

Optimasi *Rigid Pavement* dengan *Chemical Admixtures* Terhadap Lingkungan Basa dengan Beban Dinamis

Rigid Pavement Optimization with Admixture to the Alkaline Environment Using Dynamic Load

Astria Rossana, Emil Adly

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Perkerasan kaku (*rigid pavement*) pada konstruksi *at grade*, tanah sebagai lapisan dasar dari konstruksi perkerasan pada beberapa lokasi memiliki kandungan zat kimia tertentu yang menyebabkan tanah mengandung tingkat kemasaman yang beragam. Tanah dengan $\text{pH} > 7$ termasuk pada lingkungan basa yang mempengaruhi mutu/kekuatan beton dalam menopang beban dinamis atau beban yang bergerak di atasnya. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh campuran dan karakteristik beton baru serta mengetahui optimasi durabilitas perkerasan kaku di lingkungan basa. Metode penelitian ini menggunakan eksperimen di laboratorium dengan benda uji berupa sampel beton ukuran $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ dengan kuat tekan rencana K-400 (33,2 MPa) dengan campuran zat kimia *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* sebagai *admixtures* pada umur 3, 7, 14, 28, 60 dan 90 hari serta dilakukan perawatan (*curing*) menggunakan air normal dan air basa (larutan NaOH) dengan $\text{pH} \pm 8,5$ sebanyak 18 sampel, masing-masing tiga dan menggunakan metode duplo. Sebelum dilakukan pengujian ketahanan jenis (resistivitas) dengan alat *resistivitymeter*, pengujian kepadatan (densitas) dan kuat tekan dinamis menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)* semua benda uji dibiarkan kering dengan suhu atmosfer selama 1 hari. Hasil *mix design* didapatkan campuran beton baru dengan pengurangan masing-masing kadar air hingga $\pm 25\%$, agregat kasar $\pm 24,07\%$, dan semen $\pm 17,91\%$. Pengujian Durabilitas pada beton yang direndam air basa berupa resistivitas, kepadatan dan kuat tekan beton diperoleh nilai lebih rendah dibandingkan dengan beton perendaman air normal, yakni masing-masing berkurang hingga $\pm 80,96\%$, $\pm 0,72\%$ dan $\pm 0,84\%$ pada usia 90 hari. Nilai korelasi antara kuat tekan diamis dengan nilai UPVT beton air basa sebesar 0,89, dan nilai korelasi antara kuat tekan dinamis dengan kuat tekan statis adalah 0,73.

Kata kunci: beton *admixtures*, lingkungan basa, resistivitas, *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*.

Abstract. *Rigid pavement in at grade construction, the soil as the basic layer of pavement construction in several locations has a certain chemical content that causes the soil to contain varying degrees of acidity. Soil with a pH of > 7 is included in an alkaline environment that affects the quality / strength of concrete in sustaining dynamic loads or loads that move on it. This study aims to obtain mixtures and characteristics of new concrete and to find out the optimization of durability of rigid pavement in an alkaline environment. This research method uses experiments in the laboratory with specimens in the form of concrete samples of $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ with compressive strength K-400 (33.2 MPa) with a mixture of Plastocrete RT06 and Sikament NN as admixtures at age 3, 7, 14, 28, 60 and 90 days as well as treatment (curing) using normal water and alkaline water (NaOH solution) with a pH of ± 8.5 as many as 18 samples, each of three and using the duplo method. Before testing the resistivity with a resistivity meter, testing the density and dynamic compressive strength using an Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT) all specimens were allowed to dry with atmospheric temperature for 1 day. The results of the mix design obtained a new concrete mixture with a reduction in each water content up to $\pm 25\%$, crude aggregate $\pm 24.07\%$, and cement $\pm 17.91\%$. Durability testing of concrete soaked in alkaline water in the form of resistivity, density and compressive strength of concrete obtained lower values compared to normal water immersion concrete, which respectively reduced up to $\pm 80.96\%$, $\pm 0.72\%$ and $\pm 0.84\%$ at the age of 90 days. Correlation value between the compressive strength of diamis with UPVT value of concrete base water is 0.89, and the correlation value between the compressive strength of dynamic and static compressive strength is 0.73.*

Key words: admixtures concrete, alkali environment, resistivity, Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT).

1. Pendahuluan

Perkembangan infrastruktur di Indonesia semakin pesat sebagai peningkatan fasilitas yang berkemajuan baik dari segi bangunan gedung hingga pembangunan infrastruktur jalan. Jalan merupakan sebuah fasilitas moda transportasi darat sebagai penghubung suatu daerah ke daerah lain dengan maksud dan tujuan tertentu. Pada konstruksi *at grade*, tanah sebagai lapisan dasar dari konstruksi perkerasan kaku pada beberapa lokasi memiliki kandungan zat kimia tertentu yang menyebabkan tanah mengandung tingkat kemasaman yang beragam. Contohnya seperti pada jenis tanah renzina yang terbentuk dari kapur lunak, batuan mergel dan gips ini memiliki kandungan *Calcium (Ca)* dan *Magnesium (Mg)* yang tinggi sehingga jenis tanah ini memiliki pH berkisar 7,5 – 8,5. Zat-zat yang terkandung dalam tanah kemungkinan mempengaruhi lapis perkerasan kaku di atasnya dan dikhawatirkan akan mempengaruhi kekuatan beton dalam memikul beban bergerak (beban dinamis) di atasnya sehingga perlu dilakukan pengujian.

Zat *additive* atau *admixtures* banyak digunakan di pembangunan infrastruktur. Bahan yang digunakan sebagai zat *additive* pada campuran beton ini adalah *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* yang termasuk dalam *chemical admixtures*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik beton baru menggunakan tambahan zat *aditive* yang mempengaruhi waktu ikat dan proporsi campuran beton yaitu air, agregat dan semen serta mengetahui optimasi terhadap durabilitas perkerasan kaku (*rigid pavement*) di lingkungan basa dengan pengujian ketahanan jenis beton (resistivitas), kepadatan beton (densitas) dan kuat tekan dinamis beton menggunakan metode *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode percobaan atau eksperimen di laboratorium. Sampel benda uji yang digunakan berupa beton dengan mutu rencana K-400 (33,2 MPa) berbentuk kubus 15 cm × 15 cm × 15 cm,

dengan bahan tambah (*admixture*) yaitu *Plastocrete RT06* kadar 0,6% dan *Sikament NN* 2,3%. Perawatan (*curing*) menggunakan metode perendaman dengan air normal dan air basa (larutan NaOH) dengan pH ± 8,5 selama 3, 7, 14, 28, 60 dan 90 hari. Sebelum pengujian durabilitas, beton dibiarkan kering pada suhu atmosfer selama 1 hari. Bagan alir penelitian disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Benda Uji dan Curing

Jumlah sampel benda uji sebanyak 36 buah sampel seperti yang dijabarkan pada Tabel 1 dan perendaman (*curing*) pada air normal dan basa dengan pengecekan berkala yang dijaga kestabilannya di angka pH tersebut.

Salah satu penyebab kerusakan struktur beton adalah korosi akibat dari paparan bahan kimia berbahaya (Patel dkk., 2017).

Tabel 1 Jumlah Sampel Benda Uji

Kelompok beton	Jumlah sampel						Jumlah
	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	60 hari	90 hari	
Normal	3	3	3	3	3	3	18
Basa (NaOH)	3	3	3	3	3	3	18
Total	6	6	6	6	6	6	36



Gambar 2 Perawatan (*Curing*)

Bahan

Agregat Halus

Agregat halus (pasir) yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Progo seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Agregat Halus (Pasir)

Agregat Kasar

Agregat kasar (kerikil) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng Kulon Progo seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Agregat Kasar (Kerikil)

Semen

Semen yang digunakan untuk penelitian berupa semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) dengan merk Holcim seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Semen

Air

Air yang digunakan yaitu air dari laboratorium teknik sipil UMY.

Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah yang digunakan yaitu *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN*. *Plastocrete RT06* adalah bahan campuran beton yang dapat mereduksi (mengurangi) penggunaan air pada campuran beton serta mengontrol waktu pengerasan. *Admixture* ini termasuk pada tipe D sesuai dengan ASTM C494 (2004) dengan dosis penggunaan $\pm 0,2\%$ - $0,6\%$ dari berat semen.

Sedangkan *Sikament NN* adalah *superplasticizer* yang dapat mereduksi (mengurangi) jumlah penggunaan air dengan jumlah yang besar namun dapat mempercepat pengerasan serta menghasilkan beton dengan kekuatan awal dan akhir yang tinggi. *Admixture* ini termasuk pada tipe F sesuai dengan ASTM C494 (2004) dengan dosis penggunaan $\pm 0,3\%$ - $2,3\%$ dari berat semen. Sehingga dengan penggunaan bahan *admixture* tersebut mampu mengurangi penggunaan jumlah air sebesar 25%.



(a)



(b)

Gambar 5 (a) *Sikament NN* dan (b) *Plastocrete RT06*

Alat

Alat pengujian material

Alat yang digunakan antara lain sebagai berikut. Alat untuk mencuci material digunakan selang air dan ember, piknometer dan oven untuk pengujian berat jenis, gelas ukur untuk pengujian kadar lumpur, saringan untuk menyaring agregat kasar dan agregat halus dengan ukuran yang disesuaikan dengan kebutuhan, alat untuk pengujian gradasi butiran yaitu *Electric Sieve Shaker Machine* seperti pada Gambar 6 dan pengujian keausan pada agregat kasar digunakan mesin *Los Angeles* seperti pada Gambar 7 serta alat bantu lainnya yang dibutuhkan.



Gambar 6 Electric Sieve Shaker Machine



Gambar 10 UPVT



Gambar 7 Los Angeles Machine

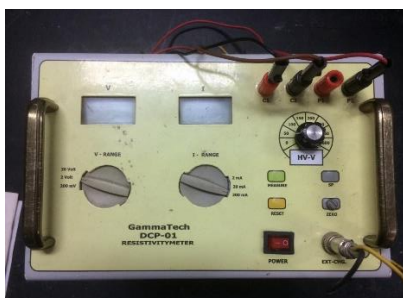
Alat Pembuatan Benda Uji

Mixer Concrete seperti pada Gambar 8 digunakan untuk alat pengadukan beton, cetakan beton kubus untuk mencetak beton, stick besi sebagai penumbuk dan pembantu pemadatan beton, sekop dan loyang untuk tempat penuangan beton segar, kerucut Abrams untuk uji slump dan alat bantu lain seperti meteran, gelas ukur, jirigen, bak perendam untuk curing dan alat bantu lain yang dibutuhkan. Karena keterbatasan volume molen (mixer), pengadukan dilakukan sebanyak 6 kali.



Gambar 8 Mixer Concrete

Alat Pengujian Beton Beban Dinamis



Gambar 9 Resistivitymeter

Alat yang digunakan untuk pengujian durabilitas beton antara lain resistivity meter seperti pada Gambar 9 untuk pengujian resistivitas, Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT) seperti pada Gambar 10 untuk pengujian densitas (kepadatan) beton.

Mix Design

Mix design merupakan seleksi proporsi beton termasuk pada keseimbangan antara ekonomi dan persyaratan untuk placeability, kekuatan, durabilitas, densitas dan appearance (ACI 211, 2002).

Pengujian Slump dan Waktu Ikut

Pengujian slump dilakukan untuk memperoleh nilai kekentalan beton. Slump beton segar sesuai dengan ACI 211-02 untuk perkerasan kaku adalah minimal 2,5 cm sampai dengan maksimal 7,5 cm.

Waktu ikat (setting time) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk pengikatan semen terhadap agregat. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh dari variabel seperti air, tipe, jumlah material semen atau bahan tambah (admixture) ketika menentukan waktu pengikatan beton (ASTM C403, 1999)

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas dalam (ACI 318, 1995) merupakan rasio perbandingan antara tegangan normal ratik (tekan) dengan regangan yang timbul dari tegangan tersebut.

$$4700 \sqrt{f_c'} \text{ 28 hari} \dots \dots \dots (1)$$

Pengujian Resistivitas Beton

Pengujian resistivitas beton merupakan pengujian ketahanan beton terhadap korosi dengan aliran listrik dengan resistivity meter. Hambatan listrik sebagai rasio antara tegangan yang diterapkan dengan arus listrik yang dialirkan melalui beton benda uji. Umumnya

pengujian resistivitas ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana beton menentang aliran arus listrik sehingga membantu menentukan risiko korosi (Kurda, dkk., 2019).

Sedangkan dalam (Layssi dkk., 2015), resistivitas listrik beton dapat digambarkan sebagai kemampuan beton untuk menahan transfer ion yang melewati ke medan listrik. Dalam konteks ini, pengukuran resistivitas dapat digunakan untuk menilai ukuran dan tingkat interkoneksi pori-pori.

Rumus perhitungan yang digunakan untuk menganalisis data seperti yang dicantumkan dalam Putra dan Lapanoro (2014) adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2)$$

dimana, R adalah tahanan atau resistensi (Ω), V adalah perbedaan potensial listrik (Volt) dan I adalah perbedaan arus listrik (Ampere).

Rumus perhitungan resistivitas (ρ) sebagai berikut:

$$\rho = \frac{V}{I} \times \frac{A}{L} \dots\dots\dots(3)$$

dimana, V adalah perbedaan potensial (Volt), I adalah kuat arus yang melalui bahan (Ampere), A adalah luas penampang (m) dan L adalah panjang kawat (m).

Pengujian Densitas Beton

Pengujian densitas (kepadatan) beton merupakan pengujian yang bersifat *nondestruktif* untuk mengetahui karakteristik, kualitas dan kepadatan beton salah satunya dengan menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*. Berdasarkan ASTM C597 (2012), *UPVT* ini bertujuan untuk mengetahui nilai keseragaman dan mutu relatif beton, mendeteksi adanya rongga dan retak serta mengevaluasi efektivitas perbaikan retak dengan rumus perhitungan berikut.

$$V = \frac{L}{T} \dots\dots\dots(4)$$

dimana, V merupakan kecepatan rambat gelombang (m/s), L adalah jarak antar permukaan transduser (m) dan T adalah waktu tempuh (s).

Pengujian ini juga digunakan untuk mengetahui perubahan sifat-sifat (karakteristik) beton pada pemeriksaan suatu struktur untuk memperkirakan kualitas beton yaitu tingkat kerusakan atau keretakan beton. Nilai *UPV*

untuk beton campuran yang diamati pada penelitian Leslie dan Cheeseman, 1949 (dalam Lee, 2019) diklasifikasikan seperti pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Kualifikasi Beton Berdasarkan Nilai UPV

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

Pengujian Kuat Tekan Dinamis Beton

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

Kesimpulan yang didapat dari hasil perhitungan pada penelitian Anggraeni dkk. (2013), bahwa perkiraan kuat tekan beton ini adalah agar didapatkan nilai kuat tekan beton yang mendekati kekuatan aktualnya, digunakan formula dengan mutu beton yang mendekati kuat tekan rencana beton tersebut.

Maka, pada penelitian sekarang ini dengan rencana mutu beton 33,2 MPa digunakan rumus perhitungan dengan formula Mahure dkk. dengan persamaan regresi M35 berikut:

$$CS = 4,104PV + 19,23 \dots\dots\dots(5)$$

dimana, CS adalah *Compressions Strength* (Kuat Tekan) dalam MPa dan PV adalah *Pulse Velocity* (Kecepatan Gelombang) dalam km/s.

3. Hasil dan Pembahasan Penelitian

Mix Design

Perencanaan pencampuran beton (*Mix Design*) mengacu pada metode ACI 318-95

dengan fas 0,48. Perencanaan *mix design* pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Proporsi Campuran 1m³ Beton Kubus

Bahan	Jumlah
Air	153,68 kg
Semen	426,88 kg
Pasir	814,33 kg
Kerikil	766,89 kg
Plastocrete RT06 0,6%	2561,25 ml
Sikament NN 2,3%	9818,13 ml

Proporsi campuran mengalami penurunan setelah menggunakan *Sikament NN* setelah dibandingkan dengan proporsi campuran beton K-400 tanpa *admixtures* (Siswoyo dkk., 2016). Penggunaan agregat kasar (kerikil) menurun sebesar ±24,07% dan semen ±17,91%. Namun, penggunaan agregat halus (pasir) meningkat sebesar ±16,50% sehingga tekstur beton segar agak berpasir.

Nilai Slump dan Waktu Ikat

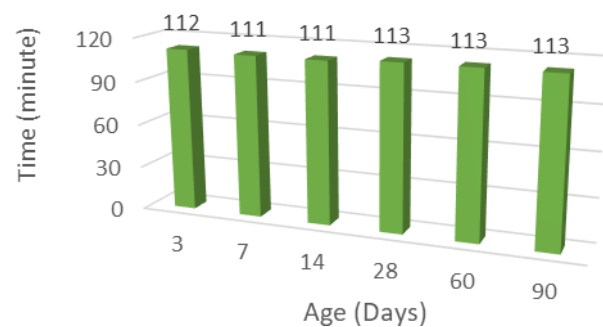
Satu adukan beton segar digunakan untuk 3 buah sampel benda uji beton perendaman air basa dan 3 buah sampel benda uji beton perendaman air normal pada setiap umur betonnya. Pada Tabel 4 disajikan hasil pengujian slump dengan perolehan rata-rata nilai slump sebesar 7,2 cm, sehingga dapat disimpulkan slump beton telah memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam ACI 211-02.

Tabel 4 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			7,2

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.



Gambar 11 Grafik Waktu Ikat Rata-rata

Hasil Pengujian Material

Hasil pengujian material agregat halus dan agregat kasar ditampilkan pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini.

Tabel 5 Hasil Pengujian Agregat Halus (Pasir)

No	Pengujian	Nilai	Keterangan
1	Berat Jenis (2,3 – 2,6)	2,34	memenuhi (ASTM C128-01)
2	Gradasi	-	memenuhi (ASTM C33-03)
3	MHB (1,5 – 3,8)	2,29 %	memenuhi (ASTM C136-01)
4	Kadar air (3% - 5%)	3,31 %	memenuhi (ASTM C566-04)
5	Kadar lumpur (Max: 5%)	2,88 %	memenuhi (ASTM C117-03)

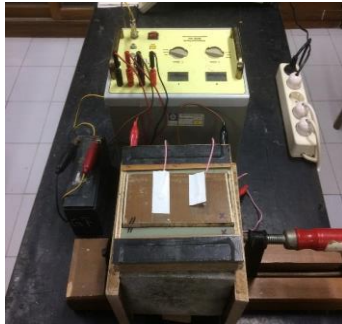
Hasil pengujian material agregat halus pada Tabel di atas memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Tabel 6 Hasil Pengujian Agregat Kasar (Kerikil)

No	Pengujian	Nilai	Keterangan
1	Berat Jenis (2,5 – 2,7)	2,51	memenuhi (ASTM C127-01)
2	Gradasi	Ukuran max 20 mm	memenuhi (ASTM C33-03)
3	Keausan (< 50%)	29,8 %	memenuhi (ASTM C535-03)
4	Kadar lumpur (Max: 1%)	0,88 %	memenuhi (ASTM C142-97)

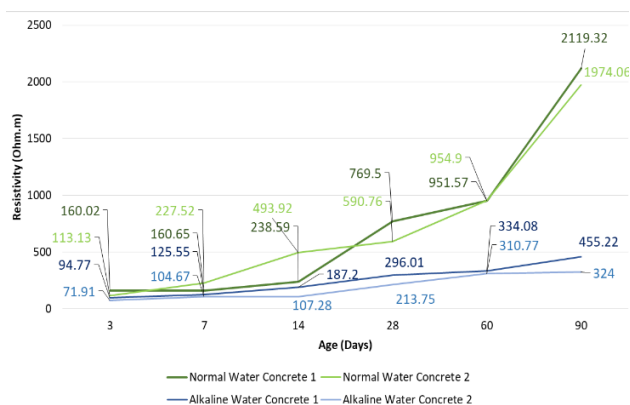
Hasil pengujian material agregat kasar pada Tabel di atas memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Hasil Pengujian Beban Hasil Pengujian Resistivitas



Gambar 12 Pengujian Resistivitas

Nilai resistivitas yang diperoleh berasal dari perhitungan dengan persamaan 1 dan 2. Hasil yang 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. Hasil pengujian resistivitas beton disajikan pada Gambar berikut.



Gambar 13 Grafik Nilai Resistivitas Beton

Gambar 13 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. Nilai resistivitas yang mengalami kenaikan secara signifikan terjadi sejak umur 7 hari dibandingkan dengan sampel lainnya.

Kenaikan nilai resistivitas yang signifikan terjadi pada umur 90 hari, khususnya pada sampel beton normal 1 dan beton normal 2 sebagai nilai resistivitas tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 2119,32 Ω .m dan 1974,06 Ω .m. Sedangkan pada sampel beton air

basa juga terdapat kenaikan nilai resistivitas, namun tidak terlalu tinggi yaitu sebesar 455,22 Ω .m untuk sampel beton basa 1 dan sebesar 324 Ω .m untuk sampel beton basa 2. Nilai resistivitas pada beton perendaman air normal menunjukkan hasil yang lebih jauh lebih besar dibandingkan beton yang direndam dengan air basa yang selisihnya hingga 1657,08 Ohm.m atau sekitar 80,96%. Sehingga sampel beton perendaman air basa lebih mudah menghantarkan listrik.

NaOH merupakan salah satu golongan basa kuat yang termasuk pada larutan elektrolit kuat. Menurut Robinson dan Stokes (2002) (dalam Yemima dkk., 2018), elektrolit hidroksida seperti NaOH sangat larut dalam air dan anion OH⁻ yang memiliki konduktivitas yang sangat baik sebagai elektrolit superkapasitor. Sama halnya seperti dalam penelitian Qu dkk. (2008) bahwa Na⁺ sebagai pendukung elektrolit dan bahan elektroda dalam aplikasi kapasitor, dimana daya besar dan besar kepadatan energi dibutuhkan. Sehingga beton perendaman air basa lebih mudah menghantarkan listrik.

Hasil Pengujian Densitas Beton



Gambar 14 Pengujian Densitas

Keseragaman atau nilai kepadatan beton yang diperoleh dari perhitungan dengan persamaan 3, didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8 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.

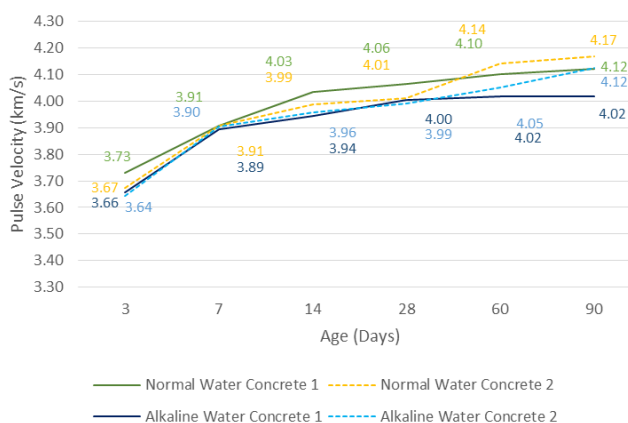
Klasifikasi kualitas beton seperti dalam penelitian Leslie dan Cheeseman, 1949 (dalam Lee, 2019) pada Tabel 3 bahwa nilai kecepatan *pulse* pada penelitian ini termasuk pada 3600 m/s < V < 4500 m/s yaitu baik.

Tabel 7 Hasil Pengujian Densitas Beton Air Normal

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

Tabel 8 Hasil Pengujian Densitas Beton Air Basa

Umur Beton	Panjang Lintasan (m)	Kode Sampel	Kecepatan Pulse (km/s)	Rata-rata (km/s)	Hasil
3	0,15	B3-2	3,66	3,65	Baik
		B3-3	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	B28-2	4,00	4	Baik
		B28-3	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
		B90-3	4,12		



Gambar 14 Grafik Nilai Kepadatan Beton

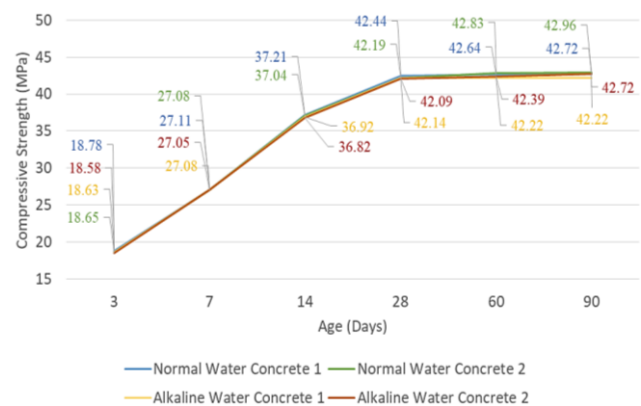
Gambar 14 di atas menunjukkan grafik hasil pengujian kepadatan beton perendaman air normal dan beton perendaman air basa selama 3, 7, 14, 28, 60 dan 90 hari terhadap nilai kepadatan (kecepatan *pulse*) dengan pengambilan nilai rata-rata secara duplo pada setiap umur beton. Hasil yang diperoleh bahwa 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.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Dinamis Beton Kuat Tekan Dinamis Rencana

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 4. Hasil perhitungan kuat tekan dengan formula Mahure dkk ini menghasilkan kuat tekan dinamis rencana (umur 28 hari).

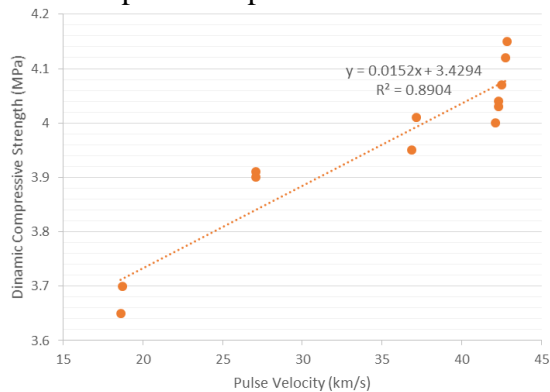
Kuat Tekan Dinamis Aktual

Kuat tekan dinamis aktual beton merupakan kuat tekan sesungguhnya pada umur beton sehingga dapat diperoleh dengan konversi hari dari hasil perhitungan kuat tekan dinamis rencana. Sehingga didapatkan hasil kuat tekan aktual dinamis beton ditampilkan pada Gambar 15 berikut.



Gambar 15 Grafik Kuat Tekan Dinamis Beton

Gambar 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. Peningkatan signifikan terlihat sejak umur 3 hingga 28 hari, selanjutnya pada umur 60 dan 90 hari grafik menunjukkan hasil yang relatif stabil dan menariknya pada umur 7 hari seluruh sampel beton memiliki kuat tekan yang relatif sama yaitu sebesar 27 MPa, selanjutnya nilai terus meningkat yaitu 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 sampel beton perendaman air normal dan sebesar 42,74 MPa untuk sampel beton perendaman air basa.



Gambar 16 Grafik Hubungan Nilai UPV dengan Kuat Tekan Aktual Dinamis

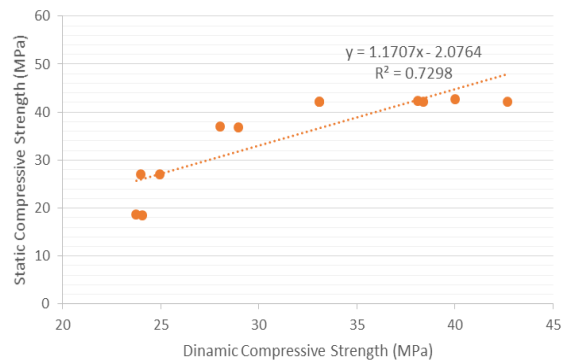
Campuran yang terkandung dalam beton dan perawatan (*curing*) beton berpengaruh pada kuat tekan dan kualitas beton. Pada penelitian ini beton dengan bahan tambah *admixture*s yang direndam pada air normal dan air basa dengan diuji dengan UPVT untuk memperoleh nilai UPV dan kuat tekan beton. Hasil yang 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 16.

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 dan penelitian ini sama dengan 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%.

Hubungan Kuat Tekan Dinamis dan Statis

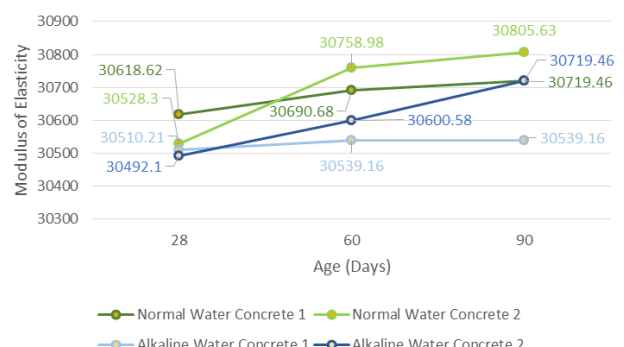
Kuat tekan aktual dinamis diperoleh dengan perhitungan formula dari penelitian terdahulu dengan menghasilkan kuat tekan rencana (umur 28 hari) dinamis sehingga setelah dikonversi hari diperoleh kuat tekan dinamis aktual. Kuat tekan statis aktual statis diperoleh dari penelitian Widodo (2019) dengan benda uji dan perendaman yang sama namun kuat tekan aktual statis didapat dengan hasil pengujian dengan *Compressions Strength Machine* di Laboratorium.



Gambar 17 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Perendaman Air Basa

Begitu juga pada Gambar 17 di atas menunjukkan hasil hubungan kuat tekan aktual dinamis dengan kuat tekan aktual statis pada beton perendaman air basa, didapat nilai korelasi sebesar 0,7298 atau sebesar 73% sehingga hubungan antara keduanya cukup baik.

Modulus Elastisitas



Gambar 18 Modulus Elastisitas Beton Dinamis

Gambar 18 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 beton perendaman air normal sebesar 30805,63 pada umur beton 90 hari dan nilai modulus elastisitas terbesar beton perendaman air basa sebesar 30726,65 pada umur beton 90 hari.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian *rigid pavement* dengan *admixtures* terhadap lingkungan basa dengan pengujian resistivitas, pengujian densitas dan pengujian kuat tekan dinamis beton dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik beton baru terlihat dari *mix design* dengan pengurangan penggunaan air sebesar 25%. Hal ini dikarenakan penggunaan bahan tambah bahan tambah (*admixture*) berupa *Sikament NN* yang bersifat *water reducer* atau mereduksi penggunaan jumlah air yang menyebabkan penurunan jumlah agregat kasar, namun menambah jumlah agregat halus sehingga tekstur beton segar berpasir. Penggunaan *Plastocrete RT06* sebagai *retarding* juga menghasilkan waktu ikat beton yang cukup lama.
2. Kandungan elektrolit yang tertinggal dalam beton setelah proses perendaman (*curing*) dalam NaOH menyebabkan beton perendaman air basa ini sangat mudah menghantarkan arus listrik melalui alat *resistivity meter* dalam pengujian ketahanan jenis (resistivitas beton), sehingga beton perendaman air basa lebih mudah menghantarkan listrik.
3. Pada pengujian densitas (kepadatan) beton dengan bahan tambah (*admixtures*) mengalami kenaikan nilai kepadatan seiring bertambahnya umur beton. Nilai kepadatan sampel beton perendaman air normal berada di atas sampel beton perendaman air basa

dengan rentang nilai kepadatan yang relatif kecil dan termasuk pada kategori beton baik.

4. Hasil perhitungan perkiraan kuat tekan dinamis beton yang diperoleh dari formula perhitungan penelitian terdahulu diperoleh kuat tekan beton terhadap beban dinamis mengalami kenaikan seiring bertambahnya umur beton dan disimpulkan kuat tekan beton perendaman air basa berada di bawah beton perendaman air normal.
5. Hubungan antara kuat tekan aktual terhadap beban statis dengan kuat tekan aktual terhadap beban dinamis memiliki korelasi yang cukup baik yaitu 0,7414 untuk beton basa dan 0,6784 untuk beton normal.

5. Daftar Pustaka

- ACI,2002, 211: *Standard Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight and Mass Concrete*, American Concrete Institute, United States.
- ACI,1995, 318: *Standard Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight and Mass Concrete*, American Concrete Institute, United States.
- Anggraeni, H.S., Susilo, E.E., Wedhanto, S., 2013. Perbandingan Kekuatan Beton Berdasarkan Hasil *Ultrasonic Pulse Velocity Test* dengan Uji Tekan (020M). *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*, Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta, 24-26 Oktober 2013, 9-16.
- ASTM, 1999, C403-99: *Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM, 2002, C597-02: *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, ASTM International, West Conshohocken.
- Kou, S. dan Poon, C., 2015. Effect of the Quality of Parent Concrete on the Properties of High Performance Recycled Aggregate Concrete. *Construction and Building Materials* 77, 501-508.

- Kurda dkk., 2019. Water Absorption and Electrical Resistivity of Concrete with Recycled Concrete Aggregates and Fly Ash. *Cement and Concrete Composites* 95, 169-182.
- Lee, S., 2019. Effect of Nylon Fiber Addition on the Performance of Recycled Aggregate Concrete. *Applied Sciences*, 9 (767), doi: 10.3390/app9040767.
- Layssi dkk., 2015. Electrical Resistivity of Concrete. *Concrete International*, 41-46.
- Mahure dkk., 2011. Correlation Between Pulse Velocity and Compressive Strength of Concrete. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4 (6), 871-874.
- Putra, Y. S. dan Lapanporo, B.P., 2014. Identifikasi Keretakan Beton Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas. *Prisma Fisika*, 2 (3), 92-99.
- Qu dkk., 2008. Study on Electrochemical Performance of Activated Carbon in Aqueous Li_2SO_4 , Na_2SO_4 and K_2SO_4 Electrolytes. *Electrochemistry Communications* 10, 1652-1655.
- Siswoyo dkk., 2016. Kajian Koefisien Harga Satuan Pekerjaan Beton K350 dan K400 Sesuai Karakteristik dengan Menggunakan Material Batu, Pasir Ex Takari dan Portland Cement (PC) Ex Kupang. *JUTEKS*, 1 (2), 57-67.
- Widodo, A. N., 2019. *Optimasi Rigid Pavement dengan Admixture terhadap Lingkungan Basa dengan Beban Statis*, Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Yemima dkk., 2018. *Penentuan Kapasitansi Spesifik Karbon Aktif Tempurung Kemiri (Aleurites Moluccana) Menggunakan Elektrolit H_2SO_4 , NaOH , Dan Na_2SO_4* , Tugas Akhir, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Patel, H., Jain, Piyush., Engineer, Kaizad., Kajalwala, M.V.M., 2017. The Experimental Investigation of Durability Test on Concrete Cubes. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 4 (5), 855-861.

Lampiran A

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
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 ³
	Berat jenis ag. Halus	2.31	
	Berat jenis ag. Kasar	2.51	
19	Berat jenis beton	2213	kg/m ³
20	Kebutuhan agregat halus dan kasar	1581.23	kg/m ³
21	Kebutuhan agregat halus	814.33	kg/m ³
22	Kebutuhan agregat kasar	766.89	kg/m ³
23	Kebutuhan bahan yang didapat		
24	Air	204.90	kg/m ³
25	Semen	426.88	kg/m ³
26	Pasir	814.33	kg/m ³
27	Kerikil	766.89	kg/m ³
28	Volume kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm	0.0034	m ³
29	Luas persegi	225.00	cm
30	Tinggi	15.00	cm
31	<i>Safety factor</i>	35.00	%
Proporsi 1m³ 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