaratan Agregat Kasar (ASTM C33, 2013)

Ukuran Saringan		Persen Lolos		
		Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
3 in	75 mm	-	-	100 - 100
1,5 in	37,5 mm	-	100 - 100	95 - 100
3/4 in	19 mm	100 - 100	95 - 100	30 - 60
3/8 in	9,5 mm	50 - 85	30 - 60	0 - 10
no. 4	4,75 mm	0 - 10	0 - 10	0 - 5

2.2.1.4. Air

Air sebagai salah satu penyusun beton harus jernih dan tampak bersih sebagai larutan dalam campuran beton. Apabila air mengandung jumlah zat yang menghitamkan atau membuat air bau atau memiliki rasa yang tidak biasa atau tidak enak dan menyebabkan kecurigaan, air tersebut tidak boleh digunakan kecuali terdapat catatan dari beton yang terbuat dari air tersebut atau terdapat informasi lain yang menunjukkan bahwa air tersebut tidak merusak kualitas beton (ASTM C94, 2004).

2.2.3. Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah (*admixture*) adalah bahan selain unsur utama penyusun beton yang ditambahkan pada adukan beton. Bahan tambah ini bertujuan untuk mengubah satu atau lebih sifat yang terdapat dalam beton sehingga diperoleh kemudahan pekerjaan (*workability*), memperlambat atau mempercepat waktu ikat (*setting time*), kepadatan dan keawetan. Pada umumnya penambahan *admixture* ini hanya sedikit yaitu beberapa persen (%) dari berat semen.

Bahan tambah kimia (*chemical admixture*) dapat berupa cairan atau bubuk yang ditambahkan pada campuran beton. Menurut ASTM C494 (2004) bahan kimia dikelompokkan sebagai berikut:

1. Tipe A (*Water Reducing Admixture*)

Berfungsi mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai konsistensi yang ditetapkan, sehingga fas lebih kecil, kuat tekan beton meningkat dengan tingkat kemudahan pengerjaan (nilai slump) yang sama, atau dengan fas yang sama (tanpa pengurangan air), diperoleh beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan lebih baik/tinggi.

2. Tipe B (*Retarding Admixture*)

Berfungsi memperlambat waktu pengikat beton (*setting time*), penggunaannya antara lain untuk memperpanjang waktu pematangan sehingga terhindari dari *cold joint* (sambungan beto lama / sudah mulai mengeras dengan beton baru).

3. Tipe C (*Accelerating Admixtures*)

Berfungsi mempercepat waktu pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

4. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)

Berfungsi ganda, mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai konsistensi yang ditetapkan dan memperlambat waktu pengikatan awal beton.

5. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Berfungsi ganda mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai konsistensi yang ditetapkan dan mempercepat waktu pengikatan awal karena air dikurangi maka menambah kekuatan beton.

6. Tipe F (*Water Reducing High Range Admixtures*)

Berfungsi mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan.

Plastocrete RT06 dan *Sikament NN* merupakan jenis dari bahan kimia sebagai *admixtures* pada beton. Menurut data yang didapat dari PT. Sika Indonesia, *Plastocrete RT06* adalah bahan campuran beton yang dapat mereduksi (mengurangi) penggunaan air pada campuran beton serta mengontrol waktu pengerasan. *Admixture* ini termasuk pada tipe D sesuai dengan ASTM C494 (2004) dengan dosis penggunaan $\pm 0,2\% - 0,6\%$ dari berat semen. Sedangkan *Sikament NN* adalah *superplasticizer* yang dapat mereduksi (mengurangi) jumlah penggunaan air dengan jumlah yang besar namun dapat mempercepat pengerasan serta menghasilkan beton dengan kekuatan awal dan akhir yang tinggi. *Admixture* ini termasuk pada tipe F sesuai dengan ASTM C494 (2004) dengan dosis penggunaan $\pm 0,3\% - 2,3\%$ dari berat semen.

2.2.4. Basa

Basa atau alkali adalah zat dalam air yang dapat menghasilkan ion hidroksida (OH). Ion hidroksida terbentuk karena senyawa hidroksida dapat mengikat satu elektron pada saat dimasukkan kedalam air (H₂O). Pada umumnya rumus kimia yang mengandung basa mengandung gugus OH (Yusnita, 2010).

Sifat-sifat basa antara lain:

1. Bersifat merusak kulit (kaustik),
2. Licin seperti sabun,
3. Rasa pahit,
4. Mengubah warna pada zat lain, dan

5. Menghasilkan ion OH dalam air.

Natrium Hidroksida (NaOH) atau yang sering disebut dengan soda api termasuk pada senyawa kimia dengan alkali tinggi. Natrium hidroksida adalah bahan populer yang digunakan dalam industri dan digunakan dalam pembuatan garam Natrium dan deterjen, regulasi pH dan sintesis organik. Secara massal NaOH paling sering ditangani sebagai larutan berair karena lebih murah dan mudah ditangani (Kurt dan Bittner, 2006). Berdasarkan daya hantar listriknya dalam Marroh (2009), NaOH merupakan salah satu golongan basa kuat yang termasuk pada larutan elektrolit kuat. Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang memiliki daya hantar listrik yang besar karena dapat terurai hampir sempurna menjadi ion-ion dalam pelarutnya yang umumnya dapat menghasilkan daya hantar listrik yang baik.

2.2.5. Pengujian Agregat

2.2.5.1. Pengujian Agregat Halus

a. Pengujian gradasi agregat halus dan Modulus Halus Butir (MHB)

Berdasarkan ASTM C33 (2013), gradasi butiran yang baik tidak lebih dari 45% yang lolos ayakan dan agregat halus memenuhi spesifikasi gradasi butiran untuk material penyusun beton yang terdapat pada Tabel 2.4. Pengujian gradasi agregat halus bertujuan untuk menentukan gradasi agregat halus dari hasil ayakan agregat halus (pasir) atau dengan dibantu oleh *electric sieve shaker machine*.

Berdasarkan ASTM C136 (2001), pengujian modulus halus butir (MHB) bertujuan untuk mengukur kehalusan dan kekasaran butiran-butiran agregat. Semakin tinggi nilai kekasaran butiran agregat maka semakin tinggi nilai Modulus Halus Butir (MHB). Kekasaran butiran agregat berpengaruh pada kelecakan dari pembuatan pencampuran beton. Nilai modulus halus butir (MHB) agregat halus sekitar 1,5 – 3,8, untuk nilai modulus halus butir (MHB) agregat kasar sekitar 5 – 8. Untuk agregat campuran nilai modulus halus butir (MHB) 5,0 – 6,0. Hubungan ketiga nilai modulus tersebut dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$MHB = \left(\frac{\text{persen jumlah komulatif tertahan}}{100} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Pengujian gradasi agregat halus dan modulus halus butiran dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Keringkan benda uji agregat halus dengan suhu (110 ± 5) °C hingga beratnya tetap.
- 2) Ambil agregat halus yang telah di keringkan sebanyak 1000 gram,
- 3) Susun saringan mulai dari 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm dan pan.
- 4) Masukkan benda uji ke dalam saringa secara perlahan kemudian letakan pada mesin *electric sieve shaker machine*, atur guncangan mesin selama 15 menit.
- 5) Timbang benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan untuk mencari MHB menggunakan persamaan 2.1.

b. Pengujian berat jenis agregat halus dan penyerapan air

Berdasarkan ASTM C128 (2001), pengujian berat jenis ini merupakan perbandingan antara berat dari volume agregat terhadap berat air dengan volume yang sama dengan keadaan yang sama. Nilai-nilainya tanpa dimensi, maka:

$$\frac{A}{(B+A-C)} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\left(\frac{S-A}{A} \right) \times 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana,

A = Berat benda uji kering dioven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas bacaan (gram)

S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

Prosedur pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus adalah sebagai berikut:

- 1) Siapkan benda uji agregat halus (pasir) terlebih dahulu sebanyak lebih dari 500 gram.
 - 2) Benda uji dimasukan kedalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ selama ± 24 jam supaya beratnya tetap.
 - 3) Rendam benda uji selama 24 jam, kemudian buang air rendaman secara hati-hati, supaya agregat halus berupa pasir tidak terbuang dan keringkan benda uji hingga keadaan jenuh kering permukaan.
 - 4) Masukkan benda uji jenuh kering permukaan sebanyak 500 gram ke dalam piknometer. Kemudian masukan air murni kedalam piknometer hingga leher piknometer. Putar-putar atau goncang secara hati-hati, bertujuan untuk menghilangkan gelembung udara dalam benda uji.
 - 5) Isi kembali air hingga penuh pada piknometer, kemudian timbang dengan timbangan ketelitian 0,1 gram berat air, benda uji beserta piknometernya (C).
 - 6) Keluarkan benda uji dari piknometer secara hati-hati supaya tidak terbawa air, dan keringkan benda uji pada oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ selama 24 jam agar beratnya tetap (A).
 - 7) Isi piknometer berisi air penuh dan timbang beratnya (B).
 - 8) Hitunglah berat jenis agregat halus dalam berbagai kondisi dengan persamaan 2.2 dan 2.3.
- c. Pengujian kadar air agregat halus

Berdasarkan ASTM C566 (2004), kadar air merupakan perbandingan berat air yang terdapat pada rongga-rongga agregat dengan agregat dalam kondisi kering yang dinyatakan dalam persen. Nilai presentase dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{s-A}{A} \right) \times 100 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana,

A = Berat awal benda uji (gram)

S = Berat benda uji pada kondisi kering oven (gram)

Prosedur pengujian kadar air adalah sebagai berikut:

- 1) Timbang cawan atau wadah (W1).

- 2) Masukkan agregat halus ke dalam cawan, kemudian timbang berat total kedua benda tersebut, catat totalnya (W2).
 - 3) Hitung berat agregat halus ($S = W2 - W1$)
 - 4) Keringkan pada oven dalam suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ cawan dan agregat halus di dalamnya hingga 24 jam atau beratnya tetap.
 - 5) Keluarkan sampel dari oven, kemudian timbang beratnya (W4).
 - 6) Hitung berat agregat halus kering oven ($A = W4 - W1$).
 - 7) Hitung kadar air pada agregat halus dengan menggunakan persamaan 2.4.
- d. Pengujian kadar lumpur agregat halus

Berdasarkan ASTM C117 (2003), pengujian kadar lumpur agregat halus bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang terkandung pada agregat halus. Nilai presentase dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{B1-B2}{B1} \right) \times 100 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana,

B1 = Pasir jenuh kering muka (gram)

B2 = Pasir setelah dioven (gram)

Prosedur pengujian kadar lumpur adalah sebagai berikut:

- 1) Ambil pasir yang telah dikering oven sebanyak 500 gram (B1).
- 2) Pasir di cuci bersih hingga air cucian tampak bening, kemudian keluarkan air secara hati-hati agar sampel agregat halus tidak terbuang atau terbawa air.
- 3) Masukkan kembali sampel kedalam oven bersuhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ selama kurang lebih 24 jam agar air yg terkandung didalamnya hilang atau kering.
- 4) Sampel agregat halus yang telah kering kemudian di timbang kembali (B2).

Kadar lumpur pada agregat halus dihitung dengan persamaan 2.5.

2.2.5.2. Pengujian Agregat Kasar

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Berdasarkan ASTM C127 (2001), pengujian berat jenis agregat kasar untuk mengetahui berapa persentase berat air yang dapat diserap agregat kasar dan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{A}{B-C} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\left(\frac{B-A}{A} \right) \times 100 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana,

A = Berat benda uji kering dioven (gram)

B = Berat benda uji pada kondisi jenuh kering diudara (gram)

C = Berat benda uji di timbang dalam air (gram)

Prosedur pengujian berat jenis dan kadar air agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Persiapkan benda uji, kemudian cuci dan bersihkan agregat kasar dari kotoran yang melekat.
 - 2) Keringkan agregat kasar pada suhu oven (110 ± 5) °C hingga beratnya tetap.
 - 3) Keluarkan benda uji dari dalam oven kemudian diamkan pada suhu kamar selama ± 3 jam. Timbang benda uji dan catat beratnya dalam kondisi kering (A).
 - 4) Rendam benda uji menggunakan air yang bersuhu ruangan dan diamkan selama 24 jam.
 - 5) Benda uji yang di rendam kemudian di keringkan dengan menggunakan lap agar kondisinya jenuh kering muka. Timbang dan catat berat benda uji dalam kondisi jenuh kering muka (B).
 - 6) Benda uji dimasukan kedalam keranjang atau wadah kemudian timbang beratnya didalam air (C).
 - 7) Hitung berat jenis agregat kasar menggunakan persamaan 2.6.
 - 8) Hitung penyerapan air pada agregat kasar menggunakan persamaan 2.7.
- b. Pengujian kadar air pada agregat kasar

Berdasarkan ASTM C566 (2004), pengujian kadar air pada agregat kasar bertujuan untuk mengetahui nilai persentase kadar air yang terdapat pada agregat kasar. Nilai presentase dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{s-A}{A}\right) \times 100 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana,

A = Berat awal benda uji (gram)

S = Berat benda uji pada kondisi kering oven (gram)

Prosedur pengujian kadar air adalah sebagai berikut:

- 1) Timbang cawan atau wadah (W1)
- 2) Masukkan agregat kasar ke dalam cawan, kemudian timbang berat total kedua benda tersebut, catat totalnya (W2).
- 3) Hitung berat agregat kasar (S = W2 – W1)
- 4) Keringkan pada oven dalam suhu (110 ± 5)°C cawan dan agregat kasar di dalamannya hingga 24 jam atau beratnya tetap.
- 5) Keluarkan sampel dari oven, kemudian timbang beratnya (W4).
- 6) Hitung berat agregat kasar kering oven (A = W4 – W1).
- 7) Hitung kadar air pada agregat kasar dengan menggunakan persamaan 2.8.

c. Pengujian kadar lumpur agregat kasar

Berdasarkan ASTM C142 (1998), pengujian kadar lumpur agregat kasar bertujuan untuk mengetahui presentase kandungan lumpur pada agregat kasar. Nilai presentase dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{B1-B2}{B1}\right) \times 100 \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana,

B1 = Pasir jenuh kering muka (gram)

B2 = Pasir setelah dioven (gram)

Prosedur pemeriksaan kadar lumpur adalah sebagai berikut:

- 1) Ambil agregat kasar yang telah dikering oven sebanyak 5000 gram (B1).
- 2) Pasir di cuci bersih hingga air cucian tampak bening, kemudian keluarkan air secara hati-hati agar sampel agregat kasar tidak terbuang atau terbawa air.

- 3) Masukkan kembali sampel ke dalam oven bersuhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ selama kurang lebih 24 jam agar air yg terkandung didalamnya hilang atau kering.
- 4) Sampel agregat kasar yang telah kering kemudian di timbang kembali (B2).
- 5) Hitunglah kadar lumpur agregat kasar dengan persamaan 2.9.

d. Pengujian keausan agregat kasar

Berdasarkan ASTM C535 (2003), pengujian ini dilakukan pada agregat kasar untuk mengetahui ketahanan agregat kasar yang memiliki ukuran lebih kecil dari 37,5 mm terhadap keausan menggunakan alat *Los Angeles Machine*. Nilai presentase dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{a-b}{a}\right) \times 100 \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana,

a = berat benda uji semula (gram)

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

Prosedur pengujian keausan adalah sebagai berikut:

- 1) Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi *Los Angeles*.
- 2) Putaran mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm, jumlah putaran adalah 1000 putaran.
- 3) Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no. 12 (1,70 mm), butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih dan selanjutnya dikeringkan dalam oven temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
- 4) Hitunglah presentase keausan agregat kasar dengan persamaan 2.10.

2.2.6. Perencanaan Pencampuran Beton (*Mix Design*)

Pencampuran beton (*mix design*) merupakan kegiatan pencampuran bahan material penyusun beton. *Mix design* beton direncanakan dengan perhitungan yang

menggunakan metode ACI sebagai acuan. Proporsi pencampuran beton berdasarkan ACI 318 (1995) antara lain sebagai berikut:

- a. Kekentalan yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, pemadatan dan perataan) dengan mudah dapat mengisi acuan dan menutup permukaan secara serba sama (homogen),
- b. Keawetan,
- c. Kuat tekan, dan
- d. Ekonomis.

Pada perencanaan campuran beton tentunya harus dipenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Perhitungan perencanaan campuran beton harus didasarkan pada data sifat-sifat bahan yang akan dipergunakan dalam produksi beton,
- b. Susunan campuran beton yang diperoleh dari perencanaan ini harus dibuktikan melalui campuran coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan yang disyaratkan.

2.2.7. Pengujian Slump

Slump merupakan salah satu ukuran kekentalan adukan beton dinyatakan dalam satuan milimeter (mm) dengan kerucut Abrams yaitu salah satu cara untuk mengukur kelecakan (*workability*) pada beton segar. Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan di lapangan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, dipadatkan dan diratakan. Prosedur yang dilakukan untuk pengujian slump dalam (ASTM C143, 2005) adalah sebagai berikut:

- 1) Basahi kerucut Abrams dan tempat yang cukup untuk menampung beton segar dan letakkan di atas lantai yang kaku, rata, lembab, permukaan tidak menyerap, bebas dari getaran.
- 2) Isi kerucut dalam tiga lapisan, masing-masing kira-kira sepertiga volume kerucut dengan sekop dan pastikan kerucut Abrams dipegang kuat sehingga tidak bergeser sembari ditusuk dengan tongkat besi guna untuk memadatkan.
- 3) Setelah itu angkat kerucut segera dengan mantap dan hati-hati secara vertikal. Kemudian letakkan kerucut di samping beton segar dengan tongkat di atasnya. Ukur jarak dari puncak beton segar yang merosot

tarik hingga sejajar dengan tongkat besi yang berada diatas kerucut Abrams.

Secara umum, semakin encer pencampuran beton maka akan semakin tinggi nilai slumpnya, namun hal itu belum tentu baik pada mutu beton. Maka, nilai pengujian slump ditentukan juga bergantung pada bahan penyusun beton segar tersebut. Pada Tabel 2.8 disajikan nilai slump dalam metode ACI.

Tabel 2. 8 Rekomendasi Nilai Slump untuk Macam Tipe Konstruksi (ACI 211, 2002)

No	Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
		Minimal	Maksimal
1	Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	25	75
2	Pondasi telapak tidak bertulang, kaisong dan konstruksi di bawah tanah	25	75
3	Pelat, balok, kolom dan dinding	25	100
4	Kolom gedung	25	100
5	Perkeasan jalan	25	75
6	Pembetonan massal	25	50

2.2.8. Pengujian Waktu Ikat (*Setting Time*)

Waktu ikat (*setting time*) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk pengikatan semen terhadap agregat. Pada saat semua campuran beton saling terikat dan tidak dapat dirubah lagi berarti sudah mencapai waktu finalnya. Karena waktu pengikatan beton merupakan suatu proses yang bertahap, maka sertiap definisi dari waktu pengikatan beton harus diperlakukan secara tidak tetap. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh dari variabel seperti air, tipe, jumlah material semen atau bahan tambah (*admixture*) ketika menentukan waktu pengikatan beton (ASTM C403, 1999). Karena bahan kimia yang ditambahkan pada campuran beton akan bekerja untuk memperlambat proses pengikatan beton.

2.2.9. Perawatan (*Curing*)

Perawatan atau *curing* pada beton ini bertujuan untuk mencegah penguapan beton. Benda uji harus disimpan (untuk perawatan *curing*) segera setelah selesai dikeluarkan dari cetakan untuk mencegah hilangnya kelembaban dari spesimen (ASTM C192, 2002). Prosedur perawatan ini ada berbagai cara, yaitu dengan

digunakan karung goni basah untuk menutupi beton dan harus menjaga karung goni agar tetap basah atau dengan perendaman pada kolam *curing* untuk menjaga kelembaban dari beton tersebut.

2.2.10. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas dalam (ACI 318, 1995) merupakan rasio perbandingan antara tegangan normal ratik (tekan) dengan regangan yang timbul dari tegangan tersebut. Pengujian ini menggunakan mesin uji tekan beton yang terdapat alat ukur (*dial gauge*) dengan arah *longitudinal*, dimana arah gelombang getaran tegak lurus dengan arah rambatnya.

Modulus elastisitas dipengaruhi oleh bahan material penyusun dalam beton benda uji, kelembaban beton benda uji, nilai faktor air semen (FAS), umur beton benda uji dan temperatur beton benda uji. Hubungan antara nilai modulus elastisitas beton dengan kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$4700 \sqrt{f'c'} \text{ 28 hari} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

$f'c' \text{ 28 hari}$ = Kuat tekan beton berumur 28 hari (Mpa)

2.2.11. Pengujian Durabilitas Beton

2.2.11.1. Pengujian Resistivitas Beton

Pengujian resistivitas beton merupakan pengujian ketahanan beton terhadap korosi dengan aliran listrik dengan *resistivity meter*. Hambatan listrik sebagai rasio antara tegangan yang diterapkan dengan arus listrik yang dialirkan melalui beton benda uji. Umumnya pengujian resistivitas ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana beton menentang aliran arus listrik sehingga membantu menentukan risiko korosi (Kurda, dkk., 2019). Sedangkan dalam (Layssi dkk., 2015), resistivitas listrik beton dapat digambarkan sebagai kemampuan beton untuk menahan transfer ion yang melewati ke medan listrik. Dalam konteks ini, pengukuran resistivitas dapat digunakan untuk menilai ukuran dan tingkat interkoneksi pori-pori.

Metode resistivitas oleh Putra dan Lapanporo (2014) dikatakan bahwa teori resistivitas berpegang pada teori Ohm, yaitu arus yang mengalir (I) pada suatu medium sebanding dengan tegangan (V) yang terukur dan berbanding terbalik dengan resistensi (R) seperti pada persamaan berikut:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan keterangan,

R = tahanan atau resistensi (Ω),

V = perbedaan potensial listrik (Volt),

I = perbedaan arus listrik (Ampere).

Perhitungan nilai resistivitas (ρ) dengan satuan $\Omega.m$ dari penelitian Telford (1990) dalam (Putra dan Lapanoro, 2014) didapat dalam persamaan berikut:

$$\rho = \frac{V}{I} \times \frac{A}{L} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan keterangan,

V = perbedaan potensial (Volt),

I = kuat arus yang melalui bahan (Ampere),

A = luas penampang (m),

L = panjang kawat (m).

2.2.11.2. Pengujian Densitas Beton

Pengujian densitas beton untuk mengetahui karakteristik, kualitas dan kepadatan beton salah satunya dengan menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*. Pengujian *UPV* ini merupakan pengujian kepadatan beton secara tidak langsung melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal pada media beton yang *nondestruktif* atau bersifat tidak merusak.

Berdasarkan ASTM C597 (2012), *UPVT* ini bertujuan untuk mengetahui nilai keseragaman dan mutu relatif beton, mendeteksi adanya rongga dan retak serta mengevaluasi efektivitas perbaikan retak. Pengujian ini juga digunakan untuk mengetahui perubahan sifat-sifat (karakteristik) beton pada pemeriksaan suatu struktur untuk memperkirakan kualitas beton yaitu tingkat kerusakan atau keretakan beton. Nilai *UPV* untuk beton campuran yang diamati pada penelitian Leslie dan Cheeseman, 1949 (dalam Lee, 2019) diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2. 9 Klasifikasi Beton Berdasarkan *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*
(Lee, 2019)

Pulse Velocity (m/s)	Klasifikasi Beton
$V > 4500$	Sangat Baik
$3600 < V < 4500$	Baik
$3000 < V < 3600$	Diragukan
$2100 < V < 3000$	Lemah
$V < 2100$	Sangat lemah

Perhitungan kecepatan rambat gelombang (V) dalam ASTM C597 (2012) adalah yaitu pada persamaan berikut:

$$V = \frac{L}{T} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan,

V = kecepatan rambat gelombang (m/s)

L = jarak antar permukaan transduser (m)

T = waktu tempuh (s)

2.2.11.3. Pengujian Kuat Tekan Dinamis Beton

Pengujian kuat tekan dinamis beton merupakan pengujian yang bertujuan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dengan metode *nondestruktif* atau bersifat tidak merusak benda uji dengan menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*. Menurut penelitian terdahulu milik Mahure dkk. (dalam Anggraeni dkk., 2013) tentang perkiraan kuat tekan beton dari hasil pengujian UPV, diperoleh hasil persamaan regresi hubungan antara kekuatan tekan beton dengan kecepatan gelombang yang disajikan pada Gambar 2.13 berikut.

Mutu beton	Juml sampel (buah)	Umur benda uji (hari)	Pers regresi	Nilai R ²
M15	125	28	CS = 9,502PV - 18,89	0,244
M20	200	28	CS = 2,70PV + 17,15	0,027
M35	45	28	CS = 4,104PV + 19,23	0,025

Gambar 2. 10 Persamaan Regresi Hubungan Kekuatan Beton dan Tes UPV

(Mahure dkk., 2011)

No Sampel	UPV (Km/ det)	Perkiraan kekuatan beton		
		M15 (N/mm ²)	M20 (N/mm ²)	M35 (N/mm ²)
A1	3,72	16,46	27,19	34,50
A2	3,69	6,17	27,11	34,37
A3	3,87	17,88	27,60	35,11
A4	3,83	17,50	27,49	34,95
A5	3,64	15,70	26,98	34,17
A6	3,91	18,26	27,71	35,38
A7	3,89	18,07	27,65	35,19
A8	3,85	17,69	27,55	35,03
A9	3,85	17,69	27,55	35,03
A10	3,80	17,22	27,41	34,83
Rerata (N/mm ²)		17,27	27,42	34,85
SD (N/mm ²)		0,87	0,25	0,37
CV (%)		5,02	0,90	1,07

Gambar 2. 11 Perkiraan Kekuatan Beton Hasil Tes UPV Berdasarkan Formula Mahure (Anggraeni dkk., 2013)

Sehingga dalam penelitian Anggraeni dkk., (2013) perkiraan nilai kuat tekan beton dari hasil tes UPV digunakan formula Mahure sebagai perhitungan. Pada Gambar 2.14 disajikan perkiraan kuat tekan beton dengan menggunakan tiga persamaan regresi (M15, M20 dan M35) sehingga diperoleh perkiraan kuat tekan beton dan dapat dibandingkan persamaan mana yang paling mendekati kuat tekan aktual beton tersebut. Kesimpulan yang didapat dari hasil perhitungan perkiraan kuat tekan beton ini adalah agar didapatkan nilai kuat tekan beton yang mendekati kekuatan aktualnya, digunakan formula dengan mutu beton yang mendekati kuat tekan rencana beton tersebut.

Maka, pada penelitian sekarang ini dengan rencana K-400 (33,2 MPa) digunakan rumus perhitungan dengan formula Mahure dkk. dengan persamaan regresi M35 berikut:

$$CS = 4,104PV + 19,23 \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

CS= *Compressions Strength* (Kuat Tekan) dalam MPa

PV= *Pulse Velocity* (Kecepatan Gelombang) dalam km/s