

Penggunaan Semen Tipe Portland Pozzolan Cement (Ppc) pada Beton Roller Compacted Concrete (RCC) Terhadap Kuat Tekan Ditinjau dari Durabilitasnya

Umbu Valentino Kanna Ngundju Mbani¹, Dewi Sulistyorini², Detha Sekar Langit Wahyu Gutama³, Alfredo Yogusto Figo Ela⁴, Agung Purwo Saputro⁵.

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa Yogyakarta
Jl. Miliran No.16, Muja Muju, Umbulharjo, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55165.
*Email: kannavalen17@gmail.com

Abstrak

Beton Roller Compacted Concrete (RCC) adalah material konstruksi yang sering digunakan dalam proyek-proyek infrastruktur besar, seperti bendungan, tanggul, jalan raya, dan landasan bandara. Beton ini dikenal dengan metode pengecoran khusus yang melibatkan penggunaan roller compactor, yang menghasilkan struktur beton padat dan kuat dengan biaya yang relatif rendah. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen Portland pozzolanic (PPC), agregat kasar dengan ukuran maksimum 19 mm, agregat halus, perbandingan air, dan bahan tambah mineral berupa superplasticizer sebesar 0,5%. Pembuatan benda uji dilakukan secara mekanis untuk menghasilkan beton sesuai dengan standar yang ditetapkan. Pengujian beton dilakukan menggunakan silinder berukuran 150 x 300 mm sesuai dengan ASTM C1435, di mana benda uji dipadatkan menggunakan vibrator hammer. Benda uji kemudian direndam dalam air yang memiliki kandungan sodium sulfat, dengan kondisi lingkungan yang bebas dari kontaminasi, sebagai simulasi lingkungan. Variabel uji yang diuji adalah kuat tekan pada umur 14 hari dan 28 hari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan sejauh mana penggunaan PPC dapat meningkatkan durabilitas RCC tanpa mengurangi kekuatan tekan, yang merupakan karakteristik utama RCC. Perlakuan rendaman yang diuji meliputi air biasa dan sodium sulfat pada umur 14 hari dan 28 hari. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa beton RCC menggunakan semen PPC memiliki kekuatan tekan tertinggi pada perlakuan rendaman sodium sulfat pada umur 28 hari, yaitu sebesar 43,65 MPa. Sebaliknya, hasil terendah tercatat pada beton yang direndam dalam air biasa pada umur 28 hari, yaitu sebesar 34,35 MPa.

Kata Kunci: Kuat Tekan Rata-rata, PPC, RCC

1 PENDAHULUAN

Beton Roller Compacted Concrete (RCC) merupakan jenis beton yang banyak digunakan dalam aplikasi infrastruktur, seperti jalan raya dan bendungan, karena memiliki kekuatan tinggi dan proses pengerjaan yang cepat (Elisabeth dkk., 2020). RCC, yang juga dikenal dengan sebutan beton padat giling (BPG), merupakan jenis beton dengan tingkat slump nol atau campuran beton dengan rasio air-semen (FAS) rendah (Yulianto & Sholeh, 2022). Meskipun RCC menawarkan keuntungan dalam hal kekuatan dan efisiensi pengerjaan, tantangan utama yang dihadapi dalam penggunaannya adalah memastikan durabilitas beton, terutama ketika beton tersebut digunakan di lingkungan yang rentan terhadap kerusakan akibat perubahan suhu, kelembapan, dan paparan bahan kimia.

Portland Pozzolan Cement (PPC) adalah jenis semen yang mengandung pozzolan, yang diketahui dapat meningkatkan durabilitas beton. PPC membantu mengurangi porositas beton dan meningkatkan ketahanannya terhadap serangan kimia, yang pada akhirnya dapat memperpanjang umur pakai beton tersebut (Dwi Sampurno dkk., 2019). Meskipun banyak penelitian yang membahas pengaruh PPC terhadap beton konvensional, pengaruh PPC terhadap kuat tekan dan durabilitas RCC—sebuah material dengan karakteristik yang berbeda—masih belum banyak diteliti secara mendalam.

Sebagian besar studi yang ada lebih berfokus pada aplikasi PPC dalam beton konvensional, dan kurang mengkaji bagaimana PPC dapat berperan dalam RCC, yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda. Oleh karena itu, penting untuk mengeksplorasi peran PPC dalam meningkatkan durabilitas RCC tanpa mengurangi kekuatan tekan, yang merupakan karakteristik utama RCC. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sejauh mana PPC dapat meningkatkan durabilitas RCC tanpa menurunkan kekuatan tekan, khususnya dalam kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi ketahanan beton tersebut.

2 METODOLOGI

2.1 Material Penelitian

Justifikasi bahan uji memenuhi standar surat edaran PUPR Nomor 07/SEM/2016 Pedoman Tata Cara Penentuan Campuran Beton Normal Dengan Semen OPC, PPC, dan PCC. Semen Tipe PPC (Portland Pozzolana Cement) dipilih karena kandungan pozzolan yang dapat meningkatkan durabilitas beton dengan mengurangi porositas dan permeabilitas. Agregat yang digunakan agregat kasar berasal dari Progo dan Clereng ukuran maksimum 19 mm, agregat halus Progo dan Magelang menggunakan zona 3 spesifikasi persentase ayakan lewat. bahan tambahan kimia super plasticizer 0,5% dari jumlah semen. Air yang digunakan sebagai proporsi campuran bebas dari kontaminan seperti sodium sulfat dan bahan organik.

2.2 Pemeriksaan Material

Material direncanakan dalam pengujian beton RCC diperiksa sesuai kebutuhan mutu beton yang diinginkan mengikuti isyarat SNI 7656-2012. beberapa pemeriksaan material agregat memenuhi standar ASTM C33. Pengujian agregat kasar dan agregat halus meliputi uji gradasi, uji bera jenis, uji kadar lumpur, uji berat satuan dari agregat.

2.3 Perencanaan Campuran

Proporsi campuran material setelah di periksa untuk beton RCC semen PPC memenuhi standar surat edaran PUPR Nomor 07/SEM/2016 Pedoman Tata Cara Penentuan Campuran Beton Normal Dengan Semen OPC, PPC, dan PCC untuk mencapai workability dan kuat tekan yang diinginkan. Justifikasi perencanaan mutu beton dalam perencanaan campuran yang ditentukan sebesar 25 MPa dan menambahkan anggapan deviasi standar sebagai akurasi pengerjaan sebesar 8,3 MPa. Perencanaan proporsi campuran beton RCC untuk 1 silinder dengan penggunaan semen 1,9 kg/m³, Agregat Kasar 5 kg, agregat halus 4,5 kg, air 1,0 kg, dan bahan tambahan super plasticizer 0,009 kg.

2.4 Pembuatan Benda Uji

Justifikasi pembuatan benda uji memenuhi standar ASTM C143, bahan-bahan dicampur secara mekanis untuk memastikan distribusi homogen dari semua komponen dalam campuran. Lapisan dilakukan pemadatan dengan menggunakan batang besi pola gerakan tumbukan sebanyak 25 kali. Pemadatan benda uji di lakukan beton silinder dimensi 150 x 300 mm 3 lapis dengan estimasi waktu pemadatan 20 detik setiap lapisan beton. Spesimen benda uji yang telah mengeras direndam dalam air kondisi lingkungan dengan kandungan sodium sulfat dan bebas kontaminasi sebagai perlakuan dalam simulasi lingkungan memberikan variabel uji kuat tekan selam 14 hari dan 28 hari. Benda uji silinder sebanyak 12 variasi benda uji pada tabel 1.

Tabel 1. Variasi Benda Uji

Kode Benda Uji	Jenis Perendaman	Umur Perendaman
RPPC 0%-B14-1	Air Biasa	14 Hari
RPPC 0%-B14-2	Air Biasa	14 Hari
RPPC 0%-B14-3	Air Biasa	14 Hari
RPPC 0%-B28-1	Air Biasa Air Biasa Air Biasa	28 Hari
RPPC 0%-B28-2	Sodium Sulfat	28 Hari
RPPC 0%-B28-3	Sodium Sulfat Sodium Sulfat	28 Hari
RPPC 0%-S14-1	Sodium Sulfat Sodium Sulfat	14 Hari
RPPC 0%-S14-2		14 Hari
RPPC 0%-S14-3		14 Hari
RPPC 0%-S28-1		28 Hari
RPPC 0%-S28-2		28 Hari
RPPC 0%-S28-3	Sodium Sulfat	28 Hari



Gambar 1. Uji Silinder 150 x 300 mm

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Agregat

Pengujian agregat tabel 2 dan 3 meliputi hasil uji berat jenis, uji kadar lumpur, uji berat satuan, dan uji gradasi. Pengujian memiliki tujuan untuk mengetahui kualitas pada material tersebut agar dapat digunakan sebagai material beton. Berdasarkan hasil uji, kerikil Progo dan kerikil Clereng menunjukkan karakteristik yang berbeda sesuai dengan parameter yang diuji. Berat jenis kerikil Clereng tercatat sebesar 2,125, lebih tinggi dibandingkan kerikil Progo yang hanya 1,445. Hal ini menunjukkan bahwa kerikil Clereng memiliki kepadatan yang lebih baik, sehingga lebih cocok untuk digunakan dalam beton dengan densitas tinggi. Dari segi kadar lumpur, kerikil Clereng juga lebih unggul dengan kadar 0,649%, lebih rendah dibandingkan kerikil Progo yang memiliki kadar lumpur 0,77%. Kedua jenis kerikil ini memenuhi spesifikasi SNI 7656-2012 yang menetapkan batas maksimum kadar lumpur agregat, sehingga keduanya layak digunakan.

Tabel 2. Hasil Uji Agregat Kasar

Jenis Uji	Kerikil Progo	Kerikil Clereng	Spesifikasi
Berat jenis	1,445	2,125	
Kadar lumpur	0,77	0,649	SNI 7656-
Berat satuan	1408	1426,36	2012
Modulus halus	4,5	6,7	

Tabel 3. Hasil Uji Agregat Halus

Jenis Uji	Pasir Progo	Pasir Magelang	Spesifikasi
Berat jenis	2,625	2,444	
Kadar lumpur	1,579	2,676	SNI 7656-
Berat satuan	1605	1674	2012
Modulus halus	1,945	2,252	

Selanjutnya, berat satuan kerikil Clereng sebesar 1426,36 kg/m³ sedikit lebih tinggi dibandingkan kerikil Progo yang memiliki berat satuan 1408 kg/m³, yang mengindikasikan bahwa kerikil Clereng lebih padat. Modulus halus kerikil Clereng yang tercatat sebesar 6,7 juga lebih besar dibandingkan kerikil Progo yang hanya 4,5. Hal ini menunjukkan bahwa kerikil Clereng memiliki distribusi ukuran partikel yang lebih kasar, menjadikannya lebih cocok untuk aplikasi beton massa yang membutuhkan agregat kasar untuk meningkatkan kekuatan. Berdasarkan analisis ini, dapat disimpulkan bahwa kerikil Clereng memiliki karakteristik teknis yang lebih baik dibandingkan kerikil Progo, meskipun keduanya memenuhi spesifikasi SNI 7656-2012 dan dapat digunakan sesuai kebutuhan desain campuran beton. Hasil analisis menunjukkan penggunaan material agregat kasar

dan agregat halus untuk memenuhi beton RCC sesuai dengan persyaratan material beton SNI 7656-2012.

3.2 Mix Design

Proporsi mix design berdasarkan surat edaran PUPR Nomor 07/SEM/2016 tentang Pedoman Tata Cara Penentuan Campuran Beton Normal Dengan Semen OPC, PPC, dan PCC sebagai justifikasi bahan uji. proporsi pencampuran dalam beton RCC dengan penggunaan semen PPC setiap 1 silinder beton pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Mix Design

Material	Jumlah Kebutuhan	Satuan
Semen	1,911	Kg
Agregat Kasar	4,998	Kg
Agregat Halus	4,515	Kg
Air	1,007	kg
Superplasticizer	0,009	kg

Hasil mix design beton RCC untuk setiap 1 silinder menunjukkan bahwa proporsi bahan material pembentukan beton RCC dengan semen PPC sesuai dengan standar PUPR Nomor 07/SEM/2016. Untuk pembuatan campuran beton, kebutuhan material telah dihitung sesuai proporsi yang diperlukan untuk menghasilkan performa optimal. Semen digunakan sebanyak 1,911 kg sebagai bahan pengikat utama dalam campuran. Agregat kasar, yang memberikan kekuatan dan stabilitas struktur beton, diperlukan sebesar 4,998 kg, sedangkan agregat halus, yang membantu mengisi rongga di antara agregat kasar, dibutuhkan sebanyak 4,515 kg. Sebagai bahan pencampur, air digunakan sebanyak 1,007 kg untuk memastikan workability yang sesuai dengan standar. Untuk meningkatkan workability dan mempermudah proses pengecoran tanpa mengurangi kekuatan beton, ditambahkan superplasticizer sebanyak 0,009 kg. Perhitungan kebutuhan material ini dirancang untuk memenuhi kualitas dan spesifikasi beton sesuai standar.

3.3 Uji Kuat Tekan Beton

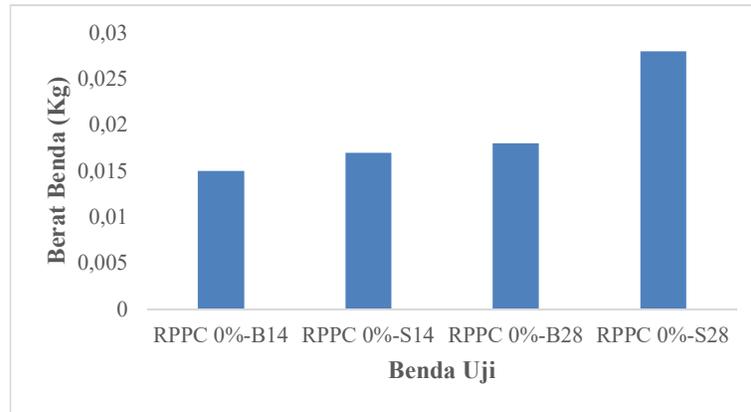
Hasil analisis uji kuat tekan meliputi uji berat rendaman variasi rendaman air kandungan sodium sulfat dan air bebas kontaminasi, uji beban maksimum dan uji kuat tekan pada beton umur 14 hari dan umur 28 hari pada tabel berikut.

Tabel 5: Hasil Uji Berat Rendaman Beton

Kode Benda Uji	Jenis Perendaman	Umur Perendaman	Berat Setelah Direndam (Kg)	Nilai Rata-Rata (Kg)
RPPC 0%-B14-1	Air Biasa	14 Hari	13.12	13.1
RPPC 0%-B14-2	Air Biasa	14 Hari	13.12	13.1
RPPC 0%-B14-3	Air Biasa	14 Hari	13.07	13.1
RPPC 0%-B28-7	Air Biasa	28 Hari	13.2	12.9
RPPC 0%-B28-8	Air Biasa	28 Hari	13.15	12.9
RPPC 0%-B28-9	Air Biasa	28 Hari	13.07	12.9
RPPC 0%-S14-4	Sodium Sulfat	14 Hari	13.14	12.9
RPPC 0%-S14-5	Sodium Sulfat	14 Hari	12.9	12.9
RPPC 0%-S14-6	Sodium Sulfat	14 Hari	12.67	12.9
RPPC 0%-S28-10	Sodium Sulfat	28 Hari	13.25	13.21
RPPC 0%-S28-11	Sodium Sulfat	28 Hari	13.07	13.21
RPPC 0%-S28-12	Sodium Sulfat	28 Hari	13.31	13.21

Spesimen benda uji dengan variabel sodium sulfat dan air bebas kontaminasi menunjukkan rendaman beton umur 14 hari dan 28 hari adalah RPPC-0%-S14-6 memiliki berat 12,67 kg. Hasil

tertinggi dalam variasi rendaman adalah RPPC-0%-S28-12 memiliki berat 13,31 kg. Hasil dari berat rendaman variasi beton rerata tertinggi dan terendah pada gambar 2.

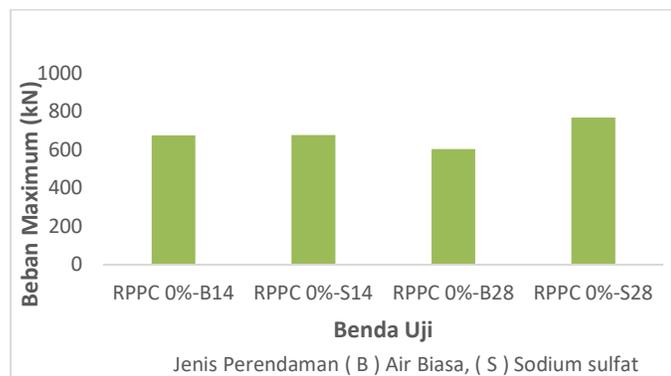


Gambar 2. Nilai Rata-rata Berat Benda Uji

Spesimen benda uji pada gambar 2 berat rendaman benda uji dihasilkan dari simulasi lingkungan menggunakan air dengan kandungan sodium sulfat selama 14 hari (RPPC 0-S14) terdapat penurunan dan benda uji perendaman umur 28 hari mengalami kenaikan berat. Simulasi lingkungan sebagai variabel berat beton berdampak pada kekuatan beton, dimana variasi berat benda uji dihasilkan memiliki nilai rata-rata uji kuat tekan beton tabel 6 melebihi nilai mutu diharapkan.

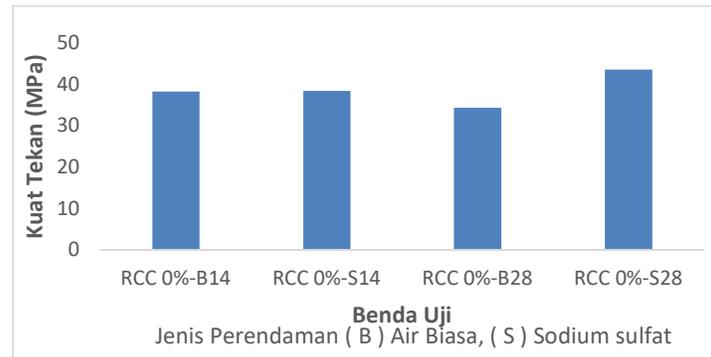
Tabel 6. Hasil Uji Kuat Beban Beton

Kode Benda Uji	Beban Maximum (KN)	Nilai Rata-rata (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Nilai Rata-rata (MPa)
RPPC 0%-B14-1	511.00		28.9	
RPPC 0%-B14-2	755.00	676.33	42.75	38.28
RPPC 0%-B14-3	763.00		43.2	
RPPC 0%-B28-7	387.00		21.91	
RPPC 0%-B28-8	921.00	606.67	52.14	34.35
RPPC 0%-B28-9	512.00		28.99	
RPPC 0%-S14-4	601.00		34.03	
RPPC 0%-S14-5	850.00	678.67	48.12	38.42
RPPC 0%-S14-6	585.00		33.12	
RPPC 0%-S28-10	645.00		36.52	
RPPC 0%-S28-11	918.00	771.00	51.97	43.65
RPPC 0%-S28-12	750.00		42.46	



Gambar 3. Nilai Rata-Rata Beban Maksimum

Tabel 6 dan Gambar 4 Hasil uji kuat tekan dan beban maksimum memiliki hubungan secara signifikan. Benda uji beton variasi rendaman air bebas kontaminasi RPPC 0%-B14 memiliki nilai 676,33 KN dan RPPC 0%-B28 memiliki beban maksimum 606,67 KN. Variasi rendaman air kandungan sodium sulfat RPPC 0%-S14 memiliki nilai beban maksimum 678,67 KN dan RPPC 0%-S28 memiliki beban maksimum tekan 771,00 KN.



Gambar 4. Nilai Rata-rata Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan pada beton gambar 7 variasi RPPC 0%-B14 memiliki nilai kuat tekan rata-rata 38,28 MPa dan RPPC 0%-B28 memiliki kuat tekan 34,35 MPa. Variasi RPPC 0%-S14 memiliki nilai kuat tekan 38,42 MPa, dan pada RPPC 0%-S28 memiliki nilai kuat tekan 43,65 MPa. Rata-rata kuat tekan seluruh benda uji melebihi kuat tekan yang direncanakan sebesar 25 MPa. hasil variasi benda uji beton dalam rendaman air kandungan sodium sulfat memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dari benda uji beton variasi rendaman air bebas kontaminasi.

3.3 Modulus Elastisitas Beton

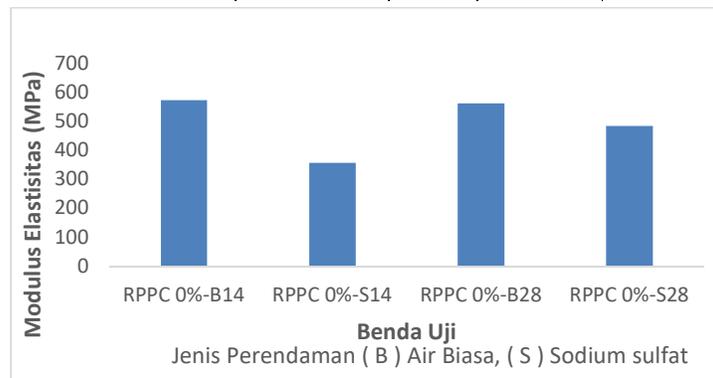
Untuk modulus elastisitas beton semen PPC ditinjau dari rendaman sampel beton. Rendaman yang digunakan berupa rendaman air biasa dengan asam sulfat pada umur 14 hari dan 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian, regangan dan modulus elastisitas benda uji beton RCC menunjukkan variasi yang signifikan tergantung pada waktu dan jenis perendaman. Pada benda uji dengan perendaman air bebas kontaminasi selama 14 hari (RPPC 0%-B14), nilai rata-rata regangan tercatat sebesar 0.0163, yang menunjukkan deformasi yang relatif kecil. Setelah 28 hari (RPPC 0%-B28), regangan rata-rata meningkat menjadi 0.0176, mengindikasikan adanya peningkatan deformasi material seiring waktu perendaman. Sementara itu, pada perendaman air sodium sulfat selama 14 hari (RPPC 0%-S14), nilai rata-rata regangan mencapai 0.0188, yang lebih tinggi dibandingkan perendaman air bebas kontaminasi selama durasi yang sama. Pada 28 hari perendaman sodium sulfat (RPPC 0%-S28), regangan rata-rata meningkat signifikan menjadi 0.0254, yang menunjukkan pengaruh agresif sodium sulfat terhadap deformasi material beton RCC.

Modulus elastisitas (E) benda uji menunjukkan pola yang berbeda. Untuk perendaman air bebas kontaminasi selama 14 hari (RPPC 0%-B14), modulus elastisitas rata-rata mencapai 572.58 MPa, sedikit lebih tinggi dibandingkan perendaman 28 hari (RPPC 0%-B28), yaitu 562.38 MPa. Penurunan modulus elastisitas ini menunjukkan adanya pengurangan kekakuan material seiring waktu perendaman. Pada perendaman sodium sulfat, modulus elastisitas rata-rata selama 14 hari (RPPC 0%-S14) hanya mencapai 357.09 MPa, yang lebih rendah dibandingkan perendaman air bebas kontaminasi. Setelah 28 hari perendaman sodium sulfat (RPPC 0%-S28), modulus elastisitas meningkat menjadi 483.50 MPa, namun tetap lebih rendah dibandingkan perendaman air bebas kontaminasi. Hal ini mengindikasikan bahwa paparan sodium sulfat lebih merusak kekakuan material beton RCC dalam jangka waktu lebih pendek.

Secara keseluruhan, perendaman dalam sodium sulfat cenderung meningkatkan regangan material, terutama pada 28 hari, sementara kekakuan material, yang diukur melalui modulus elastisitas, mengalami penurunan yang cukup signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sodium sulfat memiliki dampak yang merugikan pada sifat mekanis beton RCC, terutama pada kekakuan, meskipun beton tetap mempertahankan fleksibilitas tertentu sebelum mencapai kegagalan.

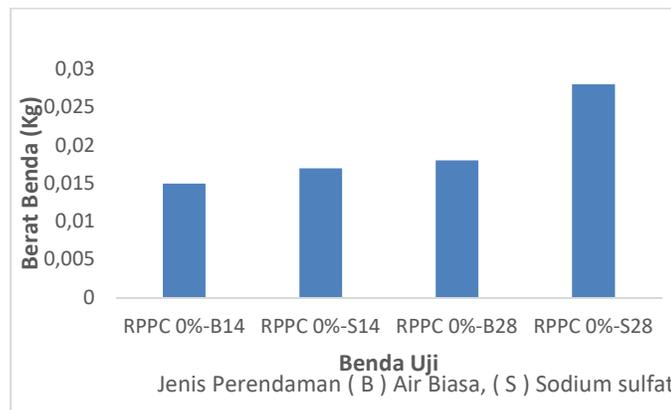
Tabel 7. Hasil Uji Modulus Elastisitas Beton

Kode Benda Uji	Regangan (ϵ)	Nilai Rata-rata	Modulus Elastisitas	Nilai Rata-rata
RPPC 0%-B14-1	0.0176		418.16	
RPPC 0%-B14-2	0.0161	0.0163	771.14	572.58
RPPC 0%-B14-3	0.0152		528.44	
RPPC 0%-B28-7	0.0177		554.75	
RPPC 0%-B28-8	0.0193	0.0176	743.6	562.38
RPPC 0%-B28-9	0.0159		388.8	
RPPC 0%-S14-4	0.0221		315.08	
RPPC 0%-S14-5	0.0141	0.0188	478.93	357.09
RPPC 0%-S14-6	0.0201		277.26	
RPPC 0%-S28-10	0.0227		564.91	
RPPC 0%-S28-11	0.0209	0.0254	514.08	483.50
RPPC 0%-S28-12	0.0327		371.5	



Gambar 5. Nilai Modulus Elastisitas

Pencapaian nilai modulus elastisitas tabel 7 dan gambar 5 untuk variasi benda uji beton RPPC 0%-B14 sebesar 572,58 MPa dan RPPC 0%-B28 mencapai 562,38 MPa. variasi benda uji beton RPPC 0%-S14 sebesar 357,09 MPa, dan variasi beton RPPC 0%-S28 sebesar 483,50 MPa.



Gambar 6. Nilai Rata-rata Uji Regangan.

Hasil regangan benda uji beton Gambar 6 variasi RPPC 0%-B14 memiliki nilai regangan rata-rata 0,0163 dan RPPC 0%-B28 memiliki regangan 0,0176. Benda uji beton variasi RPPC 0%-S14 memiliki nilai regangan 0,0188, dan variasi RPPC 0%-S28 memiliki nilai regangan 0,0254.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a) Spesimen berat benda uji perendaman air kandungan sodium sulfat selama 14 hari (RPPC 0-S14) mengalami penurunan berat mencapai 1,55%, dan perendaman benda uji selama 28 hari mengalami penambahan berat 2,35% secara signifikan dibandingkan benda uji perendaman air bebas kontaminasi.
- b) Uji Beban maksimum dan Uji kuat tekan silinder benda uji beton variasi perendaman air kandungan sodium sulfat 14 hari mengalami kenaikan signifikan 0,34% dan variasi beton rendaman 28 hari sebesar 21,31% dibandingkan dengan yang direndam air bebas kontaminasi. Hasil uji kuat tekan dari semua variasi benda uji melebihi kuat tekan rencana sehingga penggunaan semen PPC dapat digunakan pada beton RCC.
- c) Modulus elastisitas beton RCC variasi sodium sulfat 14 hari dan 28 hari mengalami penurunan sebesar 60,35% dan 16,31%.
- d) Nilai regangan pada beton RCC variasi sodium sulfat mengalami kenaikan 15,34% dan 44,32%.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C33. (2008). Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM C3386. Annual Book of ASTM Standards, 11(1), 11.
- Dwi Sampurno, A., Satyarno, I., & Taufik Mulyono, A. (2019). Pengaruh Serat Baja (Dramix) Terhadap Kuat Lentur Pada Roller Compacted Concrete (RCC). *INERSIA: Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 15(1), 43–53.
- Elisabeth, S., Lukar, C., Pandaleke, R., & Wallah, S. (2020). Pengujian Modulus Elastisitas Pada Beton Dengan Menggunakan Tras Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), 33–38.
- Galih Rio Prayogi, & Indri Rahmandhani Fitriana. (2023). Kuat Tekan Campuran Roller Compacted Concrete (RCC) Dengan Menggunakan Silika Fume dan Super Plasticizer. *Jurnal Rekayasa*, 12(1), 72–78.
- SNI 7656:2012. (2012). Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. Badan Standarisasi Nasional.
- Yulianto, T., & Sholeh, M. (2022). Pengaruh Jumlah Pematatan Terhadap Kuat Tekan RCCP (Roller Compacted Concrete Pavement). *Jurnal Teknik Sipil*, 3, 192–197