

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) merupakan salah satu perkerasan yang banyak digunakan di tol-tol baru dan juga banyak jalan nasional yang memakai perkerasan ini, dikarenakan perkerasan kaku dapat menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Pada dasarnya bahan untuk membuat perkerasan kaku yaitu beton, dimana bahan dasar beton sangat mudah dalam penambahan *admixture* yang bertujuan untuk mempermudah pekerjaan (*workability*).

Perkerasan lentur (*flexibel pavement*) merupakan salah satu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai lapisan atasnya. Perkerasan ini adalah jenis yang paling banyak digunakan di jalanan Indonesia. Perkerasan ini memiliki keunggulan murah bahan yang dipakai dan juga setelah selesai aspal dipadatkan, jalan bisa langsung dipakai. Kekurangannya perkerasan ini adalah umur perkerasan relatif pendek dan kurangnya ketahanan perkerasan dalam menahan gaya dari kendaraan yang mengerem.

Perkerasan komposit merupakan perkerasan gabungan dari perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Pada perkerasan ini lapisan bawah merupakan perkerasan kaku dan lapisan atas merupakan perkerasan lentur. Perkerasan ini bertujuan untuk menguatkan perkerasan lentur dan mencegah retak yang biasa terjadi di perkerasan kaku, selain itu keunggulannya memiliki kenyamanan yang lebih baik dari perkerasan kaku.

Pada penelitian ini meneliti dan menganalisis bahan perkerasan kaku, yang menggunakan beton mutu tinggi dengan bahan tambahan (*admixture*) yaitu *Plastocrete* dan *Sikament NN*. Besar kadar *admixture* yang digunakan yaitu 0.6% *Plastocrete* dan 2,3% *Sikament NN*, dimana bahan tambahan (*admixture*) tersebut berfungsi sebagai mengurangi jumlah air dan memperlambat ikatan antar beton yang akan berdampak mudahnya dalam mendapatkan *slump* yang baik, *setting time*, dan *workability*. Setelah itu menganalisis kuat perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan kondisi lingkungan normal dan air asam, dimana air asam yang menjadi simulasi lingkungan asam.

### 2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Beton Mutu Tinggi

Megasari dan Winayati (2017) pada penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan *Sikament-NN* Terhadap Karakteristik Beton”. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh variasi persentase bahan tambah *Sikament-NN* terhadap karakteristik kuat tekan beton. *Sikament-NN* merupakan *superplasticizer* yang membantu menaikkan mutu awal beton dan kekuatan akhir tinggi. Dalam penelitian ini memakai sampel silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan presentasi sikamen-nn sebanyak 0%, 0,3%, 0,8%, 1,3%, 2,3% dengan pengujian selama 23 hari dan juga untuk mengetahui berapa kadar optimal penambahan sikamen dari beberapa presentase pencampuran *sikamen-NN*.

Tabel 2.1 Rancangan Campuran Sikament-NN (Megasari dan Winayati 2017)

Bahan Tambah	% Penambahan						Jumlah Sampel
	0	0,3	0,8	1,3	1,8	2,3	
Sikament-NN	3	3	3	3	3	3	18

Pengujian ini memakai semen tipe I atau OPC, memakai agregat kasar berasal dari pangkalan, dan agregat halus berasal dari terantak buluh. Di pengujian ini dipakai juga plastiment-vz yang berasal dari PT. Sika Indonesia, pemakaian plastiment ini untuk menambah *workability* selama diperjalanan.

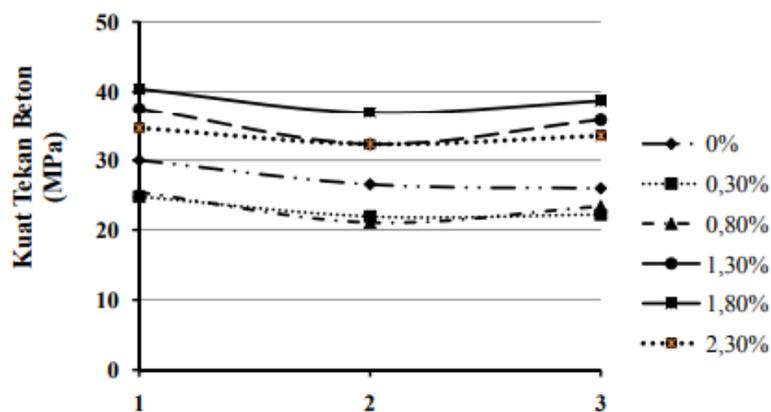
Tabel 2.2 Hasil Dari Pengujian Kuat Tekan Beton (Megasari dan Winayati 2017)

% Sikamen	Benda Uji	Berat (g)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata-Rata (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	I	12680	179,79	520	29,99	27,49
	II	12810	179,79	460	26,53	
	III	12860	179,79	450	25,96	
0,3	I	12130	179,79	430	24,80	22,98
	II	12160	179,79	380	21,92	
	III	12195	179,79	385	22,21	

Tabel 2.3 Hasil Dari Pengujian Kuat Tekan Beton Lanjutan (Megasari dan Winayati 2017)

% Sikamen	Benda Uji	Berat (g)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Beban (kN)	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata-Rata (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,8	I	12420	179,79	440	25,38	23,22

	II	12310	179,79	365	21,05	
	III	12220	179,79	405	23,36	
	I	12510	179,79	650	37,49	
1,3	II	12725	179,79	560	32,30	35,18
	III	12298	179,79	620	35,76	
	I	12870	179,79	700	40,38	
1,8	II	12355	179,79	640	36,92	38,65
	III	12705	179,79	670	38,65	
	I	12371	179,79	600	34,61	
2,3	II	12340	179,79	560	32,30	33,45
	III	12505	179,79	580	33,45	



Gambar 2.1 Hasil Dari Uji Kuat Tekan Beton (Megasari dan Winayati 2017)

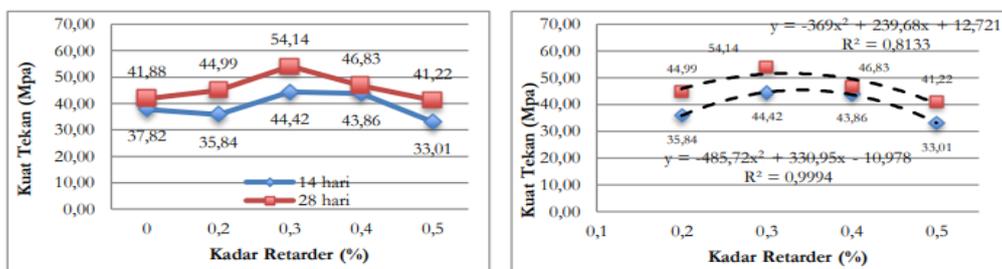
Dalam Tabel 2.2 dan Gambar 2.1 kita bisa mengetahui bahwa campuran *sikament-nn* 1.8% memiliki nilai yang paling besar sebesar 38.65 Mpa. Sehingga bisa disimpulkan bahwa penambahan *sikament-nn* memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap peningkatan mutu beton, sehingga diharapkan penelitian yang penulis memiliki kuat tekan yang tidak jauh beda dikarenakan campuran yang dipakai adalah 2,6% *sikament-nn*.

Sabrina (2017) pada penelitian yang berjudul “Kajian Pengaruh Variasi Penambahan Bahan Retarder Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi”. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh salah satu sifat retarder yang berasal dari *superplasticize Viscocrate 1003* dengan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Dengan dilakukan pengujian di 14 hari dan 28 hari yang nantinya mempengaruhi dari kuat tekan beton.

Tabel 2.4 Proporsi Campuran Beton Untuk Setiap Kadar Retarder (Sabrina 2017)

Nama Sampel	Kadar Retarder (%)	Semen OPC (Kg)	Pasir (Kg)	Krikil (Kg)	Air (Liter)	Superplasticizer	
						stizer (Liter)	Retarder (Liter)
SCC	0	696,03	703,528	784,77	187,93	11,11	0,00
SCCRO,2	0,2	694,08	703,528	784,77	187,40	11,08	1,18
SCCR0,3	0,3	693,11	703,528	784,77	187,14	11,06	1,76
SCCR0,4	0,4	692,14	703,528	784,77	186,88	11,05	2,35
SCCR0,5	0,5	691,17	703,528	784,77	186,62	11,03	2,93

Dari tabel di atas pengujian ini memakai jenis beton *Self Compacting Concrete* yang memiliki sifat bisa memadatkan diri sendiri dengan bantuan alat pemadat yang sedikit bahkan tidak ada sama sekali, hal ini bisa terjadi dengan memanfaatkan pengaturan ukuran agregat.



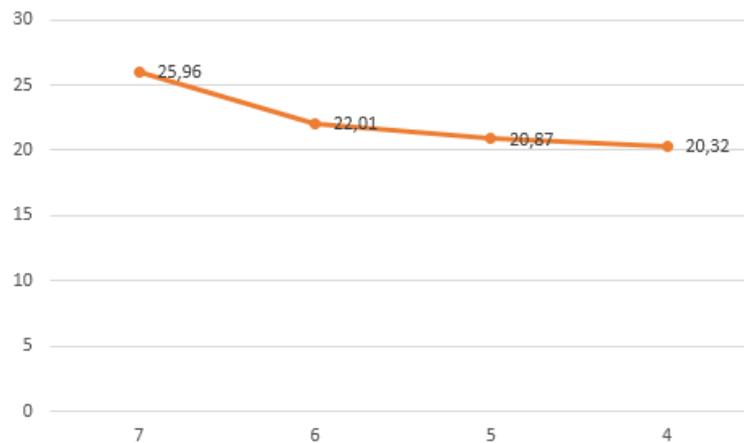
(a)

(b)

Gambar 2.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan 14 Hari Dan 28 Hari (a) Dengan Variasi Penambahan Retarder (b) (Sabrina 2017)

Dari gambar di atas bias kita lihat bahwa secara keseluruhan penambahan dari bahan *retarder* memberikan hasil yang baik bila dibandingkan dengan beton normal. Kita bisa juga mengetahui bahwa penambahan *retarder* yang berlebihan akan membuat dari kuat tekan beton menurun seperti dari grafik di hari 28 hari, penambahan *retarder* 0,4% dan 0,5% mengalami penurunan yang dikarenakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk beton kering. Dan kita bisa mengambil kesimpulan secara keseluruhan penambahan *retarder* akan memberikan kuat tekan lebih baik dari beton normal, dengan variasi campuran optimum jatuh di 0,3% dengan kekuatan beton mencapai 54,14 Mpa dan kuat tekan optimum di 28 hari berada di 0,32%.

Meidiani dan Hartawan (2017) pada penelitian yang berjudul “Penggunaan Variasi Ph Air (Asam) Pada Kuat Tekan Beton Normal F’c 25 Mpa” penelitian ini bertujuan jika beton normal yang yang dipakai adalah air normal, air asam dengan ph 4, 5, dan 6. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi jika kontraktor di dalam pedalaman dan sulit untuk mendapat air dengan ph normal. Jika kontraktor memakai air asam dalam melakukan *mix* beton.



Gambar 2.3 Hasil Dari Uji Tekan Beton (Meidiani dan Hartawan 2017)

Dari penelitian di atas bisa kita tarik kesimpulan bahwa pH 7 mendapatkan uji tekan 25.96 MPa, dan pH 6 mengalami penurunan 15,21% yaitu 22,01 MPa, pH 5 mengalami penurunan 19,58% yaitu 20,87 MPa, dan pH 4 mengalami penurunan 21,71% yaitu 20,32 MPa. Dalam penelitian ini bisa kita tarik kesimpulan bahwa semakin asam pH yang dipakai dalam *mix* akan semakin rendah juga kuat tekan beton.

Miswar,dkk (2017) dalam penelitian yang berjudul “Kuat Tekan Beton Terhadap Lingkungan Agresif”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton yang berada didalan air payau. Di penelitian ini memakai uji beton berbentuk 15x15x15 cm sebanyak 42 benda uji, dengan perbandingan 21 benda uji air normal dan 21 benda uji air payau.

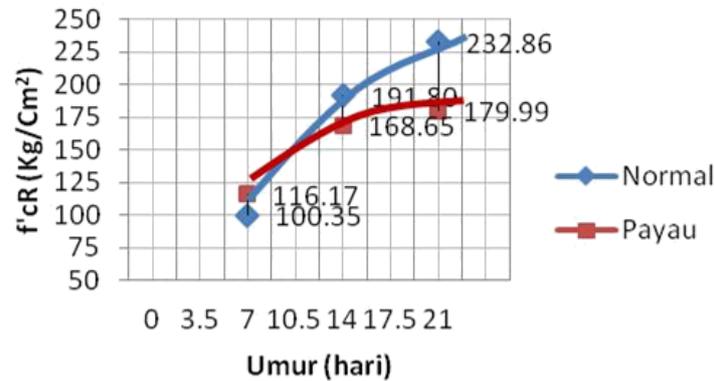
Tabel 2.5 Pembuatan beton untuk rendaman air normal (Miswar,dkk 2017)

No	FAS	Dimensi (cm <sup>2</sup> )	Jumlah benda uji umur (hari)			Total
			7	14	21	
1	0,6	225	7	7	7	21

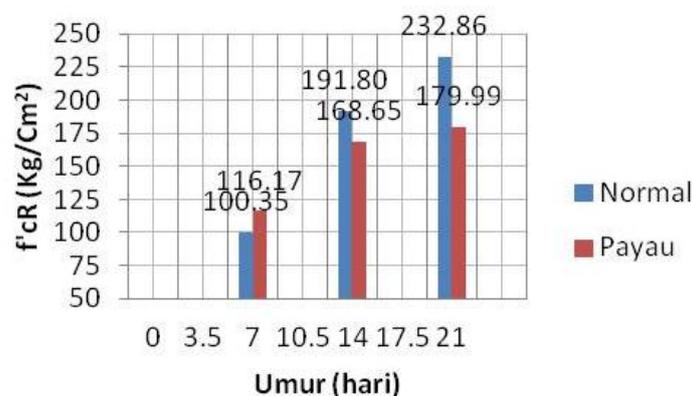
Tabel 2.6 Pembuatan beton untuk rendaman air payau (Miswar,dkk 2017)

No	FAS	Dimensi (cm <sup>2</sup> )	Jumlah benda uji umur (hari)			Total
			7	14	21	
1	0,6	225	7	7	7	21

Dari hasil pengujian di atas akan menghasilkan grafik seperti di bawah



Gambar 2.4 Grafik Garis Pengujian Kuat Tekan Beton (Miswar,dkk 2017)



Gambar 2.5 Grafik Batang Pengujian Kuat Tekan Beton(Miswar,dkk 2017)

Dari hasil di atas kuat tekan yang dihasilkan dari air payau mendapatkan 116,17 Kg/Cm<sup>2</sup> pada umur 7 hari, 168,65 Kg/Cm<sup>2</sup> pada umur 14 hari, dan 179,99 Kg/Cm<sup>2</sup> pada umur 21 hari. Sedangkan air normal mendapatkan 100,35 Kg/Cm<sup>2</sup> pada umur 7 hari, 191.80 Kg/Cm<sup>2</sup> pada umur 14 hari, dan 232,86 Kg/Cm<sup>2</sup> pada umur 21 hari. Penelitian di atas bisa kita tarik kesimpulan bahwa beton yang direndam di dalam kondisi air payau akan berdampak dengan turunnya kemampuan uji tekan.

Wijaya dan Hardjito (2017) penelitian yang berjudul “Ketahanan Di Lingkungan Asam, Kuat Tekan Dan Penyusutan Beton Dengan 100% *Fly Ash* Tanpa Aktivator” dilakukan untuk mengetahui pengaruh *fly ash* dalam beton tanpa menggunakan semen. Dalam *mix design* yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan boraks (zat asam), Ca(OH)<sub>2</sub> atau air kapur (zat basa), dan memakai *superplasticizer* yang menggunakan *Sika ViscoCrete -1003*. Dipengujian ini memakai benda uji dengan ukuran 5x5x5 cm pada umur beton 28, 56, 90 hari. Pengujian ini sengaja dilakukan dalam waktu yang lama untuk menganalisa pengaruh air kapur dan boraks.

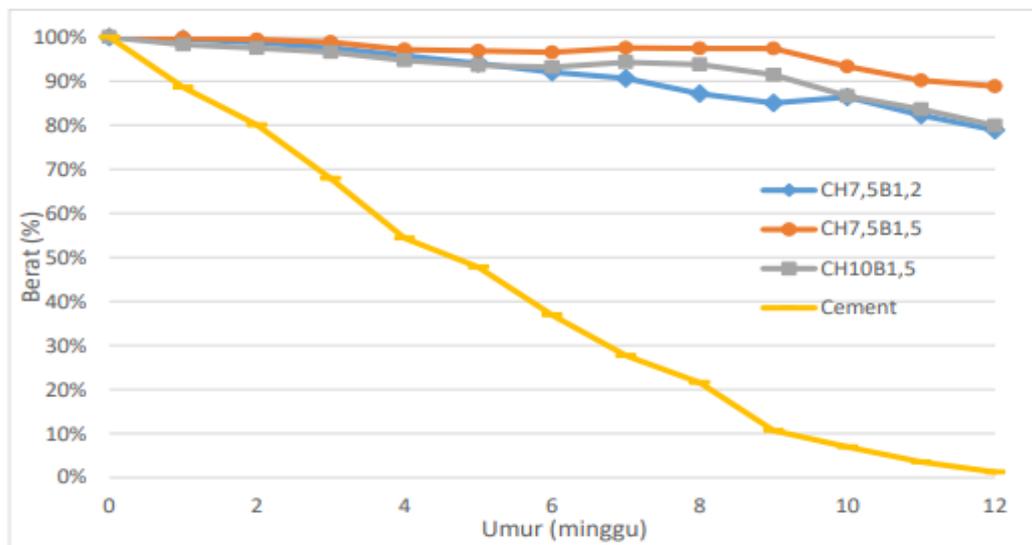
Tabel 2.7 Tabel *Mix Design* (Wijaya dan Hardjito 2017)

Kombinasi	FA (gr)	Semen (gr)	Pasir (gr)	Ca(OH) <sup>2</sup> (gr)	Air (gr)	SP (%)	Boraks (gr)
CH7,5BI,2	277,5	0	600	22,5	69	0,53%	3,6
CH7,5BI,5	277,5	0	600	22,5	69	0,53%	4,5
CH10BI,5	270	0	600	30	69	1%	4,5
Semen	0	300	600	0	69	4%	0

Tabel 2.8 Tabel Hasil Uji Tekan (Wijaya dan Hardjito 2017)

Mix Design	Kuat Tekan Mortar (MPa)		
	Umur 28 Hari	Umur 56 Hari	Umur 90 Hari
CH7,5BI,2	39,3	40,64	36,33
CH7,5BI,5	21,1	27,11	37,3
CH10BI,5	34,13	36,33	37,78
Semen	40,9	50,44	55,55

Pada Tabel 2.7 di atas bisa kita tarik kesimpulan bahwa campuran *fly ash* tanpa adanya semen memiliki kuat tekan yang cukup baik dengan mencapai  $\pm 80\%$  dari beton dengan semen.



Gambar 2.6 Grafik Perbandingan Berat Beton (Wijaya dan Hardjito 2017)

Beton yang memakai 100% *fly ash* memiliki ketahanan terhadap kondisi asam dengan  $\text{pH } 1 \pm 0,1$  lebih baik dari pada beton yang memakai semen karena sifat pozzolan yang dimiliki oleh material *fly ash*.

Mooy, dkk. (2017) di dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Suhu Curing Beton Terhadap Kuat Tekan Beton” bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu pada saat perawatan beton atau *curing* berpengaruh seberapa besar dalam kapasitas tekan beton. Dipengujian ini memakai beton normal dengan memakai metode kematangan (*maturity method*) yang

bertujuan untuk membuat, memelihara, dan menguji beton keras pada umur awal dalam kondisi perawatan standar. Beton diuji dengan umur yang cukup awal yaitu 1, 3, 6, dan 8 hari untuk memproyeksikan kekuatan potensial pada umur selanjutnya.

Tabel 2.9 *Mix Design* Beton (Mooy, dkk 2017)

Bahan	Volume (m <sup>3</sup> )	Kekuatan Bahan	Kebutuhan Bahan Untuk 1 Silinder
Semen	0,2 x 10 <sup>-3</sup>	425,45 Kg/m <sup>3</sup>	0,096 kg
Pasir	0,2 x 10 <sup>-3</sup>	832,69 Kg/m <sup>3</sup>	0,188 kg
Kerikil	0,2 x 10 <sup>-3</sup>	756,31 Kg/m <sup>3</sup>	0,171 kg
Air	0,2 x 10 <sup>-3</sup>	247,56 lt/m <sup>3</sup>	0,056 lt

Tabel 2.10 Hasil Kuat Tekan Setelah Konversi 28 Hari (Mooy, dkk 2017)

Suhu <i>Curing</i>	Kuat Tekan (MPa)	Umur Beton (Hari)	Kenaikan Kuat Tekan Beton (MPa/Hari)
Suhu Normal (29 °C)	23,85	28	0,85
Suhu Rendah (-10 °C)	26,29	28	0,94
Suhu Tinggi (87,5 °C)	31,80	28	1,14

Pada tabel di atas bisa kita lihat bahwa merawat beton dalam suhu tinggi bisa membuat kenaikan kuat tekan beton sebesar 1.14 MPa/hari dengan kekuatan tekan sebesar 31,8 MPa dan dengan suhu rendah memiliki kenaikan sebesar 0.94 MPa/hari dengan kekuatan tekan sebesar 26,29.

Hendriyani dan Anwar (2017) penelitian yang berjudul “Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah *Reduced Water Dan Accelerated Admixture*” bermaksud untuk mengetahui seberapa baik beton normal dengan campuran *admixture* dari beton biasa jika dipakai dengan pekerjaan konstruksi dengan jadwal yang padat.

Tabel 2.11 Tabel Rata – Rata Kuat Tekan Beton (Hendriyani dan Anwar, 2017)

Variasi Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
Beton Normal	19,02	21,61	25,61
0,2%	19,56	23,12	27,66
0,4%	20,74	28,74	29,50
0,6%	20,53	25,50	31,44

Dari tabel di atas jelas terlihat jika beton dengan campuran *admixture* memiliki kuat tekan yang lebih baik. Beton dengan *admixture* memiliki keunggulan jika dipakai pada konstruksi yang memiliki jadwal yang padat, sehingga beton dengan umur yang cukup menopang beban sendiri bisa langsung dilanjutkan pekerjaan di atas beton tersebut. Sehingga beton dengan *admixture* memiliki kapasitas yang baik untuk menampung pekerjaan di atasnya dengan lebih berat dari beton normal.

Estokova dan Smolakova (2018) dalam jurnal internasional ini memiliki judul “*Influence Of Sulfuric Acid Attack On Concrete With Industrial Waste*”. Dalam jurnal ini dilakukan pengujian dengan berbagai campuran dari mikro silika, *fly ash*, dan *blast furnace slag* atas ketahanan dengan kondisi asam dan limbah industri

Tabel 2.12 Tabel *Mix Design* (Estokova dan Smolakova, 2018)

<i>Composition</i>	A0	A1	A2	A3
--------------------	----	----	----	----

<i>Cement</i>	358,55	360	304,75	90
<i>Natural aggregates, fraction 0/4 mm 9 ( kg/m<sup>3</sup>)</i>	845	750	845	825
<i>Natural aggregates, fraction 4/8 (kg/m<sup>3</sup>)</i>	405	235	405	235
<i>Natural aggregates, fraction 8/16 (kg/m<sup>3</sup>)</i>	590	740	590	740
<i>Water (L/m<sup>3</sup>)</i>	190	292	190	162
<i>Micro silica (kg/m<sup>3</sup>)</i>	-	20	-	-
<i>Fly ash (kg/m<sup>3</sup>)</i>	-	-	41,3	-
<i>Blast furnace slag (kg/m<sup>3</sup>)</i>	-	-	-	270
<i>Plasticizer (L/m<sup>3</sup>)</i>	-	3,1	-	-
<i>Water-to-binder ratio (w/b)</i>	0,53	0,5	0,55	0,44

Pada pengujian ini dilakukan perendaman benda uji yang berumur 28 hari yang di *curing* dengan air normal dalam temperatur 23° C dan kemudian direndam kedalam larutan asam sulfat dengan ph 1,95 ± 0,1 dengan suhu 23° C, beton direndam selama 6 minggu dan diperiksa setiap 14 hari sekali.

Tabel 2.13 Tabel Unsur Yang Terlarut (Estokova dan Smolakova, 2018)

	A0	A1	A2	A3
Ca	1,31	1,83	0,87	1,18
Si	2,08	0,92	3,53	1,29
Al	3,77	1,17	3,30	1,66
Fe	0,61	0,40	0,46	0,47

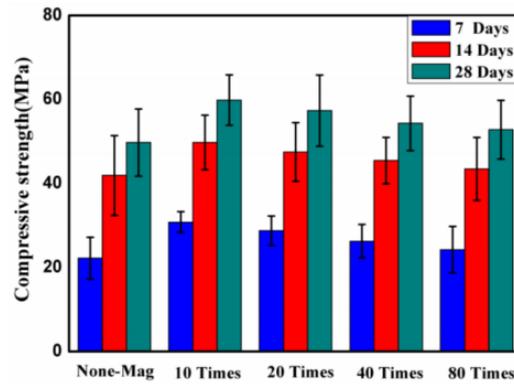
Dalam pengujian ini peneliti menarik kesimpulan bahwa menggabungkan mikro silika, *fly ash*, dan slag dalam proporsi optimal adalah cara paling efektif dalam mengurangi dari kerusakan yang disebabkan oleh cairan asam dan limbah pabrik.

Ghorbani,dkk (2018) dalam jurnal ini yang berjudul “*Effect of Magnetized Water on the Mechanical and Durability Properties of Concrete Block Pavers*” yang bermaksud untuk mengetahui efektifitas air magnet dalam pembuatan paving blok. Air magnet adalah air yang telah melewati medan magnet yang menyebabkan air dengan material berlebih berubah menjadi air lunak. Dipenelitian ini ditulis bahwa air melalui medan magnet sebanyak 10, 20, 40, dan 80 secara konstan dengan kecepatan 2,25 m/s.

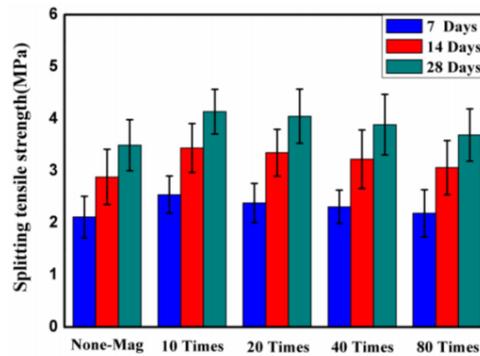
Tabel 2.14 Komposisi Kimiawi Semen (Ghorbani,dkk. 2018)

Material		Komposisi kimia (%)							
SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	C*	LOI**

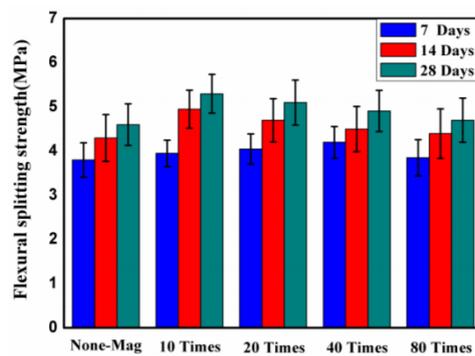
Semen (tipe II)	21.65	63.25	4.3	3.45	2.8	2.05	0.6	0.5	0.07	1.35
--------------------	-------	-------	-----	------	-----	------	-----	-----	------	------



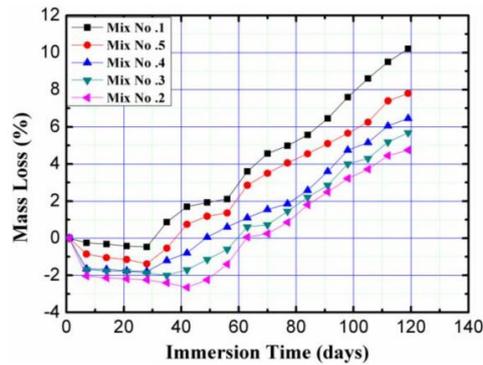
Gambar 2.7 Perbandingan Kuat Tekan Paving Blok Dengan Waktu 7, 14, 28 Hari (Ghorbani,dkk. 2018)



Gambar 2.8 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Paving Blok (Ghorbani,dkk. 2018)



Gambar 2.9 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Lentur Paving Blok (Ghorbani,dkk. 2018)



Gambar 2.10 grafik perbandingan kehilangan massa (Ghorbani,dkk. 2018)

Pada Gambar 2.10 di atas dilakukan percobaan paving blok yang direndam didalam air campuran H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan ph  $\pm$  1. Dalam campuran di atas diketahui bahwa paving blok tanpa campuran air magnetik mengalami kehilangan massa paling besar dan paving blok dengan campuran air magnetik yang melewati medan magnet 10 kali memiliki ketahanan yang paling baik.

Breitenbücher,dkk (2018) dalam jurnal yang berjudul “*Optimizing the Acid Resistance of Concrete with Granulated Blast-Furnace Slag*” bertujuan untuk mengoptimalkan beton yang berada di dalam kawasan pertanian yang sering terkena kondisi asam dengan campuran GBBS (*Ground Granulated Blast Furnace Slag*). GBBS adalah residu dari pembakar pemurnian baja murni yang mengandung silika, kapur, dan almunia. Dalam kandungan ini juga terdapat bahan-bahan lain seperti bahan hidrasi atau semen portland, sehingga bisa dipakai untuk campuran semen (*Mix Design*). Untuk lebih rinci kandungan dari GBBS akan tertera pada Tabel 2.14

Tabel 2.15 Kandungan Kimia GBBS (Breitenbücher,dkk. 2018)

GBBS	A	B	C
SiO <sub>2</sub>	38.7	38.95	33.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.9	10.1	15.1
FeO	0.32	0.37	0.35
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.55	1.33
MnO	1.67	0.30	0.45
CaO	35.6	42.4	38.8
MgO	10.1	5.13	9.61
Na <sub>2</sub> O-eq	1.29	0.62	0.83
(C+M)/S	1.18	1.22	1.45

Tabel 2.16 komposisi pengikat (w.-%) (Breitenbücher,dkk. 2018)

Mixture-no	OPC	GGBS	fine GGBS
1	15	35	50
2	15	80	5
3	27.5	45	27.5

4	40	10	50
5	40	55	5

Tabel di atas menjelaskan tentang *mix design* dengan campuran berdasarkan persen (%) dari berat benda uji yang mengandung semen portlan, GGBS, dan *fine* GGBS

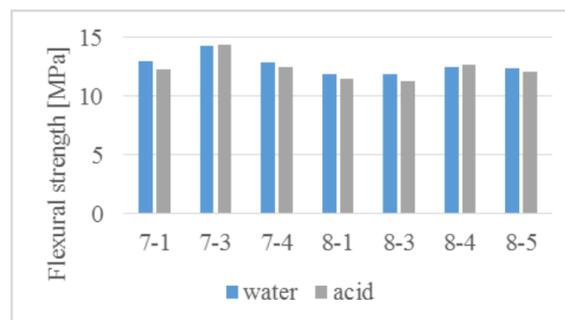
Tabel 2.17 Variasi Dari 5 Komposisi Pengikat (Breitenbücher,dkk. 2018)

<i>Attempt-no.</i>	<i>w/b-ratio</i>	GGBS	fine GGBS
M-1	0.30	A1	A4
M-2	0.44	A1	A6
M-3	0.44	A3	A4
M-4	0.30	A3	A6
M-5	0.44	C1	C4
M-6	0.30	C1	C6
M-7	0.30	C3	C4
M-8	0.44	C3	C6
M-9	0.37	B2	B5

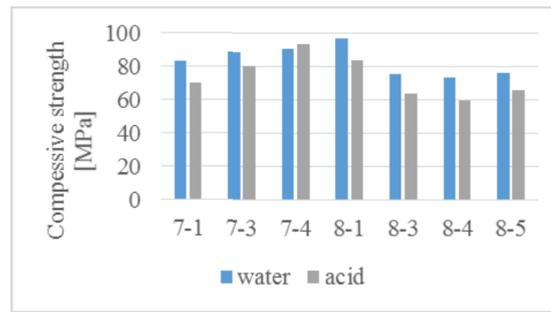
Tabel 2.18 Optimasi Komposisi Pengikat (Breitenbücher,dkk. 2018)

Attemp-no.	w/b-rasio	OPC	GGBS	fine GGBS
6-1	0.30	15%	70% C3	15 % C6
6-2	0.30	30%	50% C1	20 % C4
6-3	0.37	25%	60% B3	15 % B4
6-4	0.30	25%	60% A1	15 % A4
6-5	0.37	25%	65% A3	10 % A4
7-1	0.35	15%	75% A3	10 % A6
7-2	0.35	20%	65% A1	15 % A4
7-3	0.35	25%	55% C3	20 % C4
7-4	0.35	30%	50% C1	20 % C4
7-5	0.35	15%	70% B3	15 % B4
8-1	0.30	15%	70% B1	15 % B4
8-2	0.30	20%	70% A1	10 % A4
8-3	0.40	15%	70% B3	15 % B4
8-4	0.40	15%	70% A3	15 % A4
8-5	0.40	20%	65% A3	15 % A4

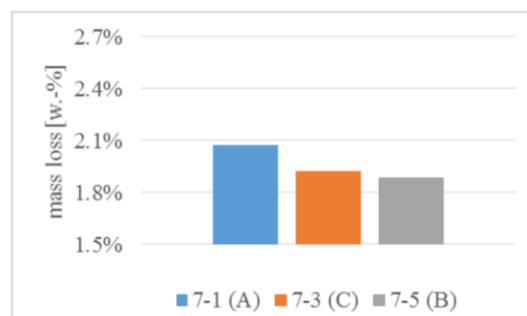
Tabel di atas menunjukkan variasi dari campuran Tabel 2.16 sehingga dari campuran tabel di atas diharapkan memiliki beberapa campuran pengikat sehingga bisa didapatkan rasio yang terbaik. Pada Tabel 2.17 Pengujian akan dilakukan selama 1, 2, 7, dan 28 hari dengan melalui uji tekan dan uji lentur, serta porositas  $\text{Ca(OH)}_2$  akan dilakukan setelah 28 hari. Dari optimasi komposisi pengikat di atas akan dilakukan perendaman ke cairan asam selama 13 minggu dengan  $\text{pH } 3.5 \pm 0.05$ , setiap 14 hari asam sulfat diganti dan akan dilakukan pengecekan terhadap abrasi dan kehilangan berat jenis. Setelah 28, 56, dan 91 hari kerusakan dan dalamnya penetrasi ditentukan dengan cara stereomikroskopi.



Gambar 2.11 Kekuatan Lentur Setelah 91 Hari (Breitenbücher,dkk. 2018)



Gambar 2.12 Kekuatan Tekan Setelah 91 Hari (Breitenbücher,dkk. 2018)



Gambar 2.13 Grafik Kehilangan Massa Setelah 91 Hari Di dalam Air Asam (Breitenbücher,dkk. 2018)

Dalam penelitian ini bisa kita tarik kesimpulan bahwa GGBS memiliki hasil yang cukup baik dengan bukti data-data di atas. Penulis penelitian ini menulis bahwa kehalusan *fine* GGBS memiliki pengaruh besar yang berdampak pada ketahanan terhadap asam, dengan kata lain semakin halus butiran GGBS halus memiliki porositas yang kecil juga sehingga bisa menahan keadaan asam yang lebih baik.

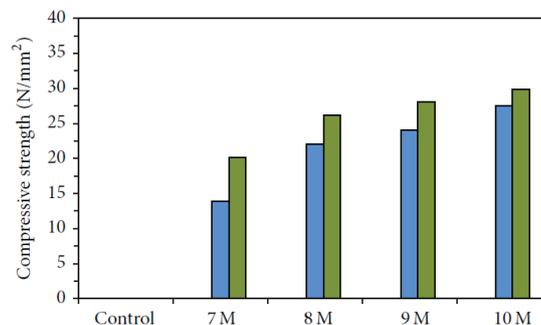
Kim,dkk (2014) dalam penelitian ini yang berjudul “*Strength and Durability Performance of Alkali-Activated Rice Husk Ash Geopolymer Mortar*” yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan ketahanan abu sekam padi yang ditambah beton geopolimer dalam kondisi asam dan ketahanan suhu.

Tabel 2.19 Komposisi Kimia Dan Campuran Pada Semen Portlan Dan Abu Sekam (Kim,dkk. 2014)

Komposisi %	Semen Portlan	Abu Sekam
SiO <sub>2</sub>	20.90	90.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.40	2.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.60	0.80
CaO	63.50	0.92

Komposisi %	Semen Portlan	Abu Sekam
MgO	0.60	0.47
SO <sub>3</sub>	2.60	-
Na <sub>2</sub> O	0.15	0.50
K <sub>2</sub> O	0.25	0.30
LOI	2.00	4.00
Rapat Massa	3.15	2.26
Rata – Rata besar pertikel (μ)	45.34	25.42
Warna	Abu – Abu	Abu – Abu

*Curing* dilakukan dengan kelembaban 85% untuk 7, 14, dan 28. Pada penelitian ini memakai benda uji kubus. Pengujian ini melakukan ketahanan dengan *curing* beton selama 28 hari dengan larutan 5% HCl, 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan 5% MgSO<sub>4</sub>.



Gambar 2.14 Pengujian Tekan Dengan Suhu 900 °c (Kim,dkk. 2014)

Dalam gambar di atas yang berwarna hijau merupakan perlakuan *curing* dengan suhu 60 °c selama 24 jam sedangkan yang biru merupakan *curing* dengan suhu ruangan. Dan juga diketahui bahwa kehilangan berat pada beton portlan sebesar 22 % dan 8 % ditemukan pada cairan asam, sedangkan beton geopolimer memiliki ketahanan terhadap asam yang lebih baik, diketahui bahwa beton geopolimer mengalami kenaikan massa sebesar 2,5 % setelah 28 hari. Dengan perbandingan terhadap penelitian yang dilakukan penulis bahwa beton yang penulis uji memiliki karakteristik yang hampir sama dengan beton normal, tetapi dikarnakan mutu beton yang tinggi mengalami kehilangan berat yang lebih sedikit.

Al-Swaidani,dkk (2017) dalam penelitian yang berjudul “*Improvement of the Early-Age Compressive Strength, Water Permeability, and Sulfuric Acid Resistance of Scoria-Based Mortars/Concrete Using Limestone Filler*” memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh dari beton berbahan dasar batu apung dengan pengisi kapur. Biasa ditemukan bahwa kekuatan beton dari bahan alam memiliki kelebihan dari daya tahannya terhadap asam dan juga proses penambangan yang lebih mudah. Tetapi dari keunggulan yang banyak beton berbahan alami

memiliki beberapa kekurangan seperti kuat tekan awal yang lebih rendah dari semen portlan dan waktu *curing* yang lebih lama. Di dalam penelitian ini hanya melihat dari kandungan kimia yang terdapat dalam batu kapur dan batu scoria, sehingga yang dikaji tidak sampai keproses pembuatan beton. Batu scoria merupakan batu beku luar yang terjadi dengan terperangkapnya gas vulkanik dan terjadi pembekuan. Setelah diketahui kandungan material batu scoria memiliki kandungan SiO<sub>2</sub> gabungan, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lebih dari 70%, konten SO<sub>3</sub> lebih sedikit dari 4%, dan kerugian pengapian kurang dari 10%, selain itu aktifitas kekuatannya melebihi dari semen portlan pada umumnya dengan ketahanan asam yang 30% lebih baik.

Penelitian Hiren dkk (2017) berjudul “*The Experimental Investigation of Durability Test on Concrete Cubes*” bertujuan untuk melakukan eksperimen terhadap durabilitas (ketahanan) pada sambel beton kubus berukuran 15 × 15 cm dengan menggunakan standar prosedur IS: 516-1959. Metode pengujian dilakukan dengan merendam sampel beton pada air dengan tambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HCL dengan kadar 5% selama 56 dan 90 hari setelah sebelumnya direndam untuk perawatan (*curing*) selama 28 hari dan diuji menggunakan pengujian tekan. Penelitian ini menggunakan 2 jenis sampel beton, yaitu beton M30 dan beton mikro dengan total jumlah sampel yang digunakan sebanyak 24 buah dengan umur pengujian pada 7, 28, 56 dan 90 hari. Namun, beton yang direndam menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HCL hanya untuk umur beton 56 dan 90 hari, seperti pada Tabel 2.19 mengenai informasi perendaman sebagai berikut ini.

Tabel 2.20 Jumlah sampel beton pengujian (Hiren, dkk. 2017)

Jenis Beton	Metode Perendaman	Umur Beton			
		7 hari	28 hari	56 hari	90 hari
Beton M30	Air Normal	3	3	3	3
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> setelah umur beton 28 hari	-	-	3	3
	HCL setelah umur beton 28 hari	-	-	3	3
	Air Normal	3	3	3	3
Beton Mikro	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> setelah umur beton 28 hari	-	-	3	3
	HCL setelah umur beton 28 hari	-	-	3	3
	Air Normal	3	3	3	3
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> setelah umur beton 28 hari	-	-	3	3

Sedangkan material yang digunakan dan hasil dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.19 – 2.21 dan Gambar 2.17 – 2.18 di bawah ini.

Tabel 2.21 Proporsi material untuk Beton M30 (Hiren, dkk. 2017)

<i>Item</i>	<i>Propotion</i>
<i>Cement (Kg)</i>	45
<i>Fine aggregate (Kg)</i>	69,45
<i>Coarse aggregate (Kg)</i> <i>(10mm &amp; 20mm)</i>	44,39
<i>Grit (Kg)</i>	54,06
<i>Water (litter)</i>	19,55
<i>Water cement ratio</i>	0,43

Tabel 2.22 Proposi material untuk Beton Mikro (Hiren, dkk. 2017)

<i>Item</i>	<i>Propotion</i>
<i>Cube size</i>	15 × 15 × 15 mm
<i>No of cubes</i>	25 Nos
<i>Quantity</i>	0,0843 m <sup>3</sup>
<i>Density of micro concrete</i>	2000 kg/m <sup>3</sup>
<i>Total weight of micro concrete</i>	168,78 kg

Tabel 2.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan (Hiren, dkk. 2017)

Jenis Beton	Metode	Kuat Tekan (MPa)			
		7 hari	28 hari	56 hari	90 hari
Beton M30	Air Normal	22,8	38,68	44,03	53,99
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> setelah umur beton 28 hari	-	-	30,98	23,13
	HCL setelah umur beton 28 hari	-	-	32,98	20,8
	Air Normal	37,08	48,35	59,89	65,58
Beton Mikro	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> setelah umur beton 28 hari	-	-	41,94	30,93

HCL setelah umur

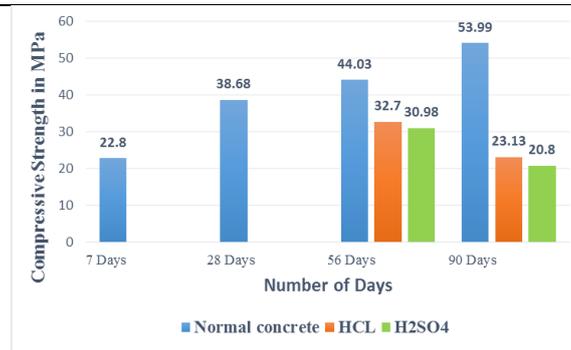
beton 28 hari

-

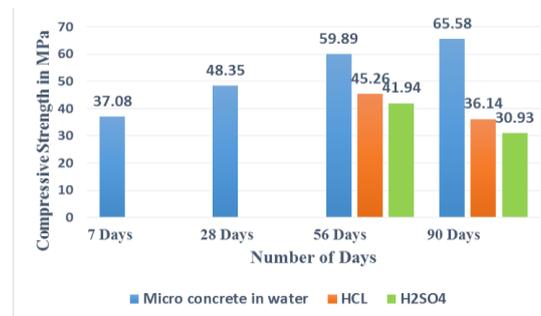
-

45,26

36,14



Gambar 2.15 Grafik hasil pengujian kuat tekan beton M30 (Hiren, dkk. 2017)



Gambar 2.16 Grafik hasil pengujian kuat tekan beton mikro (Hiren, dkk. 2017)

Dari hasil pengujian kuat tekan di atas dapat disimpulkan bahwa beton M30 dan beton mikro mengalami kenaikan kuat tekan seiring dengan bertambahnya umur beton. Sedangkan untuk beton yang direndam menggunakan HCL maupun H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan kadar 5% mengalami penurunan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton (umur 56 dan 90 hari), namun perendaman menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mengalami penurunan lebih tinggi dibandingkan perendaman menggunakan HCL seperti dapat dilihat pada Gambar 2.17 dan 2.18.

Perbedaan penelitian di atas dengan yang dilakukan oleh peneliti adalah peneliti menggunakan beton dengan bahan tambahan (*admixture*). Metode perendaman, peneliti menggunakan larutan NaOH (basa) yang dicampurkan kedalam air, sedangkan umur perendamannya adalah 3, 7, 14 dan 28 hari, sampel beton langsung dimasukkan ke dalam bak perendaman tanpa harus menunggu umur 28 hari seperti pada penelitian di atas. Selain pengujian kuat tekan, peneliti juga menguji nilai hambatan dan kepadatan pada sampel beton.

Penelitian Timotius, dkk (2014) berjudul “Identifikasi Keretakan Beton Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas” memiliki tujuan untuk mengidentifikasi keretakan pada sampel beton menggunakan alat *resistivitymeter*. Alat *resistivitymeter* akan memberikan hasil nilai

hambatan yang selanjutnya diolah menggunakan software untuk mengetahui letak retakan dan rongga dengan konfigurasi *schlumberger*. Konfigurasi *schlumberger* merupakan penentuan pola tahanan jenis model berbentuk pipa di bawah permukaan, dimana jarak titik tengah dengan elektroda arus A, sama dengan jarak titik tengah dengan elektroda arus B yakni sepanjang  $x$ , sedangkan elektroda potensial M dan N terletak di dalam elektroda arus, dan masing-masing elektroda tersebut berjarak  $y$  dari titik tengah pengukuran. Susunan elektroda tersebut biasa digunakan untuk menyelidiki variasi resistivitas (tahanan jenis) ke arah vertikal (*Sounding*). Sampel dalam penelitian menggunakan beton dengan panjang 60 cm, tinggi 20 cm dan lebar 10 cm.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap keretakan sampel beton dengan inversi (pengukuran) secara 1D maupun 2D. Hasil dari penelitian tersebut memberikan kesimpulan bahwa semakin banyak atau panjang retakan ataupun rongga maka nilai resistivitasnya (ohm) akan semakin tinggi, begitu juga untuk sebaliknya, seperti pada Tabel 2.22 di bawah ini yang merupakan hasil pengujian dari penelitian di atas.

Tabel 2.24 Hasil Pengujian Retakan (Timotius, dkk, 2014)

Metode Inversi (Pengukuran)	Pengukuran	Jenis Kerusakan (Retakan)			
		Retakan Diagonal	Retakan Vertikal	Tanpa Retakan	Berongga
Inversi 1D	Titik Retakan dari ujung sampel (cm)	30	20	10	-
	Kedalaman (cm)	20	20	20	-
	Nilai error (%)	10,52	7,31	2,89	2,26
	Jumlah iterasi	25	25	10	10
	Nilai Resistivitas (ohm)	6403,24	5877,76	3741,12	3138,74 (terendah) 3768,5 (tertinggi)
Inversi 2D	Titik Retakan dari ujung sampel (cm)	60	60	60	60
	Tinggi (cm)	20	20	20	20
	Nilai error (%)	38,2	38,2	38,2	9,3
	Jumlah iterasi	4	4	4	18
	Nilai Resistivitas (ohm)	4471	4471	4471	1228

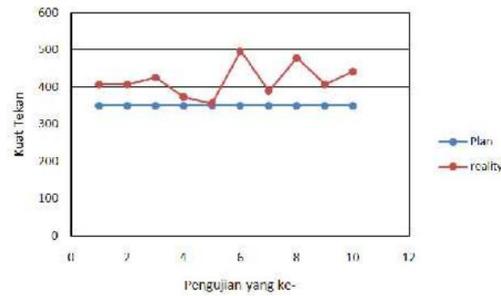
Hasil pengukuran inversi 1D memberikan hasil bahwa pada titik retakan 30 cm dengan kedalaman 20 cm memiliki nilai resistivitas yang tinggi sebesar 6403,24 ohm. Hal ini dipengaruhi keberadaan titik retak, kedalaman dan nilai error yang dihasilkan. Sedangkan untuk inversi 2D, retakan diagonal, vertikal dan tanpa retakan memiliki nilai resistivitas yang sama sebesar 4471 ohm dengan titik retak 60 cm dan tinggi 20 cm. Beton berongga dengan inversi 2D terletak pada titik retak maupun tinggi yang sama namun dengan nilai resistivitas sebesar 1228 ohm.

Perbedaan penelitian diatas dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti adalah peneliti menggunakan sampel beton berbentuk kubus berukuran  $15 \times 15$  cm dan pengujian resistivitas hanya sebatas mengetahui nilai hambatan jenis pada setiap sampel beton yang dilakukan, yaitu terhadap beton dengan perendaman air biasa dan perendaman air basa tanpa melakukan inversi 1D maupun 2D.

Penelitian Apriani, Widya (2016) berjudul “Aplikasi *Non Destructive Test* pada Investigasi Keandalan Struktur Beton” bertujuan untuk melakukan pengujian *non destructive* menggunakan *Hammer Test*, *Rebar Locator* dan *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)* terhadap struktur bangunan, dengan studi kasus pada kolom *basement* K4 Stadion Utama Riau. Pengujian dilakukan secara bertahap dengan diawali *Hammer Test*, *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)* dan *Rebar Locator* dengan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 2.23 – 2.25 dan Gambar 2.19 – 2.20 di bawah ini.

Tabel 2.25 Hasil Pengujian *Hammer Test* (Widya, 2016)

No.	Rebound Value (R)	Position	Rebound Value	Compression Strength (Kg/cm <sup>2</sup> )		(x - X)	(x - X) <sup>2</sup>
			After Correction (R)	Plan	Reality		
<b>Kolom Lantai Basement(K4)</b>							
1	40	Horizontal	40,00	350	408,00	-10,90	118,81
2	40	Horizontal	40,00	350	408,00	-10,90	118,81
3	41	Horizontal	41,00	350	426,00	7,10	50,41
4	38	Horizontal	38,00	350	374,00	-44,90	2016,01
5	37	Horizontal	37,00	350	357,00	-61,90	3831,61
6	45	Horizontal	45,00	350	497,00	78,10	6099,61
7	39	Horizontal	39,00	350	390,00	-28,90	835,21
8	44	Horizontal	44,00	350	479,00	60,10	3612,01
9	40	Horizontal	40,00	350	408,00	-10,90	118,81
10	42	Horizontal	42,00	350	442,00	23,10	533,61
				<b>Total S<sub>x</sub></b>	<b>4189,00</b>	<b>S(x - X)<sup>2</sup></b>	<b>17334,90</b>
				<b>Mean Strength, X</b>	<b>418,90</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	
				<b>Standard Deviation, s</b>	<b>41,64</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	
				<b>Carateristic</b>	<b>350,62</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	
				<b>Coefficient of Variation, V</b>	<b>9,94</b>	<b>%</b>	



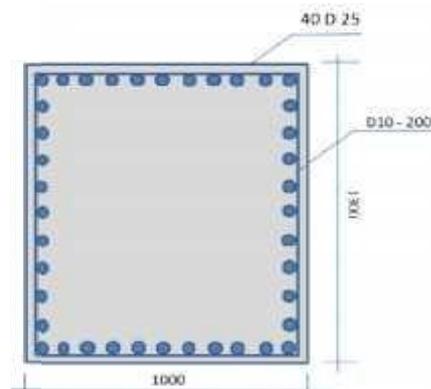
Gambar 2.17 Perbandingan Kuat Tekan Rencana dengan Pengujian di Lapangan (Widya, 2016)

Tabel 2.26 Hasil Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)* (Widya, 2016)

<i>Code</i>	<i>Measurement Type</i>	<i>Distance (m)</i>	<i>Velocity (m/s)</i>	<i>Time (<math>\mu</math>s)</i>	<i>Average (km/s)</i>	<i>Result</i>
Kolom Lt. Basement (K 4)	<i>Semi Direct</i>	0,3	8596	34,9	7,43	Sangat Baik
			8850	33,9		
			9868	30,4		
			5093	58,9		
			4754	63,1		

Tabel 2.27 Hasil Pengujian *Rebar Locator* (Widya, 2016)

<i>Code</i>	<i>Dimension (mm)</i>	<i>Concrete Cover (mm)</i>	<i>Amount of Main Bar</i>	<i>Distance of Main Bar (mm)</i>
Kolom Lt. Basement (K 4)	1000	50	11	90
	1300	50	11	120
	1000	50	11	90
	1300	50	11	120



Gambar 2.18 Hasil Pengujian *Rebar Locator* pada Kolom *Basement sempe* (Widya, 2016)

Dari hasil penelitian diatas, pada pengujian *hammer test* diperoleh nilai ketidakteragaman sangat tinggi, yaitu 9,4 %, sedangkan untuk kuat tekan relative tinggi

dibandingkan dengan kuat tekan rencana sebesar 30 MPa. Pengujian *UPVT* diperoleh hasil sangat baik sebesar 7,43 km/det, hal ini karena hubungan *pulse velocity* dengan kualitas beton berada di atas standar ASTM C597 (>4,57 km/det). Sedangkan pengujian *rebar rotator* hanya untuk mendeteksi keberadaan tulangan, dimensi dan tata letaknya. Hasil keseluruhan dari ketiga pengujian alat *non destructive* di atas diperoleh hasil bahwa struktur kolom *basement* K4 Stadion Utama Riau masih memenuhi sebagai bangunan yang layak fungsi.

Perbedaan penelitian diatas dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti adalah peneliti hanya menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)* sebagai alat pengujian untuk mengetahui nilai densitas (kepadatan) pada sampel beton yang telah peneliti buat sebelumnya. Peneliti menggunakan sampel beton mutu tinggi berukuran 15 × 15 cm yang sebelumnya telah direndam sebagai metode perawatan beton (*curing*) menggunakan dua tipe air berbeda pH, yaitu air normal dan air asam.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1. Beton.

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis laonnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau bahan tambahan (*admixture*), yang setelah di campur merata (warna seragam) menghasilkan suatu campuran yang plastis (antara cair dan padat) sehingga dapat di tuang kedalam cetakan, untuk membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi keras atau padat (Tjokrodinuljo, 1992 ).

### 2.2.2. Jenis perkerasan

Perkerasan kaku jenis perkerasan yang menggunakan semen sebagai komponen utama. Biasanya jenis perkerasan ini ada yang memiliki tulangan dan ada juga yang tidak. Perkerasan kaku yang memiliki tulangan biasanya memiliki panjang plat sekitar 8 – 15 meter, dan yang tidak memiliki tulangan memiliki panjang sekitar 4 – 5 meter. Keunggulan dari perkerasan ini adalah usia yang relatif panjang, perbaikan yang mudah, dan memiliki ketahanan dalam menahan gaya rem dari kendaraan (Pd T 14 2003). Perkerasan Lentur jenis perkerasan ini memiliki tiga lapisan yaitu lapisan pondasi bawah, lapis pondasi atas, dan lapis permukaan. Di lapisan pondasi bawah biasanya menggunakan material berbutir atau granular yang dipadatkan, pada lapis pondasi atas biasanya memakai bahan yang hampir sama yang digunakan oleh pondasi yaitu, batu pecah, krikil pecah yang distabilisasi dengan semen, aspal, pozzolan, atau kapur. Lapis permukaan biasanya memakai bahan aspal yang kedap air, dan juga memberi bantuan tegang tarik yang menyebabkan mempertinggi daya dukung terhadap roda kendaraan. Perkerasan Komposit jenis perkerasan ini adalah perpaduan dari perkerasan kaku dan

perkerasan lentur, yang dimaksud adalah kombinasi campuran agregat terhadap aspal sehingga semua permukaan akan tertutupi oleh aspal (Revisi SNI 03-1737-1989).

### 2.2.3. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan yang disyaratkan, yaitu  $f'c \geq 41,4$  MPa. Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kemampuan yang melebihi beton biasa dengan kuat tekan ( $f'c$ ) 40 – 80 MPa yang didasarkan dari pengujian silinder 15 x 30 cm (BSN, 2000).

Tabel 2.28 mutu beton dan kegunaan

No	$f_c'$ (MPa)	$\sigma_{bk}'$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Uraian
1	35-65	K400-K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
2	20-<35	K250-K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb, Beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
3	15-<20	K175-K250	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10-<15	K125-K175	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

Sumber: BSN, 2000

#### 2.2.4. Bahan Penyusun Beton

##### 1. Semen

semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Menurut ASTM C150 (2019), jenis dan penggunaan semen *portland* di Indonesia antara lain sebagai berikut:

- a. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

##### 2. Zat adiktif

Zat adiktif adalah suatu senyawa yang digunakan untuk mempengaruhi reaksi dari semen. Reaksi ini bisa bertujuan untuk memperlambat atau juga mempercepat reaksi semen. Menurut standar ASTM, terdapat 7 jenis bahan kimia, yaitu:

a. Tipe A, *Water-Reducing Admixtures*

Tipe ini bertujuan sebagai pengurangan penggunaan air pada *mix design*.

b. Tipe B, *Retarding Admixtures*

Tipe ini bertujuan untuk memperlambat waktu pengikatan beton (*setting time*)

c. Tipe C, *Accelerating Admixtures*

Tipe ini merupakan kebalikan dari *admixture* tipe b yang memperlambat. Tipe ini bertujuan untuk mempercepat waktu pengikatan beton

d. Tipe D, *Water Reducing and Retarding Admixtures*

Tipe ini gabungan dari tipe a dan tipe b yang bertujuan untuk memperlambat waktu pengikatan beton dan mampu mengurangi air yang digunakan.

e. Tipe E, *Water Reducing and Accelerating Admixtures*

Tipe ini juga merupakan gabungan dari tipe a dan tipe c yang bertujuan untuk mengurangi air yang digunakan dan mempercepat waktu pengikatan beton

f. Tipe F, *Water Reducing, High Range Admixtures*

Tipe ini bertujuan untuk mengurangi jumlah air yang digunakan dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih.

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

Tipe ini memiliki tujuan yang sama dengan tipe f tetapi memiliki kelebihan dalam mengurangi waktu pengikatan beton.

### 3. *Sikament-NN*

Berdasarkan data dari PT. Sika Indonesia, *Sikament-NN* merupakan *admixture* yang bertipe A dan F yang memiliki sifat mengurangi pemakaian jumlah air dalam jumlah besar dan mempercepat pengerasan pada beton. Kegunaan dari *Superplastizer* ini efisien dalam produksi beton mengalir (palt, pondsi, kolom atau balok, dermaga, bangunan ramping bertulangan banyak, dan permukaan dengan *finishing* bertekstur. Selain fungsinya untuk mengurangi air sebesar 25%, *Sikament-NN* juga berfungsi sebagai menaikkan kuat tekan awal beton tinggi dan peningkatan mutu beton setelah 28 hari sebesar 40% serta kekuatan akan tinggi setelah 16 jam. Penggunaan bahan ini akan meningkatkan *workability* dengan pesat, mengurangi jumlah getaran, dan mengurangi segregasi pada beton secara signifikan. Dosis yang disarankan pada *Sikament-NN* sebesar 0,6% sampai 3% dari berat semen yang digunakan

### 4. *Plastocrate*

Berdasarkan data dari PT. Sika Indonesia, *Plastocrete RT06 Plus* merupakan bahan tambahan (*admixture*) pada beton yang bertujuan untuk mengurangi pemakaian air pada *mix design* dan juga mengontrol waktu pengerasan beton, *Plastocrete RT06 Plus* merupakan bahan

tambahan (*admixture*) yang masuk dalam ASTM C 494-92 *Type D*. Kegunaan dari *admixture* ini adalah menghindari *cold joint*, penempatan yang sulit, pengangkutan yang jauh, dan beton yang menggunakan alat *vibrator*. Kualitas yang dihasilkan tergantung dari tingkat dosis, kualitas semen, kualitas agregat, dan suhu. Campuran yang dianjurkan adalah 0,2 % sampai 0,6% dari berat semen yang digunakan

#### 5. Air

Persyaratan yang harus dipenuhi untuk proses pencampuran beton menurut (SNI 7974,2013) sebagai berikut

- a. Air pengaduk yang telah diukur *ibatching plant*
- b. Es
- c. Air yang ditambahkan operator truk
- d. Air bebas pada agregat-agregat
- e. Air yang masuk sebagai bahan-bahan tambahan, apabila misa menaikkan faktor air semen lebih dari 0,01
- f. Air minum boleh langsung ditambahkan tanpa harus melakukan pengujian
- g. Air pencampur yang setengah atau seluruh tidak bisa diminum boleh digunakan dalam setiap proporsi dengan batas kualitas yang memenuhi syarat
- h. Sumber-sumber air yang tidak bisa diminum harus memenuhi persyaratan
- i. Air kombinasi yang dicampur dari dua atau lebih sumber air, dimana satu dari sumber tersebut adalah air sisa produksi beton, harus memenuhi syarat untuk penggunaan pengujian dan persyaratan.

#### 6. Air asam

Air asam adalah suatu kadar ph dalam air yang memiliki nilai dibawah 7. Air asam bisa juga berupa air yang melepaskan ion hidrogen. Air asam dibagi dua yaitu asam organik dan asam anorganik. Dalam penelitian ini penulis menggunakan cairan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dengan pemakaian pengganti air biasa saat *curing*

#### 7. 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. Agregat halus harus memenuhi persyaratan seperti dibawah.

Tabel 2 29 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 $\mu\text{m}$	25 - 60
no. 50	300 $\mu\text{m}$	5 - 30
no. 100	150 $\mu\text{m}$	0 - 10
no. 200	75 $\mu\text{m}$	0 - 0,3

#### 8. 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 berikut.

Tabel 2 30 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

Dalam pengujian agregat halus dan agregat kasar terdapat beberapa rumus yang digunakan yaitu

#### 9. Modulus halus butiran

$$\text{Modulus halus butiran (MHB)} = \frac{\text{Jumlah Berat tertahan kuantitatif (\%)}}{\text{jumlah berat tertahan (\%)}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Adapun sebagai berikut cara pengujian MHB

- Mengeringkan agregat pada oven dengan suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  sampai berat dari agregat tetap.
- Mengatur ayakan.
- Melakukan penyaringan dengan menggunakan alat *shave shaker* selama 15 menit.
- Menimbang butiran tertahan disaringan.

#### 10. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Dalam pengujian ini terdapat beberapa berat jenis yaitu, berat curah kering, berat jenuh permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air. Adapun rumus yang digunakan yaitu.

$$\text{a. Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(B+S-C)} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{b. Berat jenis kering permukaan} = \frac{S}{(B+S-C)} \dots\dots\dots(2.3)$$

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

$$\text{d. Penyerapan air} = \left[ \frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

A: berat jenis kering oven (g)

B. berat piknometer (g)

C: berat piknometer dengan benda uji dan air (g)

S: berat benda uji kering permukaan (g)

Adapun langkah-langkah yang digunakan sebagai berikut

- a) Menyiapkan benda uji dengan kering permukaan seberat  $500 \pm 10$  g
- b) Memasukkan benda uji ke piknometer dan diisi air suling sehingga penuh 90% dan keluarkan gelembung udara yang terperangkap
- c) Isi piknometer 100% kemudian timbang
- d) Keluarkan benda uji dan keringkan sampai beratnya tetap kemudian didinginkan didalam desikator. Kemudian timbang berat benda uji
- e) Mengisi piknometer dengan air sampai penuh
- f) Menghitung berat jenis sesuai rumus diatas

#### 11. Kadar lumpur

Kadar lumpur merupakan agregat yang lolos saringan no 200. Dalam agregat kasar kadar lumpur yang diizinkan adalah kurang dari 5% (ASTM C117-03). Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut.

- a. Berat kering benda uji awal,  $w_3 = w_1 - w_2$ .....(2.6)
- b. Berat benda uji setelah pencucian,  $w_5 = w_4 - w_2$ .....(2.7)
- c. Kadar lumpur,  $w_6 = \frac{w_3 - w_5}{w_3} \times 100\%$ .....(2.8)

Keterangan

$W_1$  : berat benda uji kering + wadah (g)

$W_2$  : berat wadah (g)

$W_3$  : berat benda uji awal (g)

$W_4$  : berat benda uji setelah dicuci + wadah

$W_5$  : berat benda uji setelah dicuci (g)

$W_6$  : % bahan lolos saringan no 200

Langkah – langkah pengujian kadar lumpur sebagai berikut.

- a) Menyiapkan benda uji 500 g untuk agregat halus dan 500 g untuk agregat kasar.
- b) Cuci benda uji sampai air cucian tidak berwarna keruh atau bening. Sambil dicuci agregat disaring menggunakan saringan no 200 sampai selesai.
- c) Keringkan agregat kedalam oven selama 24 jam.
- d) Timbang pasir.
- e) Lakukan perhitungan dengan persamaan 2.8.

#### 12. Keausan agregat kasar

Keausan agregat adalah hilangnya agregat kasar yang tergerus selama dilakukannya pengujian. Pengujian ini menggunakan mesin *los angeles*. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut.

$$\text{Keausan } \frac{a-b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan

a : berat benda uji awal (g)

b : berat benda uji tertahan no 12 (g)

adapun langkah – langkah yang dilakukan sebagai berikut

- a) Mencuci dan mengringkan agregat didalam oven dengan suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  selama 24 jam
- b) Masukkan benda uji kedalam mesin *los angeles* dengan 500 putaran
- c) Mengelurakan benda uji dan dilakukan penyaringan agregat no 12
- d) Mencuci agregat dan dikeringkan kedalam oven selama 24 jam
- e) Menimbang benda uji dan dilakukan perhitungan dengan persamaan 2.9.

#### 2.2.5. Pengujian Beton

##### 1. *Slump* beton

Pengujian *Slump* (*Slump Test*) merupakan salah satu cara mengukur kelecakan (*workability*) pada beton segar, yang dipakai untuk mengukur kemudahan dalam pengerjaan beton, oleh Tjokrodimuljo (2007). Menurut ATM C 143, *slump test* merupakan suatu ukuran kekentalan pada adukan beton segar yang dinyatakan dalam mm kemudian ditentukan oleh alat kerucut.

Kelecakan pada beton merupakan sifat plastis dan kekentalan pada beton segar sehingga dapat mempengaruhi mudah atau tidaknya beton untuk dikerjakan. Secara umum semakin banyak penggunaan air pada beton maka akan semakin tinggi nilai slump, sehingga hal ini akan mempengaruhi pada mutu beton. Bahan campuran beton adalah air, semen portland, dan agregat dengan perbandingan yang telah dihitung dalam *mix desain* sesuai dengan kuat tekan yang direncanakan. Maka nilai pengujian slump dalam beton juga ditentukan oleh bahan pengisi dalam beton segar tersebut.

Dalam ACI 911, nilai slump telah ditetapkan dengan kondisi kegunaan pekerjaan dilapangan, maka agar diperoleh hasil beton segar yang mudah dikerjakan dilapangan Modulus Elastisitas

Tabel 2.31 Perkiraan Kadar Air Bebas Untuk Kemudahan Pengerjaan Menurut (ACI 911)

No	TipeKonstruksi	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. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas memiliki rumus dasar sebagai berikut

$$E = \frac{\text{Tegangan } (\sigma)}{\text{Regangan } (\epsilon)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Menurut (LPMB, 1991) modulus elastisitas beton bisa dihitung dengan konversi dari kuat tekan beton ( $f_c'$ ). Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut

$$\text{Modulus Elastisitas Beton, } E = 4700 \times \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.12)$$

### 2.2.6. Pengujian Durabilitas Beton

#### 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).

Metode resistivitas oleh Putra dkk. (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:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan keterangan,

$R$  = tahanan atau resistensi ( $\Omega$ ),

$V$  = perbedaan potensial listrik (Volt),

$I$  = perbedaan arus listrik (Ampere).

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

$$\rho = \frac{V}{I} \times \frac{A}{L} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan keterangan,

$V$  = perbedaan potensial (Volt),

$I$  = kuat arus yang melalui bahan (Ampere),

$A$  = luas penampang (m),

$L$  = panjang kawat (m).

## 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 C 597-83, 1991 pengujian ini menggunakan kecepatan gelombang ultrasonik yang dipengaruhi oleh homogenitas campuran beton dan kepadatan beton. Semakin cepat gelombang ultrasonik melewati sampel uji, maka semakin rapat dan padat sampel uji tersebut, Apabila gelombang ultrasonik semakin lambat melewati sampel uji, maka sampel uji dinyantakan kurang padat dan terdapat rongga maupun retakan.

Untuk perhitungan densitas beton dapat diketahui sebagai berikut ini.

$$V = \frac{L}{t} \text{ (km/s)} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

$V$  = Kecepatan gelombang (km/s)

$L$  = Panjang lintasan (km)

$t$  = Waktu perpindahan (s)

Pengujian *UPVT* memiliki standar nilai yang telah diatur dalam ASTM C 597 seperti pada Tabel 2.29 di bawah ini.

Tabel 2 32 Hubungan kecepatan gelombang dan kualitas beton  
(ASTM C 597-83, 1991)

Kecepatan Gelombang (km/s)	Hasil
>4,57	Sangat Baik
4,57 – 3,67	Baik
3,66 – 3,06	Cukup Baik
3,05 – 2,13	Cukup
<2,13	Kurang

### 3. Kuat tekan beton

Dalam setiap perencanaan pencampuran beton, kuat tekan dari beton harus memenuhi kekuatan karakteristik yang disyaratkan, dimana kekuatan karakteristik adalah nilai dari kekuatan beton dari sejumlah besar benda uji. Kekuatan dari nilai tersebut hanya terbatas sampai dengan 5%, oleh PBI (1971). Berdasarkan ASTM C 136-06, kuat tekan merupakan besarnya beban per satuan luas penampang yang menyebabkan benda uji beton hancur dengan gaya tekan tertentu yang diberikan oleh mesin tekan. Dalam penelitian kali ini, peneliti menggunakan ASTM C 136-06, 1990 sebagai acuan untuk menentukan kuat tekan (*compressive strength*) beton dengan benda uji berbentuk kubus yang dibuat dilaboratorium.

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \cdot \text{kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan:

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang (cm<sup>2</sup>)