

Optimasi *Rigid Pavement* dengan *Admixture* Terhadap Lingkungan Asam dengan Beban Statis

Rigid Pavement Optimization with Admixture to the Acid Environment Using Static Load

Swarka Mada N.P , Emil Adly, Sri Atmaja P. Rosyidi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Lingkungan asam biasanya dijumpai pada tanah gambut atau limbah pabrik dan akan memberikan dampak bagi air yang terkandung di dalam tanah. Secara umum diketahui bahwa air asam memberikan dampak yang negatif bagi mutu atau kualitas perkerasan jalan. Di Indonesia banyak ruas jalan menggunakan *rigid pavement* (perkerasan kaku) dengan mempertimbangkan umur rencana, beban lalu lintas serta mengurangi kerusakan pada persimpangan jalan akibat pengereman. Sebagai penyedia beton saat ini *chemical admixture* sebagai bahan campuran banyak digunakan dengan tujuan *workability*, kekuatan awal, sekaligus untuk penghematan penggunaan material. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui campuran dan karakteristik beton baru dari pencampuran menggunakan Sika-NN dan Plastocrete serta mengetahui optimasi durabilitas *rigid pavement*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium. Yang menggunakan sampel beton berbentuk kubus 15x15x15 cm dengan mutu beton rencana K-400 (33,2 MPa). Sampel beton direndam menggunakan air pH normal dan larutan asam H₂SO₄ pH 1±1 sebanyak masing-masing 3 sampel dengan total 18 sampel, lalu diuji pada umur 3,7,14,28,60, dan 90 hari selanjutnya diberlakukan metode duplo. Namun, sebelum dilakukan pengujian, sampel akan dibiarkan kering pada suhu atmosfer selama 24 jam. Durabilitas beton yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan alat *resistivimeter* untuk mengetahui *resistivitas* (ketahanan jenis), *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) untuk menguji *density* (kepadatan), dan uji tekan statis. Hasil *mix design* menunjukkan pengurangan jumlah penggunaan agregat kasar dan semen kurang lebih 24 % dan 18 % sehingga meningkatkan penggunaan agregat halus hingga 16,49 %, nilai setting time rata-rata lebih kurang 112 menit. Pengujian resistivitas beton umur 90 hari pada rendaman air asam menghasilkan nilai yang lebih besar dari pada sampel beton air normal. Kedua sampel termasuk dalam kriteria “baik” pada pengujian densitas, sedangkan pada uji tekan statis, sampel beton yang direndam air asam mengalami penurunan hampir 16 %.

Kata kunci: beton *admixture*s, lingkungan asam, resistivitas, *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT).

Abstract. An acidic environment commonly found in peat soils or factory wastes will have an impact on the water contained in the soil. Acidic water brings a negative impact on the road pavement quality. In Indonesia, many roads use the rigid pavement in consideration to the length of plan, traffic load and minimization of damage to the cross road due to vehicle braking. As a concrete provider, chemical admixture as a mixed materials today is widely used with the reasons of workability, initial strength, as well as saving of material use. This research aims to determine the mixture and characteristics of new concrete from mixing using Sika-NN and Plastocrete and to figure out the optimization of rigid pavement durability. It used the laboratory experimental method and the concrete sample used was in the form of a 15x15x15-cm cube with the planned concrete quality of K-400 (33.2 MPa). A total of 18 concrete samples were immersed by means of normal pH water and H₂SO₄ acid solution at pH 1 ± 1 with 3 samples on each. They were then tested at the age of 3, 7, 14, 28, 60, and 90 days using the duplo method. However, prior to conduct the test, the samples would be left drying at an atmospheric temperature within 24 hours. In this research, the concrete durability was carried out using a resistivity meter to determine the resistivity (endurance of type), Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT) to test the density, and a static compressive test. The results of the mixed design showed a reduction in the number of the coarse aggregate and cement uses at approximately 24% and 18% respectively purposely to increase the use of fine aggregate by 16.49% with an average setting time value of approximately 112 minutes. The test on concrete resistivity in the acid water marinade for 90 days produced a greater value than that of normal water. Both samples were

included in the "good" criterion for the test on density, whereas, the concrete samples soaked in acid water decreased by almost 16% in the static compressive test.

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

1. Pendahuluan

Jalan merupakan prasarana penting dalam distribusi manusia dan barang, perkerasan jalan dalam perkembangannya dibagi menjadi tiga jenis yaitu, Perkerasan Kaku (Rigid Pavment), Perkerasan Lentur (Flexible Pavment), dan Perkerasan Komposit. Perkerasan Kaku (Rigid Pavment) merupakan jenis perkerasan yang berbahan utama semen, agregat, dan air, biasanya dipakai dalam suatu proyek jalan yang membutuhkan keunggulan perkerasan seperti umur yang panjang, dan ketahanan akibat dari kerusakan pengereman mobil.

Permasalahan dalam sektor transportasi darat yang banyak terjadi di kota – kota besar terutama di Indonesia seringkali mengalami kerusakan yang biasanya diakibatkan oleh beban yang berlebihan, keadaan lingkungan alam indonesia yang cenderung variatif, dan buruknya drainase yang menyebabkan jalan – jalan tergenang, kondisi tanah yang labil, dan kondisi tanah yang bisa merusak jalan.

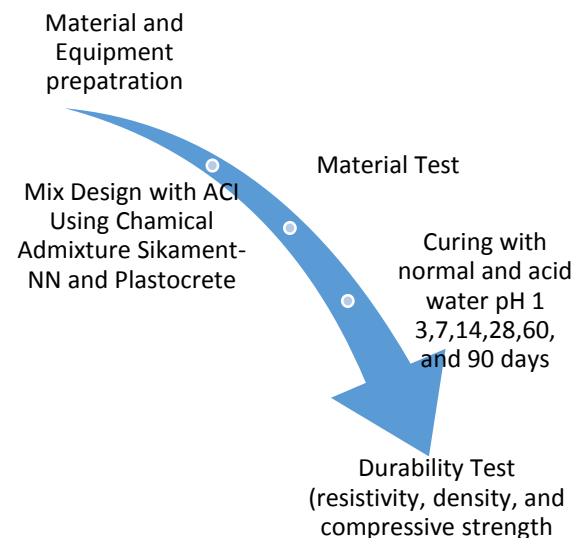
Dengan adanya faktor air yang menggenangi jalan khususnya perkerasan kaku, maka diperlukan optimasi rigid pavement yang berbahan beton mutu tinggi dengan bahan tambahan (*admixture*). Fungsi utama bahan tambahan (*admixture*) adalah untuk menambah kekuatan perkerasan kaku, sehingga banyak proyek-proyek yang membutuhkan kuat tekan beton mutu tinggi sehingga memakai bahan tambahan (*admixture*). Banyaknya inovasi dalam penyediaan beton segar oleh pihak pengusaha menyebabkan tingginya penggunaan zat adiktif yang berupa chemical admixture. Dengan cemical admixture setidaknya tingkat penggunaan material jauh lebih hemat yang berdampak kurangnya eksploitasi terhadap alam. Adapun zat tambahan yang selalu digunakan adalah *Plastocrete RT06* dan *Sikament-NN*. Kedua bahan tambahan tersebut termasuk dalam *chemical admixtures*. *Plastocrete RT06* adalah bahan tambahan beton yang memiliki sifat mengurangi (*water reducing*) dan memperlambat waktu ikat (*set retarder*). Sedangkan *Sikament NN* adalah cairan *super plasticizer* yang memiliki fungsi pengurangan

air beton, untuk membantu menghasilkan beton dengan kekuatan awal dan kekuatan akhir yang tinggi dan bebas klorin.

Lingkungan asam biasanya mudah dijumpai pada tanah gambut atau limbah pabrik yang sering dijumpai di lingkungan indonesia, penggunaan air asam tentu akan ada efeknya yang bisa saja berdampak negatif pada mutu atau kualitas beton menjadi menurun. Maka dari itu penulis ingin mengetahui pengaruh lingkungan asam terhadap beton mutu tinggi yang nantinya beban kendaraan akan disimulasikan pada uji tekan statis.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipakai menggunakan pengamatan langsung, eksperimental labolatorium, dan pengumpulan jurnal – jurnal pendukung. Penganalisaan data menggunakan metode duplo yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Pengamatan langsung dilakukan dengan cara seperti berikut.



Gambar 1. Flowchart 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.

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
Asam (H ₂ SO ₄)	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 3. 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 4. 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 5. Semen

Air

Air yang digunakan yaitu air normal dengan pH 7 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 6. (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 7. *Electrick Sieve Shaker Machine*



Gambar 8. *Los Angeles Machine*

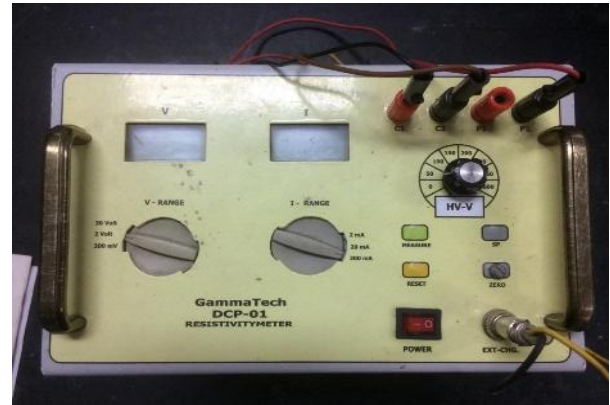
Alat Pembuatan Benda Uji

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 9. *Mixer Concrete*

Alat Pengujian Beton Beban Dinamis



Gambar 10. *Resistivymeter*



Gambar 11. *UPVT*

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 318).

Pengujian Slump dan Waktu Ikat

Pengujian slump dilakukan untuk memperoleh nilai kekentalan beton. Slump beton segar sesuai dengan ACI 911 untuk perkerasan kaku adalah minimal 2,5 cm dan 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 211, 2002) 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 .

Sedangkan dalam 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:

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

- R = tahanan atau resistensi (Ω),
- V = perbedaan potensial listrik (Volt),
- I = perbedaan arus listrik (Ampere).

Rumus perhitungan resistivitas (ρ) sebagai berikut:

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

- V = perbedaan potensial (Volt),
- I = kuat arus yang melalui bahan (Ampere),
- A = luas penampang (m),
- L = 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.

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

- V = kecepatan rambat gelombang (m/s)
- L = jarak antar permukaan transduser (m)
- T = waktu tempuh (s)

Berdasarkan ASTM C 597-83, 1991 pengujian ini menggunakan kecepatan gelombang ultrasonik yang dipengaruhi oleh homogenitas campuran beton dan kepadatan beton. Semakin cepat gelombang ultrasonik melewati sampel uji, maka semakin rapat dan padat sampel uji tersebut, Apabila gelombang ultrasonik semakin lambat melewati sampel uji, maka sampel uji dinyatakan kurang padat dan terdapat rongga maupun retakan diklasifikasikan seperti pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Kualifikasi Beton Berdasarkan Nilai UPV

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

Pengujian Kuat Tekan Statis

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

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \cdot \text{kg/cm}^2 \dots\dots\dots(4)$$

dengan:

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang (cm²)

3. Hasil dan Pembahasan Penelitian Mix Design

Perencanaan pencampuran beton (*Mix Design*) mengacu pada metode ACI 318 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 911.

Tabel 4. Nilai Slump

No	Umur Beton	Faktor Air Semen	Nilai Slump
	(Hari)	(FAS)	(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.

Tabel 5. hasil pengujian waktu ikat

No	Days	Setting Time (Minut)			Average (Minut)
		Sample 1	Sample 2	Sample 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 11 Grafik Waktu Ikat Rata-rata

Hasil Pengujian Material

Hasil pengujian material agregat halus dan agregat kasar ditampilkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 berikut ini.

Tabel 6. 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 C128-01)
3	MHB (1,5 – 3,8)	2,29 %	memenuhi (ASTM C128-01)
4	Kadar air (3% - 5%)	3,31 %	memenuhi (ASTM C128-01)
5	Kadar lumpur (Max: 5%)	2,88 %	memenuhi (ASTM C128-01)

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

Tabel 7. Hasil Pengujian Agregat Kasar
(Kerikil)

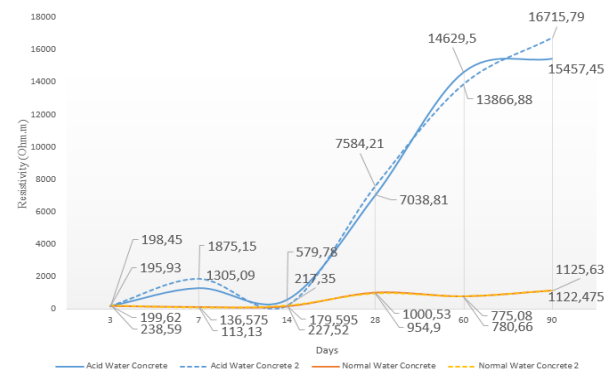
No	Pengujian	Nilai	Keterangan
1	Berat Jenis (2,5 – 2,7)	2,51	memenuhi (ASTM C127-01)
2	Gradasi	Ukuran max 20 mm	memenuhi (ASTM C127-01)
3	Keausan (< 50%)	29,8 %	memenuhi (ASTM C127-01)
5	Kadar lumpur (Max: 1%)	0,88 %	memenuhi (ASTM C127-01)

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

Hasil 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 12 berikut.



Gambar 11. Grafik Nilai Resistivitas Beton

Pada grafik di atas menunjukkan hasil pengujian resistivitas beton additive air normal dan beton additive 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 additive air normal dengan umur 3 hari memiliki hasil sebesar 199,62 Ohmm dan 198,45 Ohmm untuk beton additive yang terendam air asam. Hal ini terus meningkat dan mengalami penurunan pada hari ke 14 dengan beton additive air normal sebesar 227,52 Ohmm dan 219,35 Ohmm untuk beton additive yang terendam air asam. Grafik pada hari ke 28 dan seterusnya beton additive yang terendam air asam mengalami kenaikan yang sangat signifikan dan berada jauh di atas beton additive, pada umur 90 hari umur beton additive memiliki hasil sebesar 1125,63 Ohmm dan 16715,79 Ohmm untuk beton additive yang terendam air asam.



Gambar 12. Pengujian Resistivitas

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

Dari penelitian (Siad et al., 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 additive yang terendam air asam semakin besar jika dibandingkan dengan beton additive 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.

Hasil Pengujian Densitas Beton



Gambar 14. Pengujian Densitas

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

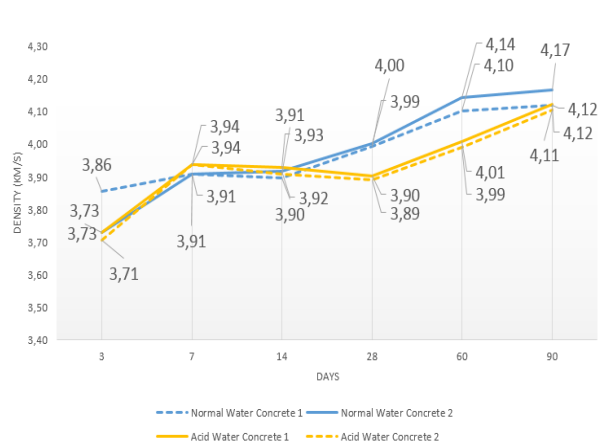
tabel hasil pengujian densitas beton. Sampel pengujian ini menggunakan pengambilan data secara duplo hal ini dikarenakan perbedaan hasil yang terlamapu jauh. Cara ini digunakan untuk mendapatkan nilai yang lebih baik dan akurat. Penaamaan di dalam tabel diartikan dengan N adalah beton yang direndam dengan air normal dan beton A adalah beton yang direndam dengan air asam. Untuk angka setelah huruf N ditujukan untuk hari dan angka terakhir ditujukan untuk nomor sampel.

Tabel 8. Hasil Pengujian Densitas Beton Air Normal

Days	Length of Track (m)	Sample Code	Pulse Speed (km/s)	Average (km/s)	Result
3	0,15	N3-1	3,86	3,75	Good
		N3-2	3,73		
7	0,15	N7-1	3,91	3,91	Good
		N7-2	3,91		
14	0,15	N14-1	3,90	3,96	Good
		N14-2	3,92		
28	0,15	N28-1	3,99	4	Good
		N28-2	4,00		
60	0,15	N60-1	4,10	4,07	Good
		N60-2	4,14		
90	0,15	N90-1	4,12	4,13	Good
		N90-2	4,17		

Tabel 9. Hasil Pengujian Densitas Beton Air Asam

Days	Length of Track (m)	Sample Code	Pulse Speed (km/s)	Average (km/s)	Result
3	0,15	A3-1	3,73	3,71	Good
		A3-2	3,71		
7	0,15	A7-1	3,94	3,92	Good
		A7-2	3,94		
14	0,15	A14-1	3,93	3,95	Good
		A14-2	3,91		
28	0,15	A28-1	3,90	3,92	Good
		A28-2	3,89		
60	0,15	A60-1	4,01	4,05	Good
		A60-2	3,99		
90	0,15	A90-1	4,12	4,1	Good
		A90-2	4,11		



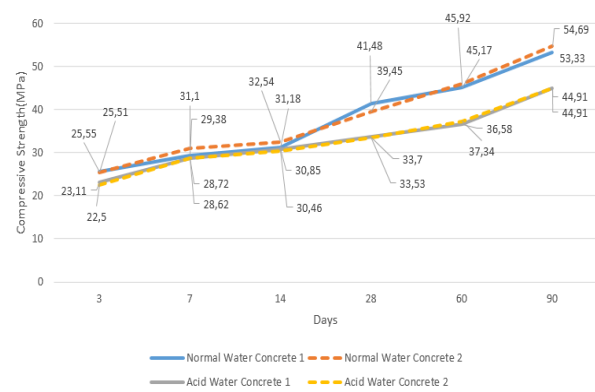
Gambar 14. Grafik Nilai Kepadatan Beton

Terlihat jelas dari grafik 14 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.

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (García-Vera et al., 2018) yang memiliki penurunan nilai densitas dikarenakan adanya kerusakan pada bagian dalam beton dan peningkatan pori - pori . Pada penelitian (Ramezani pour et al., 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 *admixture* bisa menaikkan kualitas nilai densitas sebesar 10%.

Kuat Tekan Statis

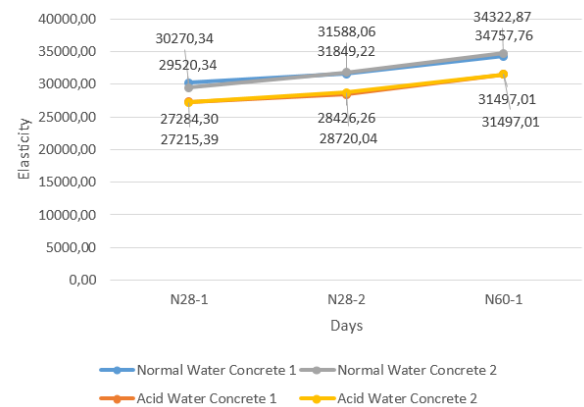
Sampel pengujian ini menggunakan pengambilan data secara duplo hal ini dikarenakan perbedaan hasil yang terlampau jauh. Cara ini digunakan untuk mendapatkan nilai yang lebih baik dan akurat. Umur beton 3, 7, 14, 21, 28, dan 60 hari. Berikut adalah hasil dari pengujian tekan beton. Penamaan di dalam tabel diartikan dengan N adalah beton yang direndam dengan air normal dan beton A adalah beton yang direndam dengan air asam. Untuk angka setelah huruf N ditujukan untuk umur hari dan angka terakhir ditujukan untuk nomor sampel. Sehingga didapatkan hasil kuat tekan aktual dinamis beton ditampilkan pada Gambar 15 berikut.



Gambar 15. Grafik Kuat Tekan Statis Beton

Pada gambar 15 dapat diartikan bahwa penurunan mutu beton yang diakibatkan oleh air asam sebesar $\pm 16\%$. Penurunan mutu ini juga terdapat pada penelitian (García-Vera et al., 2018) yang menyatakan penurunan mencapai 35%. Pada kasus penelitian (Kim et al., 2014) dan (Ghorbani et al., 2018) menyatakan bahwa penurunan mutu beton pada air asam berasal dari kehilangan massa.

Modulus Elastisitas



Gambar 16. Modulus Elastisitas

Gambar 18 di atas menunjukkan 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* normal. Penurunan nilai modulus elastisitas sesuai dengan penelitian dari (Zhou et al., 2018) dan (Hasan et al., 2016) yang menyatakan penurunan nilai modulus elastisitas berkorelasi sangat erat dengan waktu korosi, nilai pH, dan keretakan mikro.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari optimasi *rigid pavement* dengan *admixture* terhadap lingkungan asam dengan bebas statis, sebagai berikut ini.

1. Pada penelitian ini ditemukan adanya karakteristik beton yang unik dikarenakan penurunan kandungan air pada *mix design*. Hal ini dikarenakan penurunan air sebesar 25% dari kandungan *Sikament-NN* yang mengakibatkan menurunnya penggunaan agregat kasar dan naiknya penggunaan agregat halus pada beton. Beton ini memiliki beberapa karakteristik unik yaitu, tekstur beton segar berpasir dan beton ini memiliki *setting time* yang cukup lama karena adanya *retarding* pada *Plastocrete*.
2. Pengaruh larutan asam pada beton *admixture* memiliki kenaikan yang signifikan pada nilai resistivitas. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan pori-pori pada beton.
3. Pengujian *UPVT* pada beton asam *addictive* dan beton normal *addictive* mengalami tren yang positif seiring bertambahnya usia beton. Larutan asam yang digunakan dalam proses *curing* atau perendaman mempengaruhi sedikit kecepatan *pulse* beton asam *addictive*. Hal ini dikarenakan meningkatnya porositas dari beton yang diakibatkan oleh sifat dasar asam yaitu korosif
4. Pengujian tekan statis menunjukkan penurunan beton *addictive* yang direndam dengan air asam sebesar 16% dari beton *addictive* air normal. Hal ini membuktikan bahwa air asam berdampak dengan turunnya mutu beton.

5. Daftar Pustaka

- ACI, 2002, 211: *Standard Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight and Mass Concrete*, American Concrete Institute, United States.
- 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.
- Azarsa, P., & Gupta, R. (2017). Electrical resistivity of concrete for durability evaluation: a review. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017.
- García-Vera, V., Tenza-Abril, A., Lanzón, M., & Saval, J. (2018). Exposing Sustainable Mortars with Nanosilica, Zinc Stearate, and Ethyl Silicate Coating to Sulfuric Acid Attack. *Sustainability*, 10(10), 3769.
- Ghorbani, S., Gholizadeh, M., & de Brito, J. (2018). Effect of magnetized water on the mechanical and durability properties of concrete block pavers. *Materials*, 11(9), 1647.
- Hasan, M., Husin, S., & Nursaniah, C. (2016). Mechanical properties of concrete in compression exposed to sulfuric acid. In *Key Engineering Materials* (Vol. 711, pp. 302-309). Trans Tech Publications.
- Kim, Y. Y., Lee, B. J., Saraswathy, V., & Kwon, S. J. (2014). Strength and durability performance of alkali-activated rice husk ash geopolymer mortar. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Nematzadeh, M., & Fallah-Valukolae, S. (2017). Erosion resistance of high-strength concrete containing forta-ferro fibers against sulfuric acid attack with an optimum design. *Construction and Building Materials*, 154, 675-686.
- Nursandah, A., Hutama, D. A., & Komarudin, A. (2018). Studi Kuat Tekan & Setting Time Beton dengan Variasi Dosis Admixture Tipe D. *AGREGAT*, 3(2).
- Siad, H., Lachemi, M., Sahmaran, M., & Hossain, K. M. A. (2016). Effect of glass powder on sulfuric acid resistance of cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 113, 163-173
- 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.
- Zhou, C., Zhu, Z., Wang, Z., & Qiu, H. (2018). Deterioration of concrete fracture toughness and elastic modulus under simulated acid-sulfate environment. *Construction and Building Materials*, 176, 490-499.

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