

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Pengujian

##### 4.1.1. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat

Pemeriksaan berat dan penyerapan agregat dilakukan sebelum melakukan *mix design* dengan melakukan pengujian berat jenis dan penyerapan pada masing – masing agregat.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar

No	Item Pengujian	Sampel Uji		Nilai Rata-Rata	Notasi
		Sampel 1	Sampel 2		
1	Berat sampel SSD di udara (gr)	5000	5000	5000	B
2	Berat sampel SSD di air (gr)	3010	3009	3009,5	C
3	Berat sampel kering oven (gr)	4933	4930	4931,5	D
4	Berat jenis semu	2,57	2,57	2,57	D / (D-C)
5	Berat jenis curah kering	2,48	2,48	2,48	D / (B-C)
6	Berat jenis curah jenuh kering (2,5 – 2,7)	2,51	2,51	2,51	B / (B-C)
7	Penyerapan air (%)	1,36	1,42	1,39	(B-D)/D*100

Dilihat dari Tabel 4.1 di atas berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat disimpulkan bahwa berat jenis curah kering rata-rata sebesar 2,48, berat jenis semu rata-rata sebesar 2,57, berat jenis curah jenuh kering (SSD) rata-rata sebesar 2.51 dan penyerapan air sebanyak 1,39%. Berdasarkan ASTM C127-01, nilai dari pengujian berat jenis ini telah memenuhi persyaratan.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

No	Item Pengujian	Sampel Uji		Nilai Rata-rata	Notasi
		Sampel 1	Sampel 2		
1	Berat piknometer (gr)	200	200	200	
2	Berat sampel SSD di udara (gr)	500	500	500	B
3	Berat piknometer + air + sampel SSD (gr)	988	1043	1015,5	C
4	Berat piknometer + air (gr)	695,8	763	729,4	D
5	Berat sampel kering oven (gr)	453,1	445	449,05	L
6	Berat jenis semu	2,82	2,70	2,76	$L / (D+L-C)$
7	Berat jenis curah kering	2,18	2,02	2,1	$L / (D+B-C)$
8	Berat jenis curah jenuh kering (2,3 - 2,6)	2,41	2,27	2,34	$B / (D+B-C)$
9	Penyerapan air (%)	10,35	12,36	11,36	$(B-L/L) * 100$

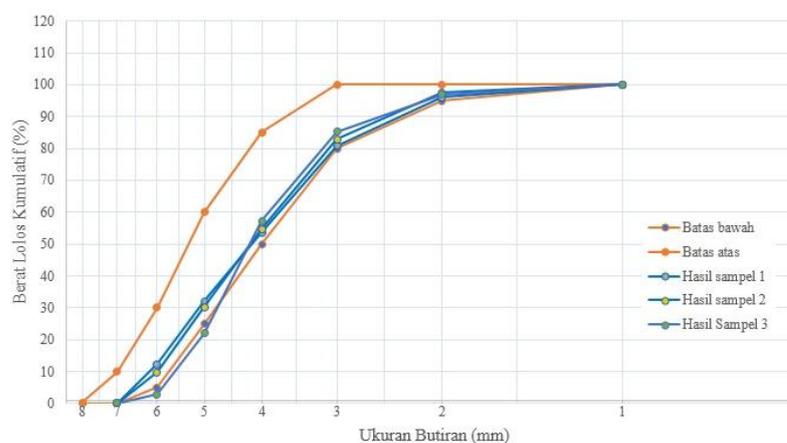
Dilihat dari Tabel 4.2 di atas berat jenis curah kering rata-rata sebesar 2,10, berat jenis semu rata - rata sebesar 2,76, berat jenis curah jenuh kering (SSD) rata - rata 2.34 dan penyerapan air sebanyak 11,36 %. Berdasarkan ASTM C128-01, nilai dari pengujian berat jenis ini telah memenuhi persyaratan.

#### 4.1.2. Analisa Saringan Agregat

Pengujian analisa saringan agregat bertujuan untuk menentukan hasil dari gradasi yang berguna untuk perhitungan *mix design*. alat yang digunakan dalam pengujian ini memakai saringan yang disusun sesuai ukuran yang diperlukan.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Ukuran Saringan	Persen Lolos		Hasil		
	Batas bawah	Batas atas	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
3/8 in	100	100	100	100	100
no. 4	95	100	96,1	97,5	96,95
no. 8	80	100	80,9	82,8	85,3
no. 16	50	85	53,6	54,8	57,3
no. 30	25	60	32,1	30,2	22,05
no. 50	5	30	12,4	9,7	2,8
no. 100	0	10	0	0	0
no. 200	0	0,3	0	0	0

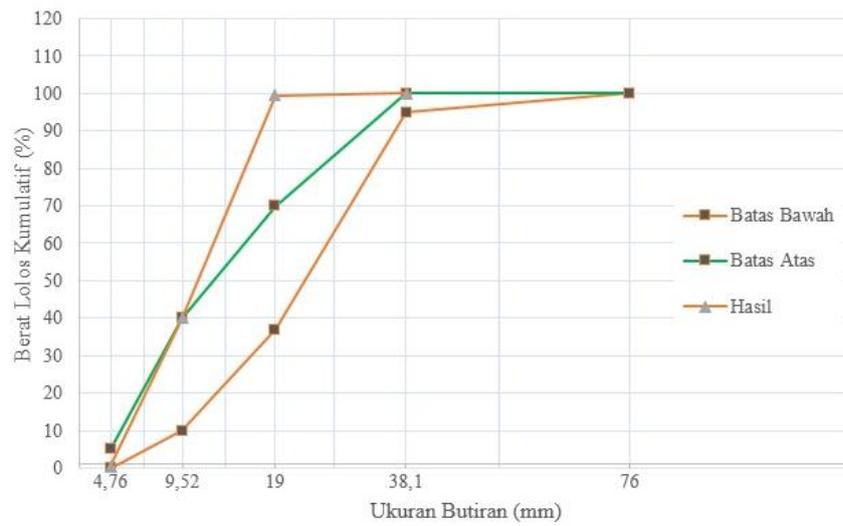


Gambar 4 1 grafik distribusi gradasi butiran halus

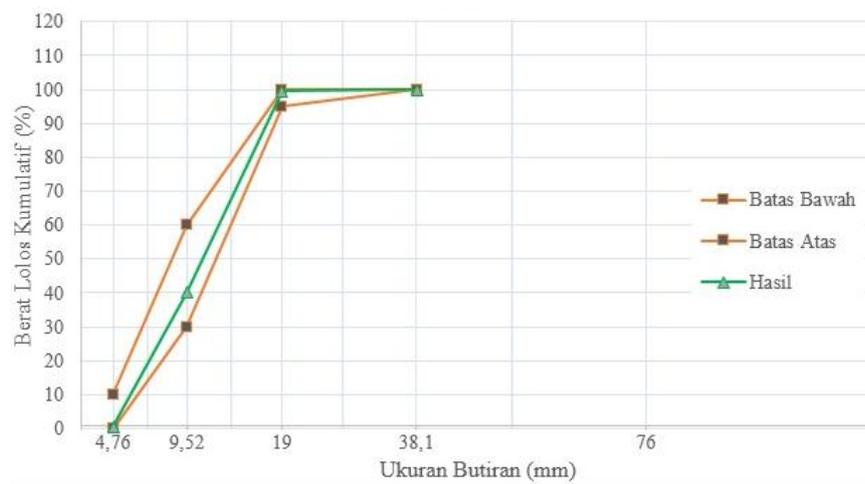
Dari grafik di atas semua sampel pengujian memenuhi spesifikasi ASTM C33-03 karena berada di antara batas atas dan batas bawah.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

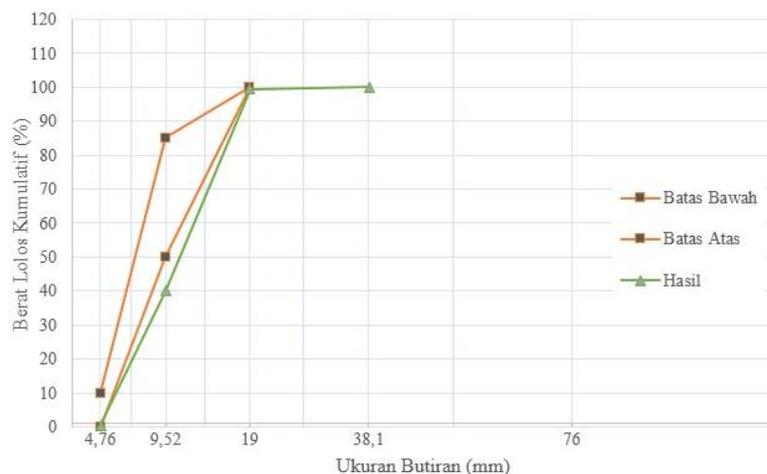
Lubang mm	Maksimum 40 mm		Maksimum 20 mm		Maksimum 10 mm		Hasil
	Bts. Bawah	Bts. Atas	Bts. Bawah	Bts. Atas	Bts. Bawah	Bts. Atas	
76	100	100					
38,1	95	100	100	100			100
19	37	70	80	100	100	100	97.50
9,52	10	40	30	60	50	85	35.00
4,76	0	5	0	10	0	10	0.50



Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Ukuran 40 mm



Gambar 4.3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Ukuran 20 mm



Gambar 4.4 Grafik Gradasi Agregat Kasar Ukuran 10 mm

Dari hasil pengujian analisis saringan agregat kasar di atas, berdasarkan ASTM C 33-03 diperoleh hasil agregat kasar berada pada zona ukuran maksimal 20 mm, sehingga agregat tersebut masuk dalam klasifikasi agregat berukuran 11 mm – 20 mm (Sedang).

#### 4.1.3. Kadar Lumpur Agregat

Berdasarkan peraturan SNI ASTM C 117 kandungan kadar lumpur maksimal adalah 5% untuk agregat halus dan ASTM C 142 untuk agregat kasar sebesar 1%.

Tabel 4.5 Analisis Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

No	Item Pengujian	Sampel Uji		Rata-rata
		Sampel 1	Sampel 2	
1	Berat wadah (gr)	210	210	210
2	Berat wadah + sampel (gr)	710	710	710
3	Berat sampel sebelum dicuci (gr)	500	508	504
4	Berat sampel kering oven setelah dicuci (gr)	488	491	489,5
5	Kadar lumpur (%) (Maks. 5%)	2,4	3,35	2,88

Dari hasil pengujian Tabel 4.5 didapatkan hasil bahwa kadar lumpur rata-rata agregat halus yaitu 2,88%. Menurut ASTM C 117 untuk agregat halus maksimal yaitu 5%, sehingga hasil pengujian di atas telah memenuhi persyaratan standar yang diperbolehkan.

Tabel 4.6 Analisis Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

No	Item Pengujian	Sampel Uji		Rata-rata
		Sampel 1	Sampel 2	
1	Berat wadah (gr)	195	195	195
2	Berat wadah + sampel (gr)	5195	5195	5195
3	Berat sampel sebelum dicuci (gr)	5000	5000	5000
4	Berat sampel kering oven setelah dicuci (gr)	4935	4985	4970
5	Kadar lumpur (%) (Maks. 1%)	1,3	0,3	0,8

Dari hasil pengujian di atas didapatkan hasil bahwa kadar lumpur rata-rata agregat kasar yaitu 0,8%. Menurut ASTM C 142 untuk agregat kasar maksimal yaitu 1%, sehingga hasil pengujian di atas telah memenuhi persyaratan standar yang diperbolehkan

#### 4.1.4. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Pemeriksaan kadar air merupakan perbandingan berat basah dan berat pasir setelah dioven. Berikut data dari pengujian kadar air agregat halus

Tabel 4.7 Analisis Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

No	Item Pengujian	Sampel Uji		Rata-rata
		Sampel 1	Sampel 2	
1	Berat wadah (gr)	128	128	128
2	Berat wadah + sampel (gr)	628	628	628
3	Berat sampel basah (gr)	500	500	500
4	Berat wadah + sampel kering oven (gr)	613	611	612
5	Berat sampel kering oven (gr)	485	483	484
6	Kadar Air (%) (3% - 5%)	3,09	3,52	3,31

Dari hasil pengujian kadar air di atas di peroleh nilai kadar air yaitu sebesar 3,31%. Menurut peraturan ASTM C 566 syarat kadar air agregat halus yang diperbolehkan berkisar diantara 3% - 5%, sehingga agregat halus di atas telah memenuhi syarat uji kadar air agregat yang diperbolehkan. .

#### 4.1.5. Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar

Pemeriksaan keausan agregat memiliki tujuan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar yang memiliki ukuran lebih kecil dari 37,5 mm (1½") dengan memakai alat *Los Angeles Machine*. Berikut adalah hasil data.

Tabel 4.8 Analisis Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

No	Item Pengujian	Sampel Uji		Rata-rata
		Sampel 1	Sampel 2	
1	Berat sampel lolos saringan 3/4 (gr)	2500	2500	2500
2	Berat sampel tertahan saringan 1/2 (gr)	2500	2500	2500
3	Total (W1) (gr)	5000	5000	5000
4	Berat sampel tertahan saringan 12 (W2) (gr)	3552	3467	3509,5
5	Ketahanan terhadap aus (%) $((W1-W2)/W1)*100%$ (syarat <50%)	28,96	30,66	29,81

Hasil pengujian keausan agregat diatas diperoleh hasil nilai keausan rata-rata sebesar 29,81%. Menurut peraturan ASTM C 535 nilai keausan agregat yang diperbolehkan dalam kontruksi yaitu < 50%, sehingga agregat kasar diatas telah memenuhi syarat yang diperbolehkan untuk kontruksi, terutama konstruksi jalan.

#### 4.2. Hasil Penelitian

##### 4.2.1. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan pencampuran beton merupakan penentuan jumlah komposisi material-material yang digunakan sebagai bahan penyusun beton, diantara menentukan jumlah agregat kasar, agregat halus, semen dan air yang digunakan, serta dosis bahan tambahan (*admixture*) yang digunakan untuk *Sikament NN* dan *Plastocrete RT06 Plus*.

Tabel 4 9 Perhitungan Perencanaan Pencampuran Beton

No	Uraian	Kuantitas
1	Kuat Tekan yang disyaratkan, pada umur 28 hari (Fc')	33.20 MPa
2	Deviasi standar (s)	MPa
3	Nilai tambah (margin) (m)	8.5 MPa
4	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (Fc'r)	42.0 MPa
5	Jenis semen (Biasa)	Type I
6	Jenis agregat kasar (Batu Pecah)	Kerikil Clereng
7	Jenis agregat halus (Alami)	Pasir Progo
8	Faktor air semen	0.48

Tabel 4 10 Lanjutan Perhitungan Perencanaan Pencampuran Beton

No	Uraian	Kuantitas	
9	Faktor air semen maksimum	0.6	
	dipakai faktor air semen yang rendah	0.48	
10	Nilai slump	7.2	cm
11	Ukuran maksimum agregat kasar	20	
		mm	
12	Kebutuhan		
	Air	204.90	liter
	Agregat halus (Ah)	195	Kg
	Agregat kasar (Ak)	225	Kg
13	Kebutuhan semen portland	426.88	Kg
14	Daerah gradasi agregat halus		
	Persen berat agr. halus thp campuran	51.5	%
	Persen berat agr. kasar thp campuran	48.5	%
16	Berat jenis agregat campuran (dihitung)	2.41	kg/m <sup>3</sup>
	Berat jenis ag. Halus	2.31	
	Berat jenis ag. Kasar	2.51	
17	Berat jenis beton	2213	kg/m <sup>3</sup>
18	Kebutuhan agregat halus dan kasar	1581.23	kg/m <sup>3</sup>
19	Kebutuhan agregat halus	814.33	kg/m <sup>3</sup>
20	Kebutuhan agregat kasar	766.89	kg/m <sup>3</sup>
21	Kebutuhan bahan yang didapat		
	Air	204.90	kg/m <sup>3</sup>
	Semen	426.88	kg/m <sup>3</sup>
	Pasir	814.33	kg/m <sup>3</sup>
	Kerikil	766.89	kg/m <sup>3</sup>
22	Volume kubus 15 cm x 15 cm	0.0034	m <sup>3</sup>
	Luas Penampang	225.00	cm
	Tinggi	15.00	cm
23	<i>Safety factor</i>	35.00	%

Tabel 4 11 Komposisi Perencanaan Pencampuran Beton

<b>Proporsi 1 campuran beton kubus 15 × 15 cm dengan pengurangan air 25%</b>		
<b>No</b>	<b>Komposisi</b>	<b>Jumlah</b>
1	Air	0.71 Kg
2	Semen	1.96 Kg
3	Pasir	3.74 Kg
4	Kerikil	3.52 Kg
5	Plastocrete 0.6%	11.76 ml
6	Sikament NN 2.3%	45.07 ml
Total		9.98 Kg

Dari hasil perencanaan pencampuran beton di atas diperoleh total berat 1 benda uji sebesar 9,98 Kg dengan pengurangan penggunaan air sebesar 25% dikarenakan dari penggunaan bahan tambahan (*admixture*) *Sikament NN* dengan dosis maksimal sebesar 2,3%.

Penurunan pemakaian air sebanyak 25% sangat berpengaruh pada sifat beton segar. Dengan berkurangnya air yang digunakan akan sedikit pula agregat kasar yang digunakan. Untuk mengisi kekosongan akibat agregat halus yang semakin sedikit maka pemakaian agregat halus mengalami kenaikan pada *mix design*. hal ini lah yang sering digunakan oleh *batching plan* untuk menghemat pemakaian agregat kasar yang cukup mahal. Penggunaan ini juga berdampak pada berkurangnya eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan.

Pada penelitian Siswoyo,dkk (2016) menunjukkan bahwa beton normal dengan mutu k-400 membutuhkan agregat kasar sebesar 1010 kg, 190 liter air, 680 kg agregat halus, dan 680 liter untuk setiap meter kubik beton, sedangkan pada penelitian ini dengan beton *admixture* dengan mutu k-400 membutuhkan 766,89 kg untuk agregat kasar, 153,68 liter air dan 814,33 kg agregat halus per meter kubik beton. Selisih yang terjadi diakibatkan adanya pengurangan air dari *Sikament-NN* sehingga terjadi penurunan penggunaan agregat kasar sebesar 24,07% dan semen sebesar 17,91%, akan tetapi terjadi kenaikan penggunaan agregat halus sebesar 16,49%.

#### 4.2.2. Pengujian Nilai Slump dan *Workability*

Pengujian nilai slump merupakan metode pengujian yang digunakan dalam menentukan keruntuhan dan kekakuan beton segar. Kekakuan beton biasanya

berpengaruh pada *workability* atau kemudahan dalam pekerjaan. Pengaruhnya biasanya berada pada banyaknya air yang dipakai dalam beton segar, semakin banyak air yang digunakan atau encer semakin mudah suatu pekerjaan. Pada beton mutu tinggi biasanya memakai air yang lebih sedikit atau nilai slump yang lebih kecil.

Pada penelitian ini memakai nilai slump sebesar 7 cm. Untuk mendapat nilai ini memakai air yang lebih sedikit dalam perhitungan *mix design*. dalam *mix design* memakai air sebanyak 940 ml tanpa tambahan *admixture* untuk benda uji 15 x 15 x 15 cm. Untuk penggunaan *admixture* memakai takaran sebanyak 2,3% dari semen yang dipakai, pemakaian *admixture* mempengaruhi pengurangan air sebanyak 25% sehingga benda air menjadi 710 ml, meskipun air yang dipakai mengurang tetapi *workability* akan tetap baik karena adanya *admixture* yang digunakan.

Dikarnakan keterbatasan kapasitas mixer peneliti membagi jumlah pengadukan, akan tetapi penulis berusaha semaksimal mungkin untuk menjaga konsistensi disetiap pengadukan. Pada penelitian ini berfokus pada perawatan waktu perendaman (*curing*) yang memakai air asam dengan ph  $1\pm 1$ . Nilai faktor air semen pada penelitian ini sebesar 0,48. Berikut adalah tabel data slump beton

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Nilai Slump

No	Umur Beton (Hari)	Faktor Air Semen (FAS)	Nilai Slump (cm)
1	3	0,48	7,4
2	7	0,48	7,2
3	14	0,48	7,0
4	28	0,48	7,2
5	60	0,48	7,1
6	90	0,48	7,3
Rata-rata			7,18

Menurut peraturan ACI 911 di tabel 2.30 menyatakan bahwa *slump* yang dipakai dalam pekerjaan *rigid pavement* 25 - 75 mm. Pengurangan air yang digunakan pada campuran ini mengakibatkan berkurangnya air dan agregat kasar yang digunakan, tetapi pemakaian agregat halus mengalami kenaikan sehingga beton segar memiliki tekstur dominan berpasir dan *workability* menurun disebabkan campuran agak kental.

#### 4.2.3. Pengujian Waktu Ikat Beton Segar (*Setting Time*)

Pengujian waktu ikat (*setting time*) merupakan pengujian untuk mengetahui waktu yang diperlukan beton dalam mengikat atau mengeras. Perhitungan waktu ini dimulai dari waktu pengadukan beton segar sampai beton tidak bisa lagi berubah bentuk.

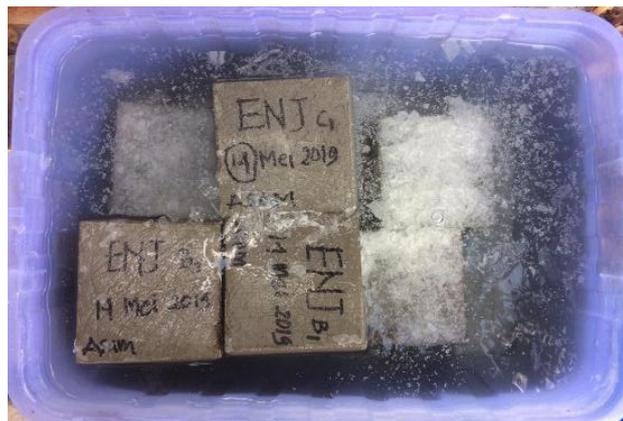
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Waktu Ikat (*Setting Time*)

No	Umur Beton	Waktu Ikat / <i>Setting Time</i> (Menit)			Rata-rata (Menit)
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
1	3	113	112	111	112
2	7	110	112	111	111
3	14	111	110	112	111
4	28	113	114	112	113
5	60	115	113	111	113
6	90	112	110	113	113

Admixture yang memiliki sifat *retarder* memiliki pengaruh pada *setting time* yaitu memperlambat waktu perkerasan atau pengikatan beton sesuai dengan penelitian (Nursandah et al., 2018) yang memakai dengan takaran 0%, 0,35% , 0,75% , 1,10%. Memiliki kenaikan waktu *setting time* karena memakai *admixture*.

#### 4.2.4. Perendaman Beton (*Curing*)

Perbedaan perawatan dari penelitian ini cuma satu yaitu perbedaan air perendaman beton. Perbedaan ini dilakukan untuk menentukan parameter yang dijadikan acuan yaitu beton *addictive* air normal dan untuk hasil dari penelitian ini yaitu beton *addictive* air asam. Perendaman air normal dilakukan dengan air normal dengan pH 7 dengan suhu normal dan perendaman air asam dilakukan dengan cairan asam dengan pH  $1 \pm 1$ .



Gambar 4.5 foto perendaman beton *addictive*

#### 4.2.5. Analisa Durabilitas Beton

##### 1. Pengujian Hambatan Beton

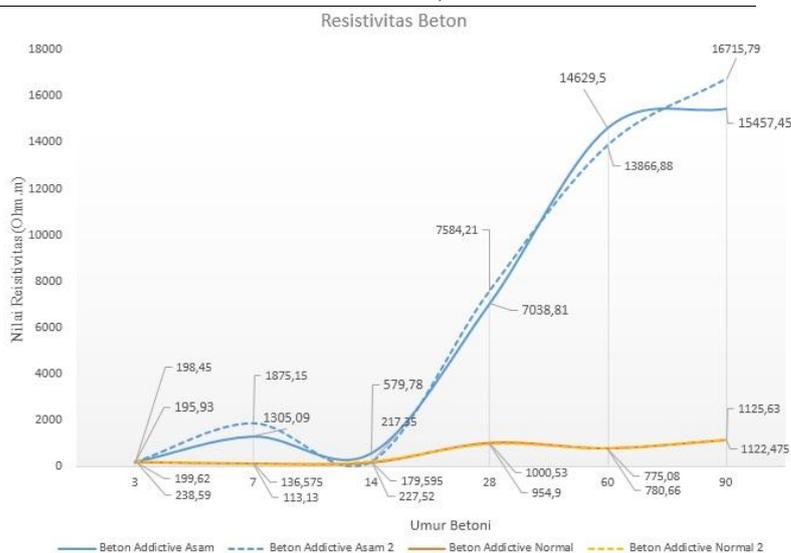
Pengujian ini bertujuan untuk mencari ketahanan beton dalam menerima arus dan tegangan. Setelah tahap pembuatan beton dan proses perendaman, beton akan diuji dengan alat *resistivitymeter*. Pengujian ini dilakukan pada beton dengan umur 3, 7, 14, 28,60, dan 90 hari dan kuat rencana sebesar K-400 (33,2 MPa). Sampel pengujian ini menggunakan pengambilan data secara duplo hal ini dikarenakan perbedana hasil yang terlamapu jauh. Cara ini digunakan untuk mendapatkan nilai yang lebih baik dan akurat. Penaamaan di dalam tabel diartikan dengan N adalah beton yang direndam dengan air normal dan A adalah beton yang direndam dengan air asam. Untuk angka setelah huruf N dan A ditujukan untuk hari dan angka terkahir ditujukan untuk nomor sampel. Berikut tabel hasil pengujian.

Tabel 4.14 Tabel Hasil Pengujian Beton Normal *addictive Resistivitymeter*

Umur Beton	Kode Sampel	Rho (Ohmm)	Rata-rata (Ohmm)
3	N3-1	160,65	199,62
	N3-2	238,59	
7	N7-1	160,02	136,575
	N7-2	113,13	
14	N14-1	131,67	179,595
	N14-2	227,52	
28	N28-1	1046,16	1000,53
	N28-2	954,9	
60	N60-1	769,5	775,08
	N60-2	780,66	
90	N90-1	1119,32	1122,475
	N90-2	1125,63	

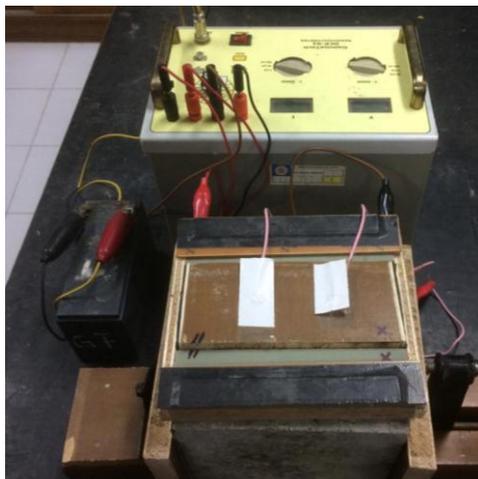
Tabel 4 .15 Tabel Hasil Pengujian Beton Asam *addictive Resistivitymeter*

Umur Beton	Kode Sampel	Rho (Ohmm)	Rata-rata (Ohmm)
3	A3-1	195,93	197,19
	A3-2	198,45	
7	A7-1	1305,09	1590,12
	A7-2	1875,15	
14	A14-1	579,78	398,565
	A14-2	217,35	
28	A28-1	7038,81	7311,51
	A28-2	7584,21	
60	A60-1	14629,5	14248,19
	A60-2	13866,88	
90	A90-1	15457,45	16086,62
	A90-2	16715,79	

Gambar 4 6. Grafik Hasil Pengujian Resistivitas Beton Normal *admixture* dan Asam *admixture*

Pada grafik di atas menunjukkan hasil pengujian resistivitas beton *addictive* air normal dan beton *addictive* yang terendam air asam selama 3,7,14,28,60 dan 90 hari. Pada gambar 4.5 bahwa hasil resistivitas menunjukkan grafik yang terus meningkat seiring lamanya waktu perendaman. Dari dua sampel uji beton *addictive* air normal dengan umur 3 hari memiliki hasil sebesar 199,62 Ohmm dan 198,45 Ohmm untuk beton *addictive* yang terendam air asam. Hal ini terus meningkat dan mengalami penurunan pada hari ke 14 dengan beton *addictive* air normal sebesar 227,52 Ohmm dan 219,35 Ohmm untuk beton *addictive* yang terendam air asam.

Grafik pada hari ke 28 dan seterusnya beton *addictive* yang terendam air asam mengalami kenaikan yang sangat signifikan dan berada jauh di atas beton *addictive*, pada umur 90 hari umur beton *addictive* memiliki hasil sebesar 1125,63 Ohmm dan 16715,79 Ohmm untuk beton *addictive* yang terendam air asam.



Gambar 4.7 Pengujian Resistivitas menggunakan alat *resistivimeter*

Dalam hasil pengujian ini membuktikan semakin lama perendaman beton maka angka resistivitas akan semakin besar. Dalam kasus ini peningkatan nilai  $\rho$  (Ohm) dimulai pada beton umur 7 hari. Seiring dengan lamanya perendaman berdampak pada pembesaran rongga pada beton sehingga terjadi kenaikan nilai resistivitas pada beton *addictive* yang terendam air asam.

Dari penelitian Siad,dkk (2016) yang menyatakan bahwa perubahan resistivitas dalam jumlah besar dapat dikaitkan dengan perubahan total mikrostruktur spesimen, yang mewakili campuran antara permukaan terdegradasi, dengan ketebalan yang berbeda dan lapisan interior suara dengan penyempurnaan ukuran pori yang berbeda.

Kasus ini bisa dilihat dari adanya pembesaran rongga yang terjadi pada beton *addictive* yang terendam air asam semakin besar jika dibandingkan dengan beton *addictive* air normal. Perubahan rongga menyebabkan adanya hambatan tambahan saat melakukan pengujian resistivitas. Pada penelitian Azarsa and Gupta (2017) menyatakan Adanya retak pada beton juga diidentifikasi sebagai parameter yang berpengaruh pada resistivitas listrik sejak pada awalnya dianggap bahwa beton itu

homogen, isotropik (keseragaman zat), dan tidak retak bisa mempengaruhi nilai resistivitas.

## 2. Pengujian Densitas Beton

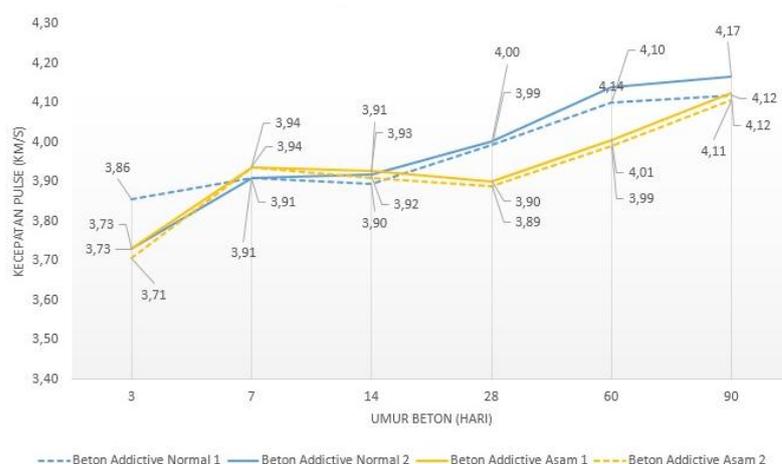
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kepadatan dalam beton yang diuji melalui kecepatan rambat dari gelombang ultrasonik, pengujian ini bisa juga dipakai untuk mengetahui mutu beton. Benda uji pengujian ini sama dengan pengujian hambatan beton, dikarenakan kedua pengujian ini adalah test *non destructive test* atau test yang tidak merusak beton. Berikut tabel hasil pengujian densitas beton. Sampel pengujian ini menggunakan pengambilan data secara duplo hal ini dikarenakan perbedaan hasil yang terlamapu jauh. Cara ini digunakan untuk mendapatkan nilai yang lebih baik dan akurat. . Penaamaan di dalam tabel diartikan dengan N adalah beton yang direndam dengan air normal dan A adalah beton yang direndam dengan air asam. Untuk angka setelah huruf N dan A ditunjukan untuk hari dan angka terkahir ditujukan untuk nomor sampel.

Tabel 4.16 Tabel Hasil Pengujian Densitas Beton Normal

Umur Beton	Panjang Linsatan (m)	Kode Sampel	Kecepatan Pulse (km/s)	Rata-rata (km/s)	Hasil
3	0,15	N3-1	3,86	3,75	Baik
		N3-2	3,73		
7	0,15	N7-1	3,91	3,91	Baik
		N7-2	3,91		
14	0,15	N14-1	3,90	3,96	Baik
		N14-2	3,92		
28	0,15	N28-1	3,99	4	Baik
		N28-2	4,00		
60	0,15	N60-1	4,10	4,07	Baik
		N60-2	4,14		
90	0,15	N90-1	4,12	4,13	Baik
		N90-2	4,17		

Tabel 4.17 Tabel Hasil Pengujian Densitas Beton Asam

Umur Beton	Panjang Linsatan (m)	Kode Sampel	Kecepatan Pulse (km/s)	Rata-rata (km/s)	Hasil
3	0,15	A3-1	3,73	3,71	Baik
		A3-2	3,71		
7	0,15	A7-1	3,94	3,92	Baik
		A7-2	3,94		
14	0,15	A14-1	3,93	3,95	Baik
		A14-2	3,91		
28	0,15	A28-1	3,90	3,92	Baik
		A28-2	3,89		
60	0,15	A60-1	4,01	4,05	Baik
		A60-2	3,99		
90	0,15	A90-1	4,12	4,1	Baik
		A90-2	4,11		



Gambar 4.8 Grafik Hasil Densitas Beton Normal Dan Asam

Pada grafik di atas menunjukkan hasil pengujian densitas beton *addictive* dengan beton yang terendam air asam selama 3,7,14,28,60, dan 90 hari.

Terlihat jelas dari grafik di atas bahwa hasil densitas menunjukkan grafik yang terus meningkat seiring lamanya perendaman. Dari dua sampel beton dengan *addictive* pada usia 3 hari menunjukkan nilai sebesar 3,73 km/s untuk beton asam *admixture* dan 3,86 km/s untuk beton normal *admixture* dan terus meningkat hingga mencapai 4,12 km/s untuk beton asam *admixture* dan 4,17 km/s untuk beton normal *admixture*. Menariknya hasil pengujian pada beton *admixture* yang direndam pada air asam menunjukkan peningkatan yang sama seiring lamanya perendaman, namun jika dibandingkan dengan beton tanpa perendaman asam posisi grafiknya berada

tepat di bawah angka yang dihasilkan kecuali pada usia beton 7 hari. Penurunan nilai densitas bisa terjadi dikarenakan adanya sifat asam yang korosif sehingga mengakibatkan tingginya nilai porositas.



Gambar 4.9 Pengujian Densitas Menggunakan *Ultrasonic Pulse velocity Test (UPVT)*

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh García-Vera,dkk (2018) yang memiliki penurunan nilai densitas dikarenakan adanya kerusakan pada bagian dalam beton dan peningkatan pori – pori pada beton. Pada penelitian Ramezaniandpour,dkk (2018) menyatakan penambahan dengan batu gamping dan logam fero (Dash and Patro, 2018) akan mempengaruhi ketahanan terhadap sifat korosif air asam, sehingga korelasi antara kuat tekan dan densitas akan semakin baik. Pada penelitian Nematzadeh and Fallah-Valukolae (2017) menyatakan pemakaian pemakaian *admixture* bisa menaikkan kualitas nilai densitas sebesar 10% jika dibandingkan dengan pemakaian beton normal

### 3. Pengujian kuat tekan beton

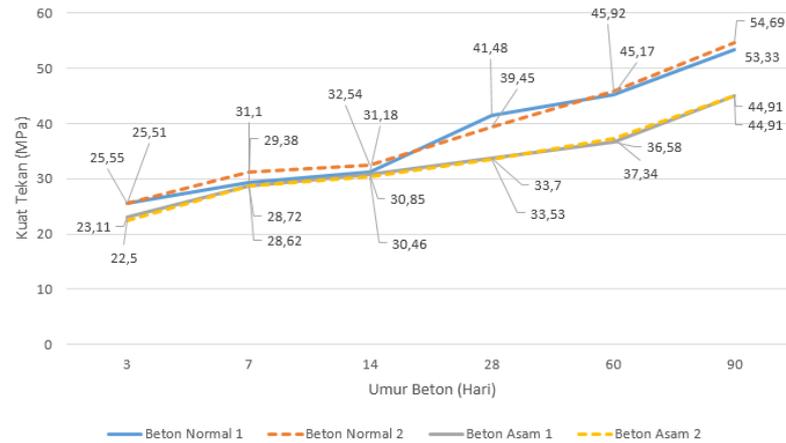
Pengujian beton konvensional biasanya dilakukan dengan penekanan beton secara vertikal sampai beton mengalami penurunan mutu sebesar 5%. Sampel pengujian ini menggunakan pengambilan data secara duplo hal ini dikarenakan perbedaan hasil yang terlampau jauh. Cara ini digunakan untuk mendapatkan nilai yang lebih baik dan akurat. Umur beton 3, 7, 14, 21, 28, dan 60 hari. Penamaan di dalam tabel diartikan dengan N adalah beton yang direndam dengan air normal dan A adalah beton yang direndam dengan air asam. Untuk angka setelah huruf N dan A ditujukan untuk hari dan angka terakhir ditujukan untuk nomor sampel . Berikut adalah hasil dari pengujian tekan beton..

Tabel 4.18 Tabel Hasil Pengujian Tekan Beton Normal

Umur Beton	Kode Sampel	Berat (Kg)			Peak Force (Kg)	Area (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)
		Sebelum Direndam	Setelah Direndam	Selisih			
3	N3-1	8285	8315	30	58590	225	25,55
	N3-2	8220	8255	35	58490	225	25,51
7	N7-1	8273	8365	92	67380	225	29,38
	N7-2	8320	8375	55	71320	225	31,1
14	N14-1	8380	8460	80	71510	225	31,18
	N14-2	8385	8455	70	74630	225	32,54
28	N28-1	8175	8275	100	95130	225	41,48
	N28-2	8150	8240	90	90460	225	39,45
60	N60-1	8310	8410	100	103590	225	45,17
	N60-2	8250	8370	120	105310	225	45,92
90	N90-1	8210	8320	110	122315	225	53,33
	N90-2	8150	8280	130	125425	225	54,69

Tabel 4 19 Tabel Hasil Pengujian Tekan Beton Asam

Umur Beton	Kode Sampel	Berat (Kg)			Peak Force (Kg)	Area (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (MPa)
		Sebelum Direndam	Setelah Direndam	Selisih			
3	A3-1	8290	8041	249	52990	225	23,11
	A3-2	8250	8003	248	51600	225	22,5
7	A7-1	8290	7876	415	65850	225	28,72
	A7-3	8320	7904	416	65630	225	28,62
14	A14-1	8380	7710	670	70740	225	30,85
	A14-2	8430	7671	759	69840	225	30,46
28	A28-2	8350	7515	835	77280	225	33,7
	A28-3	8366	837	7529	76900	225	33,53
60	A60-2	8377	7204	1173	83880	225	36,58
	A60-3	8396	7221	1175	85640	225	37,34
90	A90-1	8250	7343	908	102991	225	44,91
	A90-3	8233	7327	906	102991	225	44,91



Gambar 4 10 Grafik Kuat Tekan Statis Beton Normal *admixture* dan Asam *admixture*

Pada grafik di atas menunjukkan hasil pengujian kuat tekan statis yang dilakukan pada umur beton 3,7,14,28,60, dan 90 hari. Terlihat bahwa nilai beton *admixture* dengan umur 3 hari K-260 (25,55 MPa) dan beton asam *admixture* sebesar K-229 (22,5 MPa) hingga mencapai K-557 (54,69 MPa) untuk beton normal *admixture* dan K-457 (44,91 MPa) untuk beton asam *admixture* pada umur 90 hari. Hasil yang ditampilkan pada grafik di atas menunjukkan bahwa nilai beton *admixture* yang direndam pada air asam memiliki nilai tren dibawah nilai beton *admixture* yang direndam dengan air normal dengan angka maksimal pada masing – masing sampel sebesar K-557 (54,69 MPa) dan K-457 (44,91 MPa). Dapat diartikan bahwa penurunan mutu beton yang diakibatkan oleh air asam sebesar  $\pm 16\%$ .



Gambar 4.11 Foto alat uji tekan statis

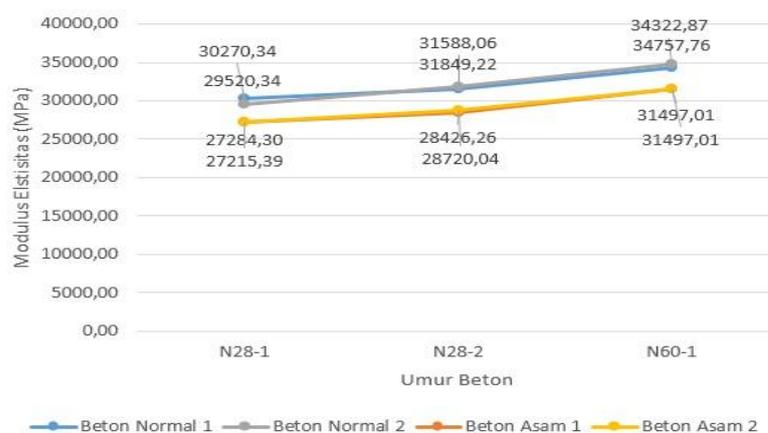
Penurunan mutu ini juga terdapat pada penelitian (García-Vera,dkk (2018) yang menyatakan penurunan mencapai 35%. Pada kasus penelitian Kim ,dkk (2014) dan Ghorbani,dkk (2018) menyatakan bahwa penurunan mutu beton pada air asam berasal dari kehilangan massa.

#### 4. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas bisa dihitung dari persamaan rumus 2.12 yang mengambil dari acuan (LPMB, 1991) yaitu

Tabel 4 20 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas

No	Umur Beton		Kuat Tekan (MPa)		Modulus Elastisitas	
	Normal	Asam	Normal	Asam	Normal	Asam
1	N28-1	A28-1	41,48	33,7	30270,34	27284,30
2	N28-2	A28-2	39,45	33,53	29520,34	27215,39
3	N60-1	A60-1	45,17	36,58	31588,06	28426,26
4	N60-2	A60-2	45,92	37,34	31849,22	28720,04
5	N90-1	A90-1	53,33	44,91	34322,87	31497,01
6	N90-2	A90-2	54,69	44,91	34757,76	31497,01



Gambar 4.12 Grafik Modulus Elastisitas

Berdasarkan penelitian ini didapatkan nilai modulus elastisitas beton normal berada pada nilai 29524,08 - 34281,02 MPa dan 27215,39 - 30841,46 MPa untuk beton asam. Nilai modulus elastisitas biasanya berbanding lurus dengan nilai kuat tekan sehingga nilai modulus elastisitas beton *addictive* asam lebih rendah dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas beton *addictive* tanpa perendaman. Penurunan nilai modulus elastisitas sesuai dengan penelitian dari Zhou,dkk (2018) dan Hasan,dkk (2016) yang menyatakan penurunan nilai modulus elastisitas berkorelasi sangat erat dengan waktu korosi, nilai pH, dan keretakan mikro.