

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

##### 4.1.1. Pengujian Berat Jenis

Berdasarkan ASTM C127-01, nilai berat jenis agregat kasar adalah antara 2,5 - 2,7. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar (kerikil) diperoleh hasil berat jenis curah kering rata-rata sebesar 2,48, berat jenis semu rata-rata sebesar 2,57 dan berat jenis curah jenuh kering (SSD) rata-rata sebesar 2,51. Maka, berat jenis agregat memenuhi syarat yang ditentukan. Hasil dari pengujian ini disajikan dalam Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis 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)

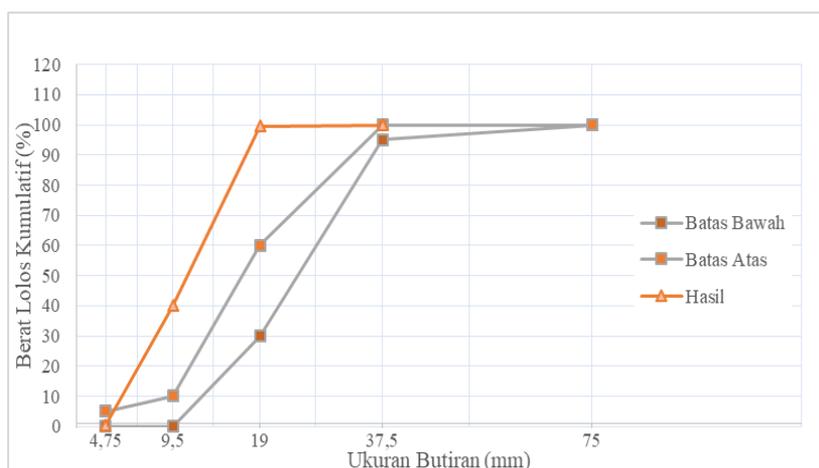
##### 4.1.2. Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan untuk mengetahui gradasi butiran pada agregat. Pengayakan kerikil dengan susunan saringan dibantu dengan *Electric Sieve Shaker Machine*. Pada pengujian ini berdasarkan ASTM C33-03, hasil analisis saringan

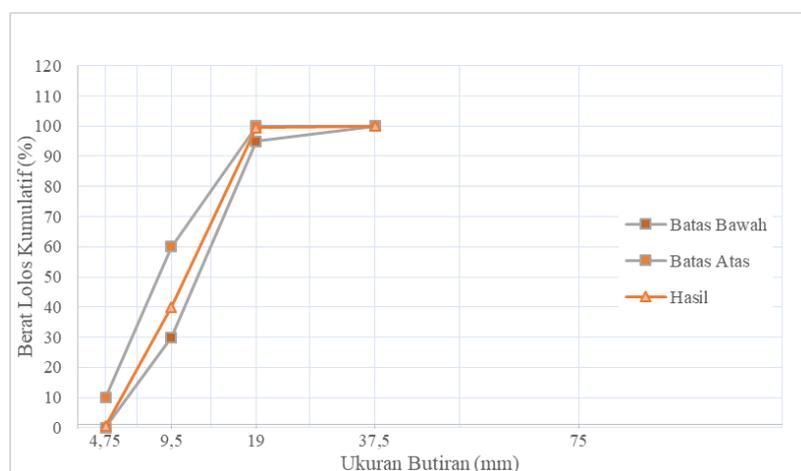
agregat kasar yang diperoleh disajikan pada Tabel 4.2 dan distribusi gradasi butiran pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.3. Dapat disimpulkan bahwa agregat kasar berada pada zona ukuran maksimal 20 mm, sehingga agregat kasar termasuk dalam klasifikasi agregat berukuran 11 mm – 20 mm (sedang).

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

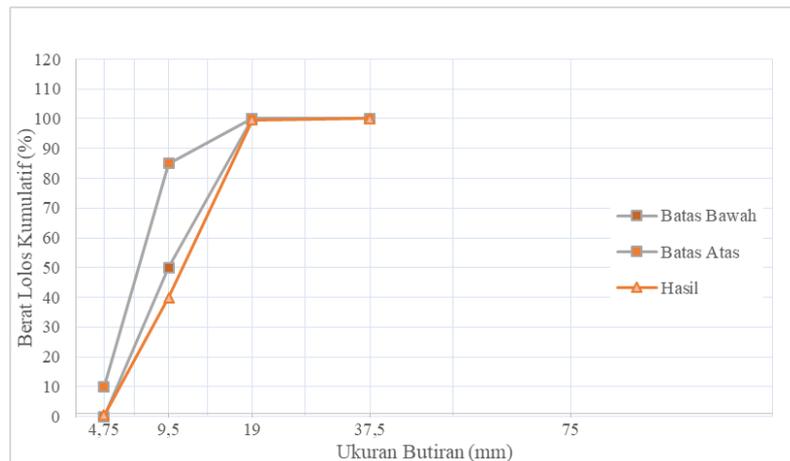
Lubang (mm)	Maksimum 40 mm		Maksimum 20 mm		Maksimum 10 mm		Hasil
	Bts. Bawah	Bts. Atas	Bts. Bawah	Bts. Atas	Bts. Bawah	Bts. Atas	
75	100	100					
37,5	95	100	100	100			100
19	30	60	95	100	100	100	99.50
9,5	0	10	30	60	50	85	40.00
4,75	0	5	0	10	0	10	0.50



Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Butiran Agregat Kasar Ukuran Maksimum 40 mm



Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Butiran Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm



Gambar 4. 3 Grafik Gradasi Butiran Agregat Kasar Ukuran Maksimum 10 mm

#### 4.1.3. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur ini untuk mengetahui nilai presentase kandungan lumpur yang terdapat dalam agregat. Kandungan lumpur maksimal yang diperbolehkan berdasarkan C142-97 adalah 1% dalam agregat kasar. Pada Tabel 4.3 disajikan tabel hasil analisis kadar lumpur dalam agregat kasar. Pengujian ini menggunakan 2 sampel dengan hasil yang diperoleh adalah kandungan lumpur pada agregat kasar sampel 1 sebesar 1,3% dan sampel 2 sebesar 0,3% dengan rata-rata 0,8% sehingga kadar lumpur dalam agregat kasar memenuhi syarat yang ditentukan.

Tabel 4. 3 Hasil Analisis 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 (%) (max: 1%)	1,3	0,3	0,8

#### 4.1.4. Pengujian Keausan

Pengujian keausan 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*. Pada Tabel 4.4 disajikan hasil analisis pengujian keausan pada agregat kasar. Berdasarkan ASTM C535-03 nilai keausan

agregat yang diperbolehkan dalam kontruksi yaitu  $< 50\%$ . Hasil analisis yang diperoleh dari pengujian keausan rata-rata adalah sebesar 29,81% sehingga agregat kasar memenuhi syarat yang ditentukan.

Tabel 4. 4 Hasil Analisis 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 sarigan 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 (%) $((W1-W2)/W1)*100\%$	28,96	30,66	29,81

## 4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

### 4.2.1. Pengujian Berat Jenis

Berdasarkan ASTM C128-01, nilai berat jenis agregat halus adalah antara 2,3 - 2,6. Pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 disajikan hasil analisis berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dan disimpulkan bahwa 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 sebesar 2,34 sehingga berat jenis agregat halus memenuhi syarat yang ditentukan.

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Pengujian Berat Jenis 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

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Pengujian Berat Jenis (Lanjutan)

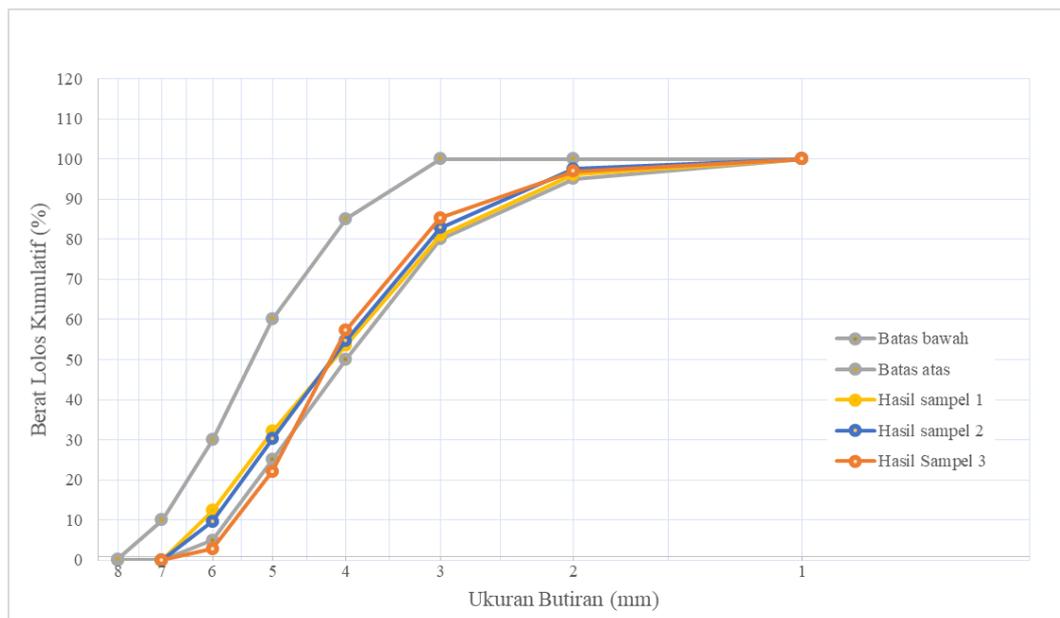
6	Berat jenis semu	2,82	2,70	2,76	$L / (D+L-C)$
7	Berat jenis curah kering	2,18	2,02	2,1	$L / (D+B-C)$
8	Berat jenis curah jenuh kering	2,41	2,27	2,34	$B / (D+B-C)$

#### 4.2.2. Pengujian Gradasi Butiran

Pengujian analisis saringan untuk mengetahui gradasi butiran pada agregat. Pengayakan agregat halus (pasir) dengan susunan saringan dibantu dengan *Electric Sieve Shaker Machine*. Pengujian ini mengacu pada ASTM C33-03 dan menggunakan 3 sampel pengujian. Hasil analisis saringan agregat halus yang diperoleh disajikan pada Tabel 4.7 dan grafik gradasi butiran pada Gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa agregat halus telah memenuhi persyaratan gradasi agregat halus. Modulus Halus Butiran (MHB) untuk mengukur kehalusan agregat halus mengacu pada ASTM C136-01 diperoleh hasil sampel 1 sebesar 2,25%, hasil sampel 2 sebesar 2,25% dan hasil sampel 3 sebesar 2,36%. Sehingga MHB agregat halus memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Gradasi Butiran

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. 4 Grafik Distribusi Butiran Agregat Halus

#### 4.2.3. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui kandungan air dalam agregat halus atau perbandingan antara berat basah agregat dengan berat kering agregat setelah kering dalam oven. Berdasarkan ASTM C566-04 syarat kadar air agregat halus yang diperbolehkan adalah sebesar 3% - 5%. Pada Tabel 4.8 disajikan hasil pengujian kadar air yaitu diperoleh nilai kadar air sebesar 3,31% sehingga agregat halus memenuhi syarat yang ditentukan.

Tabel 4. 8 Hasil Analisis 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 (%) (max: 5%)	3,09	3,52	3,31

#### 4.2.4. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur ini untuk mengetahui nilai presentase kandungan lumpur yang terdapat dalam agregat. Kandungan lumpur maksimal yang diperbolehkan berdasarkan ASTM C117-03 adalah 5% dalam agregat halus. Pada Tabel 4.9 disajikan tabel hasil analisis kadar lumpur dalam agregat halus. Pengujian ini menggunakan 2 sampel dengan hasil yang diperoleh adalah kandungan lumpur pada agregat halus sebesar 2,4% dengan rata-rata 2,88% sehingga kadar lumpur dalam agregat halus memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Tabel 4. 9 Hasil Analisis 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 (%) (max: 5%)	2,4	3,35	2,88

#### 4.3. Perencanaan Pencampuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan pencampuran beton bertujuan untuk menentukan jumlah komposisi material penyusun beton. Proporsi yang direncanakan antara lain jumlah agregat halus, agregat kasar, semen dan air serta dosis untuk bahan tambah (*admixtures*) yang digunakan. Perhitungan perencanaan pencampuran (*mix design*) disajikan pada Tabel 4.10 hingga 4.12 berikut.

Tabel 4. 10 Perhitungan Perencanaan Pencampuran Beton

No	Uraian		
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	MPa
5	Jenis semen (biasa)	Type I	
6	Jenis agregat kasar(batu pecah)	Kerikil Clereng	
	Jenis agregat halus (alami)	Pasir Progo	
7	Faktor air semen	0.48	
8	Faktor air semen maksimum	0.6	
	dipakai faktor air semen yang rendah	0.48	
9	Nilai slump	7.5	cm
10	Ukuran maksimum agregat kasar	20	mm

Tabel 4. 11 Perhitungan Perencanaan Pencampuran Beton (Lanjutan)

11	Kebutuhan air	204.90	liter
	Batu pecah (Ah)	195	
	Batu tidak pecah (Ak)	225	
12	Kebutuhan semen portland	426.88	kg
13	Kebutuhan semen portland minimum	325	kg
14	dipakai kebutuhan semen portland	426.88	kg
16	Daerah gradasi agregat halus		
17	Persen berat ag. halus thp campuran	51.5	%
	Persen berat ag. kasar thp campuran	48.5	%
18	Berat jenis agregat campuran	2.41	kg/m <sup>3</sup>
	Berat jenis ag. Halus	2.31	
	Berat jenis ag. Kasar	2.51	
19	Berat jenis beton	2213	kg/m <sup>3</sup>
20	Kebutuhan agregat halus dan kasar	1581.23	kg/m <sup>3</sup>
21	Kebutuhan agregat halus	814.33	kg/m <sup>3</sup>
22	Kebutuhan agregat kasar	766.89	kg/m <sup>3</sup>
23	Kebutuhan bahan yang didapat		
24	Air	204.90	kg/m <sup>3</sup>
25	Semen	426.88	kg/m <sup>3</sup>
26	Pasir	814.33	kg/m <sup>3</sup>
27	Kerikil	766.89	kg/m <sup>3</sup>
28	Volume kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm	0.0034	m <sup>3</sup>
29	Luas persegi	225.00	cm
30	Tinggi	15.00	cm
31	<i>Safety factor</i>	35.00	%

Tabel 4. 12 Komposisi Perencanaan Pencampuran Beton

Proporsi 1m <sup>3</sup> campuran beton kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan pengurangan air 25%		
1	Air	153.68 Kg
2	Semen	426.88 Kg
3	Pasir	814.33 Kg
4	Kerikil	766.89 Kg
5	Plastocrete 0.6%	2561.25 ml
6	Sikament NN 2.3%	9818.13 ml
Jumlah		2174.15 Kg

Penggunaan bahan tambah (*admixture*) dengan dosis dari berat semen mempengaruhi proporsi campuran beton seperti pada pengurangan penggunaan air sebesar 25% dan penggunaan agregat yang lebih sedikit dibanding proporsi beton tanpa bahan tambah. Pada Gambar 4.5 ditampilkan proporsi 1 m<sup>3</sup> campuran beton K-400 tanpa bahan tambah dalam penelitian Siswoyo dkk., (2016). Terlihat jelas

bahwa penggunaan bahan tambah mengurangi proporsi 1 m<sup>3</sup> campuran beton khususnya agregat kasar (kerikil) pada beton dengan *admixtures* mengalami penurunan sebesar 243,11 kg atau sebesar 24,07%, namun pada penggunaan pasir bertambah sebesar 134,33 kg atau sebesar 16,50% sehingga tekstur beton segar baru pada penelitian ini lebih berpasir dan pengurangan semen sebesar 93,12 kg atau sebesar 17,91%.

K400	AIR (LTR)	SEMEN (KG)	PASIR (KG)	BATU PECAH (KG)
1 M3	190.00	520.00	680.00	1,010.00
2 M3	380.00	1,040.00	1,360.00	2,020.00
3 M3	570.00	1,560.00	2,040.00	3,030.00

Gambar 4. 5 Komposisi Campuran Material Beton (Siswoyo dkk., 2016)

#### 4.4. Hasil Pengujian Slump

Pengujian slump bertujuan untuk mengetahui kelecakan beton dalam proses pengerjaan beton segar dengan kekentalan adukan beton yang memudahkan pekerjaan (*workability*). Pada pengujian ini karena keterbatasan volume molen, pengadukan dilakukan sebanyak 6 kali. Satu adukan beton segar digunakan untuk 3 buah sampel benda uji beton perendaman air basa dan 3 buah sampel benda uji beton perendaman air normal pada setiap umur betonnya. Pada Tabel 4.13 disajikan hasil pengujian slump dengan perolehan rata-rata nilai slump sebesar 7,2 cm, sehingga dapat disimpulkan slump beton telah memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam ACI 318-95.

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Slump Beton

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			7,2

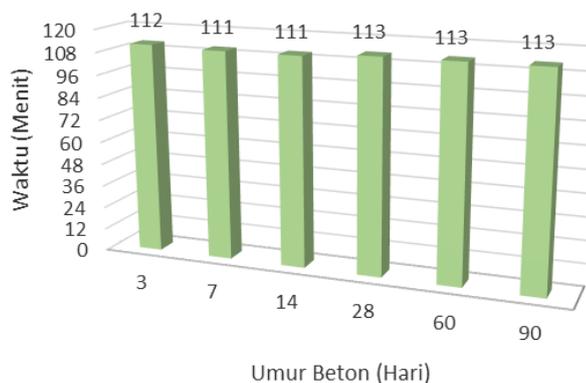
#### 4.5. Hasil Pengujian Waktu Ikat

Pengujian waktu ikat (*setting time*) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk pengikatan semen terhadap

agregat. Pada pengujian ini, dalam satu adukan beton segar digunakan untuk 3 buah sampel benda uji beton perendaman air basa dan 3 buah sampel benda uji beton perendaman air normal pada setiap umur betonnya. Berikut disajikan hasil pengujian waktu ikat beton pada Tabel 4.14 di bawah ini.

Tabel 4. 14 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



Gambar 4. 6 Grafik Rata-Rata Waktu Ikat (*Setting Time*) Beton

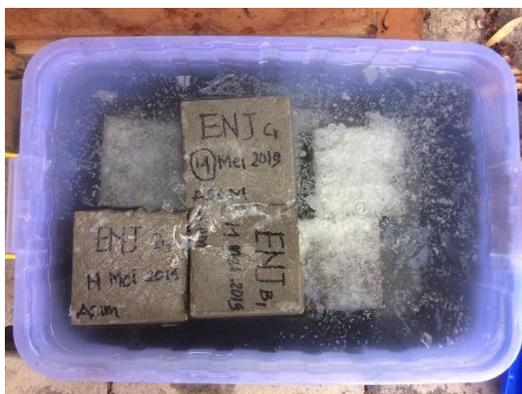
Pada Gambar 4.6 di atas disajikan grafik hasil pengujian waktu ikat beton. Waktu ikat beton dengan bahan tambah berupa *Plastocrete RT 06* dengan kadar 0,6% dan *Sikament NN* dengan kadar 0,23% menghasilkan rata-rata waktu ikat pada beton berkisar 111 menit hingga 113 menit. Pada umur 7 hari dengan rata – rata waktu ikat sebesar 111 menit dan pada umur 28 hari rata-rata waktu ikat sebesar 113 menit. Sehingga rata-rata waktu ikat umur 7 hari dan 28 hari sebesar 112 menit.

Pada penelitian terdahulu Setiawan (2017), pada beton dengan bahan tambah yang sama dengan kadar 1% yaitu sebesar 81 menit pada beton umur 7 hari dan sebesar 80 menit pada beton umur 28 hari. Sehingga rata-rata nilai waktu ikat beton umur 7 hari dan 28 hari sebesar 80,5 menit. Perbandingan waktu ikat beton pada penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang bahwa dengan bahan tambah yang sama tetapi dengan kadar yang berbeda, rata-rata waktu ikat beton mengalami

kenaikan sebesar 31,5 menit. Maka, dapat disimpulkan penggunaan bahan tambah berupa *Plastocrete RT 06* dan *Sikament NN* dapat memperlama waktu ikat.

#### 4.6. Perawatan (*Curing*)

Perawatan beton pada penelitian ini dengan menggunakan metode perendaman. Pada penelitian ini digunakan perendaman dengan air normal dan perendaman dengan air basa sebagai perbandingan. Air normal yang digunakan adalah air biasa dengan pH normal ( $\pm 7$ ) sedangkan air basa yang digunakan adalah larutan NaOH dengan pH  $\pm 8,5$  dengan pengecekan berkala yang dijaga kestabilannya di angka pH tersebut. Pada Gambar 4.7 disajikan perendaman beton untuk perawatan (*curing*).



Gambar 4. 7 Perawatan (*curing*) Beton

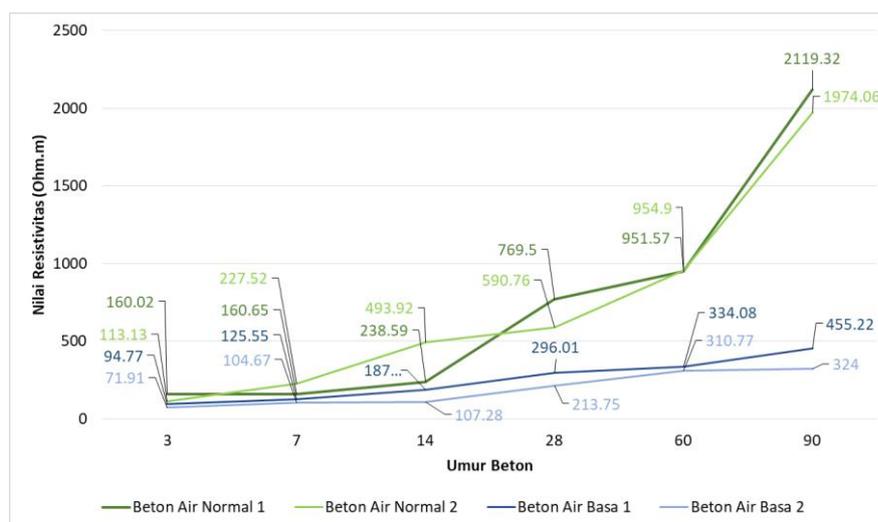
#### 4.7. Hasil Pengujian Beban Dinamis

##### 4.7.1. Pengujian Resistivitas Beton

Pengujian resistivitas beton pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan beton dengan menentukan tingkat risiko korosi pada beton terhadap arus listrik. Nilai resistivitas yang diperoleh dari perhitungan dengan persamaan 2.12 dan 2.13 dan didapat dari 3 sampel benda uji menghasilkan rentang yang jauh sehingga rata-rata nilai resistivitas diambil secara duplo dari sampel yang memiliki rentang terdekat supaya didapat data yang baik dan akurat. Hasil analisis pengujian resistivitas beton dari hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.15 berikut dengan kode sampel N merupakan beton air normal dan kode sampel B merupakan beton air basa yang diikuti angka yang berarti umur beton dan diakhiri angka yang berarti nomor sampel.

Tabel 4. 15 Hasil Analisis Pengujian Resistivitas Beton

Umur Beton	Kode Sampel	Rho (Ohm.m)	Rata-rata (Ohm.m)	Kode Sampel	Rho (Ohm.m)	Rata-rata (Ohm.m)
3	N3-1	160.02	136.575	B3-1	94.77	83.34
	N3-2	113.13		B3-2	71.91	
7	N7-1	160.65	194.085	B7-1	125.55	115.11
	N7-2	227.52		B7-2	104.67	
14	N14-1	238.59	366.255	B14-1	187.2	147.24
	N14-2	493.92		B14-2	107.28	
28	N28-1	769.5	680.13	B28-1	296.01	254.88
	N28-2	590.76		B28-2	213.75	
60	N60-1	951.57	953.235	B60-1	334.08	322.425
	N60-2	954.9		B60-2	310.77	
90	N90-1	2119.32	2046.69	B90-1	455.22	389.61
	N90-2	1974.06		B90-2	324	



Gambar 4. 8 Grafik Nilai Resistivitas Beton

Gambar 4.8 di atas menunjukkan grafik hasil nilai resistivitas (Ohm.m) terhadap umur beton 3, 7, 14, 28, 60 dan 90 hari. Terlihat jelas bahwa hasil nilai resistivitas sampel beton perendaman air normal mengalami kenaikan yang signifikan seiring bertambahnya umur beton sedangkan nilai resistivitas beton perendaman air basa lebih rendah dibandingkan dengan beton perendaman air normal. Nilai resistivitas yang mengalami kenaikan secara signifikan terjadi sejak umur 7 dibandingkan dengan sampel lainnya. Nilai resistivitas pada seluruh sampel beton umur 28 hari mengalami kenaikan khususnya pada beton air normal 1 dengan

nilai resistivitas yang diperoleh yaitu sebesar 769,5  $\Omega$ .m. Kenaikan nilai resistivitas yang signifikan juga terdapat pada beton umur 90 hari khususnya pada sampel beton air normal 1 dan beton air normal 2 sebagai nilai resistivitas tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 2119,32  $\Omega$ .m dan 1974,06  $\Omega$ .m. Sedangkan pada beton air basa juga terdapat kenaikan nilai resistivitas tetapi tidak terlalu tinggi dan nilai resistivitas tertinggi pada beton air basa terdapat pada umur beton 90 hari yaitu sebesar 455,22  $\Omega$ .m untuk sampel beton air basa 1 dan sebesar 324  $\Omega$ .m untuk sampel beton air basa 2. Nilai resistivitas pada beton perendaman air normal menunjukkan hasil yang jauh lebih besar dibandingkan beton yang direndam dengan air basa yang selisihnya hingga 1657,08 Ohm.m atau sekitar 80,96%.

Beton air basa memiliki nilai resistivitas lebih rendah dibandingkan beton air normal karena NaOH merupakan salah satu golongan basa kuat yang termasuk pada larutan elektrolit kuat. Menurut Robinson dan Stokes (2002) (dalam Yemima dkk., 2018), menurut elektrolit hidroksida seperti NaOH sangat larut dalam air dan anion  $\text{OH}^-$  yang memiliki konduktivitas yang sangat baik sebagai elektrolit superkapasitor. Sama halnya seperti dalam penelitian Qu dkk. (2008) bahwa  $\text{Na}^+$  sebagai pendukung elektrolit dan bahan elektroda dalam aplikasi kapasitor, dimana daya besar dan besar kepadatan energi dibutuhkan. Maka, dapat disimpulkan bahwa kandungan elektrolit yang tertinggal dalam beton basa setelah proses perendaman (*curing*) dalam NaOH menyebabkan beton basa sangat mudah menghantarkan arus listrik melalui alat *resistivity meter* dalam pengujian ketahanan jenis (resistivitas beton). Sehingga sampel beton air basa lebih mudah menghantarkan listrik.

#### **4.7.2. Pengujian Densitas (Metode UPVT)**

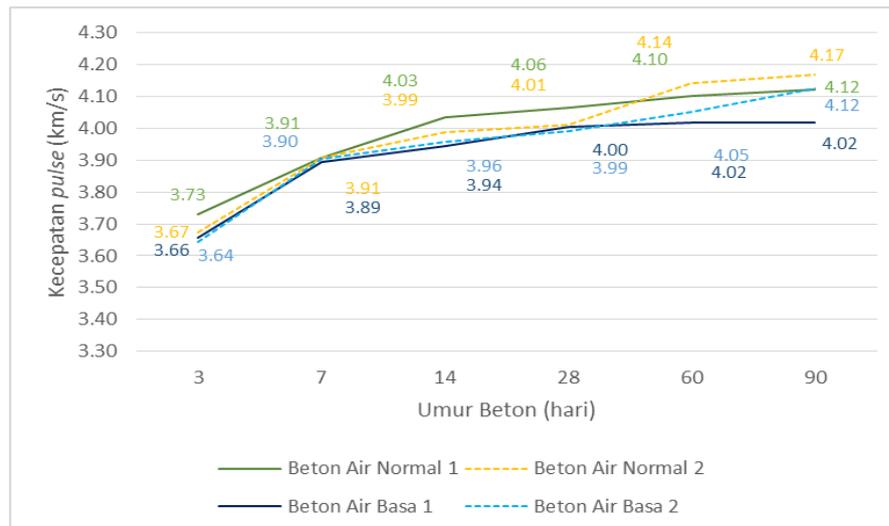
Pengujian densitas beton merupakan pengujian kepadatan beton dengan metode *nondestruktif* atau bersifat tidak merusak menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPVT)*. Pada pengujian ini diperoleh mutu beton dan keseragaman beton atau nilai kepadatan beton yang diperoleh dari perhitungan dengan persamaan 2.14. Hasil analisis pengujian densitas beton dari hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.16 hingga Tabel 4.18 berikut dengan kode sampel N merupakan beton air normal dan kode sampel B merupakan beton air basa yang diikuti angka yang berarti umur beton dan diakhiri angka yang berarti nomor sampel.

Tabel 4. 16 Hasil Analisis Pengujian Densitas Beton Normal

Umur Beton	Panjang Lintasan (m)	Kode Sampel	Kecepatan <i>Pulse</i> (km/s)	Rata-rata (km/s)	Hasil
3	0,15	N3-1	3,73	3,7	Baik
		N3-2	3,67		
7	0,15	N7-1	3,91	3,91	Baik
		N7-2	3,90		
14	0,15	N14-1	4,03	4,01	Baik
		N14-2	3,99		
28	0,15	N28-1	4,01	4,03	Baik
		N28-2	4,06		
60	0,15	N60-1	4,10	4,12	Baik
		N60-2	4,14		
90	0,15	N90-1	4,12	4,15	Baik
		N90-2	4,17		

Tabel 4. 17 Hasil Analisis Pengujian Densitas Beton Basa

Umur Beton	Panjang Lintasan (m)	Kode Sampel	Kecepatan <i>Pulse</i> (km/s)	Rata-rata (km/s)	Hasil
3	0,15	B3-1	3,66	3,65	Baik
		B3-1	3,64		
7	0,15	B7-1	3,90	3,9	Baik
		B7-2	3,89		
14	0,15	B14-1	3,96	3,95	Baik
		B14-2	3,94		
28	0,15	B28-1	4,00	4	Baik
		B28-2	3,99		
60	0,15	B60-1	4,02	4,04	Baik
		B60-2	4,05		
90	0,15	B90-1	4,02	4,07	Baik
		B90-2	4,12		



Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengujian Densitas Beton

Gambar 4.9 di atas menunjukkan grafik hasil pengujian kepadatan beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa selama 3, 7, 14, 28, 60 dan 90 hari terhadap nilai kepadatan (kecepatan *pulse*) dengan pengambilan nilai rata-rata secara duplo pada setiap umur beton. Hasil yang diperoleh bahwa nilai kepadatan beton menunjukkan peningkatan seiring waktu lamanya perendaman beton. Pada umur 7 hari seluruh sampel beton mengalami kenaikan dengan rentang yang sedikit namun beton perendaman air basa masih berada dibawah beton perendaman air normal. Pada umur 14 dan 28 hari seluruh sampel mengalami kenaikan khususnya pada Beton Air Normal 1 dengan kenaikan yang signifikan dibanding sampel lainnya yaitu sebesar 0,12 km/s dan 0,15 km/s. Nilai kepadatan beton tertinggi terdapat pada beton umur 90 hari dengan nilai sebesar 4,17 km/s untuk beton perendaman air normal dengan kualifikasi beton baik dan 4,12 km/s untuk beton perendaman air basa dengan kualifikasi beton baik dengan penurunan nilai kepadatan beton sebesar 0,03 km/s atau sebesar 0,72%.

Hasil dari pengujian ini dapat diklasifikasikan kualitas beton seperti dalam penelitian Leslie dan Cheeseman, 1949 (dalam Lee, 2019) pada Tabel 2.8 bahwa rata-rata nilai kecepatan *pulse* pada penelitian ini termasuk pada  $3600 \text{ m/s} < V < 4500 \text{ m/s}$  yaitu baik. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian densitas pada penelitian ini adalah beton bahan tambah (*admixtures*) memiliki tingkat kualitas beton yang baik pada umur beton yang semakin tinggi.

### 4.7.3. Pengujian Kuat Tekan Dinamis Beton

Pengujian kuat tekan dinamis beton bertujuan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dengan metode *nondestruktif* atau bersifat tidak merusak benda uji dengan menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*.

#### 4.7.3.1. Kuat Tekan Dinamis Rencana (28 hari)

Nilai kuat tekan dinamis beton dapat diperkirakan dari hasil pengujian *UPVT* dengan perhitungan menggunakan persamaan regresi pada penelitian terdahulu milik Mahure dkk. (dalam Anggraeni dkk., 2013) dengan menggunakan persamaan 2.14. Pada penelitian sekarang ini direncanakan beton *admixtures* K-400 ( $f_c'$  33,2 MPa) sehingga digunakan persamaan regresi dari formula Mahure dkk., yang terdekat yaitu M35 dengan umur rencana 28 hari. Hasil analisis pengujian perkiraan kuat tekan rencana dinamis beton dari hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19 berikut dengan kode sampel N merupakan beton air normal dan kode sampel B merupakan beton air basa yang diikuti angka yang berarti umur beton dan diakhiri angka yang berarti nomor sampel.

Tabel 4. 18 Hasil Analisis Perkiraan Kuat Tekan Dinamis Rencana Beton Air Normal

Umur Beton (hari)	Sampel Beton	Kecepatan <i>Pulse</i> (km/s)	Perkiraan	
			Kuat Tekan Beton (N/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
3	Normal	3.73	34.54	34.42
		3.67	34.3	
7		3.91	35.28	35.26
		3.90	35.24	
14		4.03	35.77	35.69
		3.99	35.61	
28		4.01	35.9	35.795
		4.06	35.69	
60		4.10	36.07	36.15
		4.14	36.23	
90	4.12	36.14	36.24	
	4.17	36.34		

Tabel 4. 19 Hasil Analisis Perkiraan Kuat Tekan Dinamis Rencana Beton Air Basa

Umur Beton (hari)	Sampel Beton	Kecepatan <i>Pulse</i> (km/s)	Perkiraan Kuat Tekan Beton (N/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
3	Basa	3.66	34.26	34.215
		3.64	34.17	
7		3.90	35.24	35.22
		3.89	35.2	
14		3.96	35.49	35.445
		3.94	35.4	
28		4.00	35.65	35.63
		3.99	35.61	
60		4.02	35.72	35.79
		4.05	35.86	
90	4.02	35.72	35.94	
	4.12	36.14		

#### 4.7.3.2. Kuat Tekan Dinamis Aktual

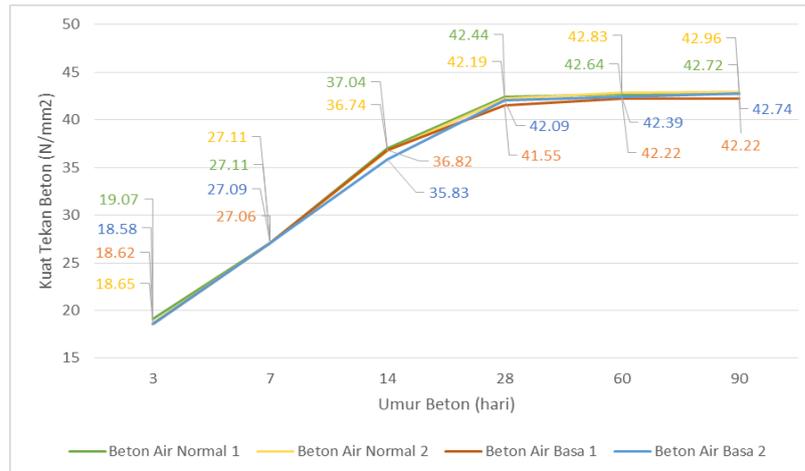
Pada persamaan regresi milik Mahure dkk. diperoleh dari hubungan nilai UPV dengan kuat tekan beton pada umur 28 hari, sehingga nilai perkiraan kuat tekan yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan formula Mahure dkk. ini adalah perkiraan kuat tekan rencana beton umur 28 hari. Sehingga untuk memperoleh nilai perkiraan kuat tekan aktual dinamis beton dilakukan perhitungan konversi umur beton dengan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21 berikut dengan kode sampel N merupakan beton air normal dan kode sampel B merupakan beton air basa yang diikuti angka yang berarti umur beton dan diakhiri angka yang berarti nomor sampel. Kuat tekan aktual yang dimaksud adalah perkiraan kuat tekan beton yang sesungguhnya pada setiap umur beton setelah perhitungan menggunakan konversi hari.

Tabel 4. 20 Hasil Analisis Perkiraan Kuat Tekan Aktual Dinamis Beton Air

Normal				
Umur Beton (hari)	Sampel Beton	Perkiraan Kuat Tekan Dinamis Rencana (Umur 28 hari) (N/mm <sup>2</sup> )	Perkiraan Kuat Tekan Aktual Dinamis Beton (N/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
3	Normal	34.54	18.78	18.715
		34.3	18.65	
7		35.28	27.11	27.095
		35.24	27.08	
14		35.77	37.21	37.125
		35.61	37.04	
28		35.9	42.44	42.315
		35.69	42.19	
60		36.07	42.64	42.735
		36.23	42.83	
90	36.14	42.72	42.84	
	36.34	42.96		

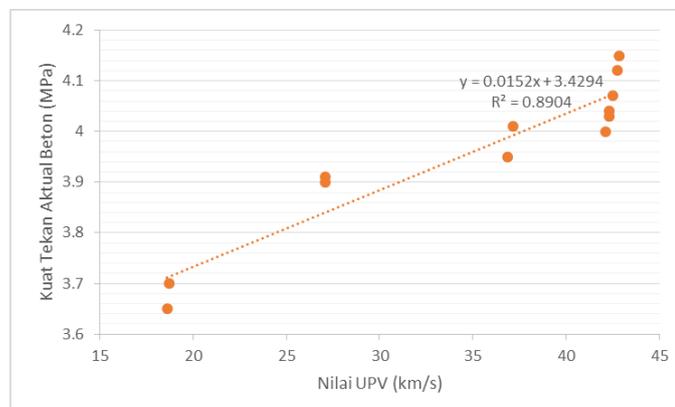
Tabel 4. 21 Hasil Analisis Perkiraan Kuat Tekan Aktual Dinamis Beton Air Basa

Umur Beton (hari)	Sampel Beton	Perkiraan Kuat Tekan Dinamis Rencana (Umur 28 hari) (N/mm <sup>2</sup> )	Perkiraan Kuat Tekan Aktual Dinamis Beton (N/mm <sup>2</sup> )	Rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
3	Basa	34.26	18.63	18.61
		34.17	18.58	
7		35.24	27.08	27.07
		35.2	27.05	
14		35.49	36.92	36.87
		35.4	36.82	
28		35.65	42.14	42.12
		35.61	42.09	
60		35.72	42.22	42.31
		35.86	42.39	
90	35.72	42.22	42.47	
	36.14	42.72		



Gambar 4. 10 Grafik Perkiraan Kuat Tekan Aktual Dinamis Beton

Gambar 4.10 di atas menunjukkan grafik hasil perkiraan kuat tekan aktual terhadap beban dinamis baik pada beton perendaman air normal maupun beton perendaman air basa selama umur 3, 7, 14, 28, 60 dan 90 hari mengalami peningkatan signifikan sejak umur 3 hingga 28 hari, selanjutnya pada umur 60 dan 90 hari grafik menunjukkan hasil yang relatif stabil. Menariknya pada umur 7 hari seluruh sampel beton memiliki kuat tekan yang relatif sama sebesar 27 MPa. Sedangkan pada umur 14 hari seluruh sampel mengalami kenaikan yang signifikan kecuali pada sampel Beton Air Basa 2 dengan kenaikan sebesar 8,74 Mpa. Kuat tekan beton terus meningkat hingga pada umur 90 hari mencapai kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 42,96 MPa untuk beton perendaman air normal dan sebesar 42,72 MPa untuk beton perendaman air basa. Perkiraan kuat tekan aktual beton pada beton perendaman air basa dan beton perendaman air normal tidak memiliki rentang yang jauh tetapi perkiraan kuat tekan aktual beton perendaman air normal masih berada di atas perkiraan kuat tekan aktual beton perendaman air basa.



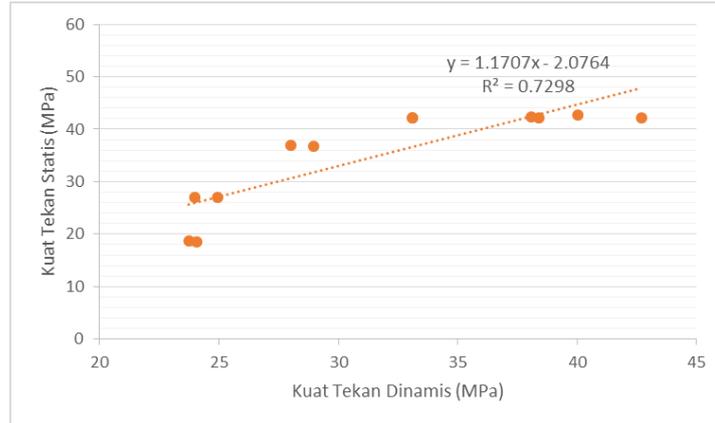
Gambar 4. 11 Hubungan Nilai UPV dengan Kuat Tekan Aktual Dinamis Beton

Campuran yang terkandung dalam beton dan perawatan (*curing*) beton berpengaruh pada kuat tekan dan kualitas beton. Pada penelitian ini beton dengan bahan tambah *admixtures* yang direndam pada air normal dan air basa dengan diuji dengan UPVT untuk memperoleh nilai UPV dan kuat tekan beton. Hasil yang diperoleh bahwa kuat tekan aktual pada beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa meningkat seiring bertambahnya umur beton sama seperti nilai kepadatan beton yang selalu meningkat pula pada setiap bertambahnya umur beton. Hal ini disebabkan karena nilai UPV memiliki korelasi yang baik dengan kuat tekan beton seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.

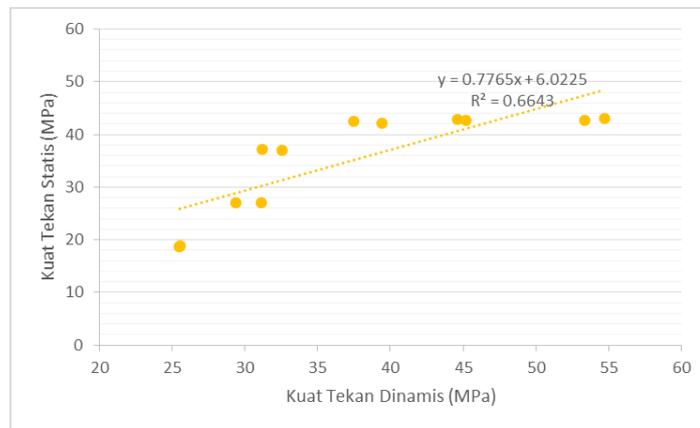
Secara matematis bahwasanya korelasi ( $r$ ) diartikan sebagai ukuran hubungan linier peubah X dan Y dimana nilai  $r$  berkisar antar (+1) sampai (-1). Jika nilai  $r = 0$  maka X dan Y tidak memiliki korelasi linier dan dilanjutkan ke analisis regresi eksponensial. Koefisien determinasi sampel disimbolkan dengan  $R$  yang nilainya merupakan kuadrat dari koefisien korelasi sehingga  $R = r^2$ . Nilai  $r$  yang (+) ditandai oleh nilai  $b$  yang (+) demikian pula sebaliknya (Hayati, 2017). Pada penelitian ini, hubungan nilai UPV dengan kuat tekan beton menghasilkan korelasi yang baik yaitu sebesar 0,8904 atau sebesar 89% menunjukkan bahwa antara keduanya berkorelasi linier yang positif sama halnya dalam penelitian terdahulu milik Kou dan Poon (2015) yang menghasilkan korelasi yang sangat baik antara nilai UPV dengan kuat tekan yaitu sebesar 0,9024 atau 90%.

Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Statis (Widodo, 2019)

Metode Perendaman ( <i>Curing</i> )	Umur Beton (Hari)	Berat Benda Uji (Gram)			Kuat Tekan (MPa)	
		Sebelum direndam	Sesudah direndam	Selisih Berat	Sampel 1	Sampel 2
Air Normal	3	8215	8285	70	25,55	25,51
	7	8293	8370	78	29,38	31,10
	14	8371	8458	87	31,18	32,54
	28	8163	8258	95	37,45	39,45
	60	8280	8372	92	45,17	44,59
	90	8180	8270	90	53,33	54,69
Air Basa	3	8233	8305	72	23,74	24,06
	7	8305	8370	65	23,99	24,95
	14	8375	8405	30	28,00	28,95
	28	8173	8210	37	33,10	33,10
	60	8243	8275	32	38,39	38,08
	90	8288	8315	27	42,69	40,02



Gambar 4. 12 Hubungan Kuat Tekan Statis dengan Kuat Tekan Dinamis Beton Basa



Gambar 4. 13 Hubungan Kuat Tekan Statis dengan Kuat Tekan Dinamis Beton Normal

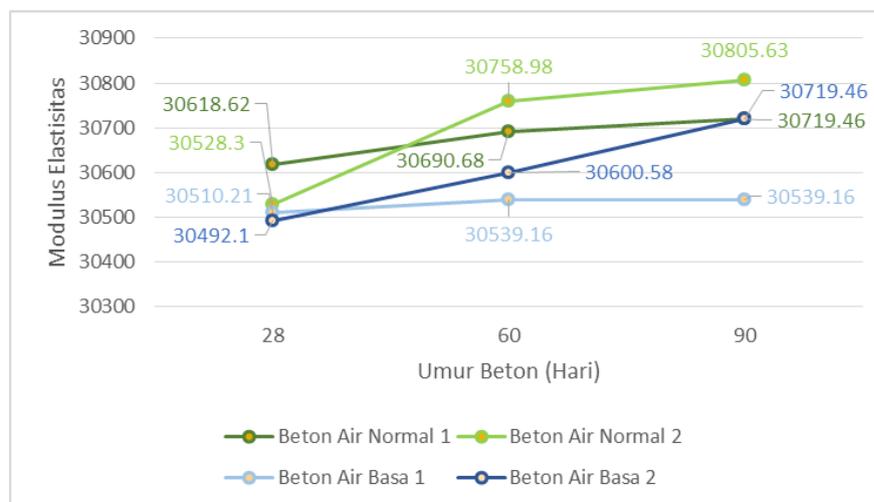
Pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 di atas disajikan grafik korelasi antara kuat tekan terhadap beban statis dan beban dinamis terhadap beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa. Nilai kuat tekan statis beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa diperoleh dari penelitian Widodo (2019). Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut bahwa hubungan kuat tekan beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa terhadap beban dinamis dengan kuat tekan beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa terhadap beban statis juga memiliki korelasi yang cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan perolehan nilai korelasi sebesar 0,7298 atau sebesar 73% untuk beton perendaman air basa sedangkan untuk beton perendaman air normal didapat nilai korelasi sebesar 0,6643 atau sebesar 67%.

#### 4.8. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas merupakan rasio perbandingan antara tegangan normal ratik (tekan) dengan regangan yang timbul dari tegangan tersebut. Modulus elastisitas dihitung menggunakan persamaan 2.1 dan diperoleh hasil yang disajikan pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.14 berikut.

Tabel 4. 23 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton Beban Dinamis

Umur Beton (Hari)	Kuat Tekan Dinamis Beton Air Normal (MPa)	Modulus Elastisitas	Kuat Tekan Dinamis Beton Air Basa (MPa)	Modulus Elastisitas
28	42.44	30618.62	42.14	30510.21
	42.19	30528.3	42.09	30492.1
60	42.64	30690.68	42.22	30539.16
	42.83	30758.98	42.39	30600.58
90	42.72	30719.46	42.22	30539.16
	42.96	30805.63	42.72	30719.46



Gambar 4. 14 Nilai Modulus Elastisitas Beban Dinamis

Gambar di atas menunjukkan grafik nilai modulus elastisitas beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa pada umur 28, 60 dan 90 hari. Terlihat jelas dari grafik bahwa nilai modulus elastisitas beton beban dinamis baik pada beton perendaman air normal maupun beton perendaman air basa selalu mengalami peningkatan. Nilai modulus elastisitas terbesar yang diperoleh sampel beton perendaman air normal sebesar 30805,63 pada umur beton 90 hari dan nilai

modulus elastisitas terbesar sampel beton perendaman air basa sebesar 30719,46 pada umur beton 90 hari.

Hasil penelitian yang diperoleh di atas dapat disimpulkan bahwa perendaman (*curing*) beton dengan air basa (lingkungan basa) dapat berpengaruh pada hasil pengujian, seperti pada pengujian resistivitas beton basa memiliki nilai resistivitas yang rendah karena kandungan elektrolit di dalamnya. Pada pengujian kepadatan beton, beton basa maupun beton normal termasuk pada kualifikasi baik namun nilai kepadatan beton basa berada di bawah beton normal. Korelasi nilai kepadatan dan nilai kuat tekan memiliki hubungan yang baik sehingga perkiraan kuat tekan beton dapat dihitung dengan formula perhitungan dari penelitian terdahulu. Semakin tinggi umur beton, semakin tinggi pula kuat tekan yang diperoleh. Hal ini berlaku untuk beton yang direndam air normal maupun beton yang direndam air basa tetapi tidak menutup kemungkinan lingkungan basa dapat merusak beton apabila perendaman lebih dari 90 hari.