

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH *BOTTOM ASH* PLTU KABUPATEN SANGGAU TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS BETON *REACTIVE POWDER CONCRETE (RPC)*

Tandiono Widodo ¹⁾, Gatot Setya Budi ²⁾, Erwin Sutandar ³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak Indonesia

^{2,3)}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak

Email : tandiono.7960@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengetahui pengaruh dari substitusi pasir kuarsa dengan limbah *bottom ash* dalam pembuatan beton RPC terhadap sifat fisis dan sifat mekanis dari campuran beton RPC. Benda uji dibuat dengan menggunakan cetakan silinder berdimensi 15 cm x 30 cm dan ukuran 10 x 20 cm dengan total 60 buah. Bahan campuran dalam beton RPC adalah agregat halus, *bottom ash*, semen, *silica fume*, *superplasticizer*, dan air. Dalam penelitian yang dilakukan ini menggunakan jenis pasir yaitu pasir kuarsa. *Bottom Ash* yang digunakan berasal dari PLTU Sanggau. Semen yang digunakan adalah semen conch. Benda uji dibuat dengan substitusi *bottom ash* sebesar 0%, 15%, 30%, dan 50% dari berat volume pasir. Sifat fisis yang diuji adalah berat volume beton. Sifat mekanis yang diuji adalah kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton. Berat volume beton RPC rata - rata umur 28 hari pada variasi 0%, 15%, 30%, dan 50% adalah 2242,12 kg/m³, 2127,58 kg/m³, 2000,30 kg/m³, dan 1955,76 kg/m³. Kuat tekan beton RPC rata - rata umur 28 hari pada variasi 0%, 15%, 30%, dan 50% adalah 62,450 MPa, 46,540 MPa, 45,180 MPa, dan 40,520 MPa. Kuat tarik belah beton RPC rata – rata umur 28 hari pada variasi 0%, 15%, 30%, dan 50% adalah 13,690 MPa, 10,890 MPa, 10,300 MPa, dan 7,75 MPa. Modulus elastisitas beton RPC rata – rata umur 28 hari pada variasi 0%, 15%, 30%, dan 50% adalah 33873 MPa, 27417,67 MPa, 24361,67 MPa, dan 22658 MPa.

Kata Kunci : Berat Volume, Beton RPC, Bottom Ash, Kuat Tarik Belah, Kuat Tekan, Modulus Elastisitas

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of the use of bottom ash waste on the physical and mechanical properties of the RPC concrete mixture. The specimens were made using cylindrical molds measuring 15 x 30 cm and 10 x 20cm with a total of 60 pieces. The mixed ingredients in RPC concrete are fine aggregate, bottom ash, cement, silica fume, superplasticizer, and water. The sand used is quartz sand. The bottom ash used comes from the Sanggau PLTU. The cement used is conch cement. The specimens were made with bottom ash substitution of 0%, 15%, 30%, and 50% by weight of cement volume. The physical properties tested were the concrete's unit weight. The mechanical properties tested were concrete compressive strength, concrete split tensile strength, and concrete's modulus of elasticity. The average concrete volume weight for concrete aged 28 days for variations of 0%, 15%, 30%, and 50% is 2242,12 kg/ m³, 2127,58 kg/m³, 2000,30 kg/m³, and 1955,76 kg/m³. The average compressive strength of concrete aged 28 days for variations of 0%, 15%, 30%, and 50% is 62,450 MPa, 46,540 MPa, 45,180 MPa, and 40,520 MPa. The average split tensile strength of concrete at 28 days for variations of 0%, 15%, 30%, and 50% is 13,690 MPa, 10,890 MPa, 10,300 MPa, and 7,75 MPa. The average modulus of elasticity for concrete aged 28 days for variations of 0%, 15%, 30%, and 50% is 33873 MPa, 27417,67 MPa, 24361,67 MPa, and 22658,67 MPa.

Keywords : Volume Weight, RPC Concrete, Bottom Ash, Split Tensile Strength, Compressive Strength, Modulus of Elasticity

I. PENDAHULUAN

Beton RPC memanfaatkan material dengan partikel halus yang berguna untuk meminimalisir rongga kosong, sehingga beton yang dihasilkan lebih kuat dan padat, dikarenakan material yang digunakan dalam pembuatan beton RPC yang halus sehingga saling bereaksi satu sama lain. Beton RPC memiliki bobot lebih ringan dibandingkan dengan beton normal karena tidak menggunakan agregat kasar.

Ada beberapa alasan utama yang menjadi dasar pengembangan beton RPC, yaitu :

1. Memperbaiki homogenitas dari campuran beton. Homogenitas campuran beton dapat diperbaiki dengan cara menghilangkan agregat kasar dan menggantinya dengan agregat lain yang bersifat lebih halus dan mudah tercampur.
2. Meningkatkan kerapatan kepadatan kering Maksudnya adalah pengurangan kadar air. Dikarenakan kadar air merupakan faktor utama penentu kemudahan pengerjaan suatu campuran beton, hal ini dapat diatasi dengan

penambahan partikel pengisi seperti *bottom ash*, *silica fume* dan menggunakan *superplasticizer*. Selain itu bisa juga dengan pemberian tekanan pada beton segar yang baru selesai dicetak selama waktu *setting*, dengan tujuan untuk meminimalkan terbentuknya gelembung udara, menghindari adanya air yang terjebak didalam beton.

3. Memperbaiki mikro struktur

Mikrostruktur adalah partikel yang ada dalam campuran agregat suatu beton. Dalam beton RPC, biasanya diberikan campuran *silica fume*. *Silica fume* akan membantu proses terbentuknya CSH (*Calcium Silicate Hydrate*). CSH adalah hasil reaksi dari semen dan air. Zat ini memiliki peran penting dalam perkuatan mutu dalam material berbasis semen.

4. Meningkatkan daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan struktur dalam menghadapi simpangan akibat pasca-elastik yang kuat secara terus menerus tanpa mengalami leleh atau keruntuhan. Hal ini dilakukan dengan menambahkan *steel fiber* atau serat baja.

Batu bara termasuk dalam sumber energi alternatif. Oleh karena itu penggunaannya meningkat pesat. Penggunaan batubara ini menghasilkan limbah abu yang jika tidak ditangani akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Limbah abu ini mengandung gas metana (CH_4) yang sangat reaktif. Abu ini juga berbahaya untuk kesehatan sistem pernafasan dan kulit. Selain metana pembakaran batubara juga menghasilkan sejumlah polutan seperti NO_x dan SO_2 .

Terdapat dua jenis hasil limbah pembakaran batubara yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. Sebaran dari *bottom ash* dan *fly ash* sangat dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Penelitian ini difokuskan tentang pemanfaatan *bottom ash* dari PLTU Sanggau, Kalimantan Barat sebagai bahan untuk material campuran beton *reactive powder concrete* (RPC).

Adapun tujuan pelaksanaan penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui :

1. Pengaruh penggunaan limbah *bottom ash* PLTU Kabupaten Sanggau terhadap sifat fisis dan mekanis beton *reactive powder concrete* (RPC).
2. Persentase *bottom ash* PLTU Kabupaten Sanggau terbaik dalam campuran beton RPC ditinjau dari sifat fisis dan mekanis dari beton RPC yang dihasilkan.

II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

Reactive Powder Concrete (RPC)

Material penyusun RPC adalah sebagai berikut :

1. Semen

Jenis semen yang dipakai dalam penelitian ini adalah semen Portland.

2. Agregat Halus (Pasir)

Pasir kuarsa dipilih dikarenakan memiliki modulus kehalusan yang tinggi. Pasir kuarsa banyak ditemukan di tempat

penambangan emas masyarakat. Salah satunya adalah Kalimantan Barat. Berikut adalah komposisi kadar unsur SiO_2 :

Tabel 1. Komposisi Kimia Pasir Kuarsa di Daerah Mandor. (Sumber : Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas PU dan Penataan Ruang Prov. Kalbar).

Jenis Unsur	Komposisi (%)
SiO_2	87,293

3. Air

Air merupakan campuran dasar pembuatan beton yang sangat penting. Air memiliki peran sebagai reaktor semen, sehingga reaksi pengikatan bisa terjadi. Air juga digunakan untuk perawatan beton (*curing*).

4. Superplasticizer

Superplasticizer adalah bahan campuran beton tambahan yang dicampurkan ke dalam beton segar dengan fungsi untuk meningkatkan nilai slump agar campuran beton lebih mudah dikerjakan (*workability*).

5. Silica Fume

Silica fume adalah bahan campuran yang berfungsi untuk menghasilkan beton berkekuatan tinggi.

6. Bottom Ash

Bottom ash memiliki butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. *Bottom ash* tersusun dari komposisi kimia dengan sebagian besar silika (Si), aluminium (Al), dan besi (Fe) dan sedikit magnesium (Mg), kalsium (Ca), Sulfur (S), natrium (Na), dan unsur-unsur lain.

Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan adalah hasil dari studi literatur dengan menggunakan beberapa sumber untuk memperoleh teori dasar dari penelitian dan mendapatkan perbandingan hasil dari penelitian yang dilakukan terhadap penelitian – penelitian terdahulu. Metode yang dipilih dalam pencetakan beton merupakan metode eksperimental. Dapat dipastikan bahwa penelitian ini dilakukan di laboratorium berstandar nasional Indonesia (SNI).

1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dimulai dari 20 Juli 2022 dan selesai pada 25 Juni 2023. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Pontianak.

2. Populasi dan Sampel

Maksud dari populasi adalah semua jenis objek yang akan diteliti dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini sampel akan dicetak dengan menggunakan benda uji silinder dengan dimensi 15 x 30 cm dan 10 x 20 cm. Total sampel yang dibuat sebanyak 60 sampel.

No	Benda Uji	Uji Tekan			Tarik Belah	Modulus Elastisitas
		Hari Ke-		28	28	28
		7	14			
1	Pasir Kuarsa 100%	3	3	3	3	3
2	Pasir Kuarsa 85% + Bottom Ash 15%	3	3	3	3	3
3	Pasir Kuarsa 70% + Bottom Ash 30%	3	3	3	3	3
4	Pasir Kuarsa 50% + Bottom Ash 50%	3	3	3	3	3
Jumlah		36			12	12
Total					60	

Tabel 1. Jumlah Sampel Benda Uji

3. Peralatan Penelitian

Sebagian besar peralatan didapatkan dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Tanjungpura Pontianak, yaitu :

- Peralatan analisa material seperti gelas ukur, organik plate, wadah, mesin *sieve shaker*, kerucut terpancung, dan piknometer
- Timbangan digital
- Cetakan silinder
- Mesin *mixer* beton
- Sendok semen
- Penggaris / meteran
- Mesin CTM (*Compression Test Machine*)
- Alat uji kuat lentur
- Bantalan uji kuat tarik belah
- Alat kompresometer dan ekstensometer.

4. Analisa Bahan

Kegiatan ini memiliki maksud untuk mendapatkan sifat fisis dari material yang akan dipergunakan dalam penelitian yang bersangkutan, terutama dalam perancangan campuran beton. Analisa bahan dilakukan pada agregat halus. Analisa yang dilakukan berupa :

- Analisa gradasi
- Analisa Berat Volume
- Analisa Zat Organik
- Analisa Kadar Lumpur
- Analisa Kadar Air
- Analisa Berat Jenis dan Penyerapan

5. Pembuatan Benda Uji

Tabel 2. Mix Design Beton RPC

No	Bahan	Jumlah (kg/m ³)			
		V1	V2	V3	V4
		(0%)	(15%)	(30%)	(50%)
1	Bottom Ash	0,00	82,07	164,15	273,58
2	Silica Fume	46,75	46,75	46,75	46,75
3	Semen	935,00	935,00	935,00	935,00
4	Pasir	1135,00	964,92	794,64	567,60
5	Superplasticizer	9,35	9,35	9,35	9,35
6	Air	316,36	316,36	316,36	316,36

Adapun pekerjaan yang dilakukan pada pembuatan benda uji RPC adalah sebagai berikut :

- Penimbangan Material
- Pengadukan Campuran

Pengadukan campuran dilakukan dengan metode manual atau pengerjaan dengan tangan. Pengadukan dimulai dengan urutan pasir kemudian semen kemudian *silica fume* kemudian *bottom ash*, kemudian campuran air yang sudah dicampurkan dengan *superplasticizer* secara bertahap. Campuran diaduk terus menerus sehingga campuran menjadi homogen.

- Pengecoran Campuran

Adukan beton yang telah terpantau merata, dituang kedalam sampel tempat penampungan sementara kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dengan 3 lapisan yang dimana setiap lapisan dipadatkan dengan cara menusuk dan menggetarkan benda uji untuk menghindari udara terperangkap dalam silinder beton.

- Perawatan Beton

Perawatan beton adalah suatu pekerjaan yang bertujuan untuk mempertahankan agar permukaan beton segar menjadi lembab, sejak mulai mengalami pemadatan sampai beton dianggap cukup keras.

6. Pengujian Benda Uji

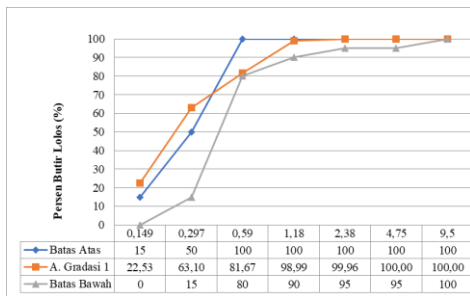
Adapun pengujian yang dilakukan pada benda uji RPC adalah sebagai berikut :

- Berat volume beton
- Kuat tekan beton
- Kuat tarik belah beton
- Modulus elastisitas beton

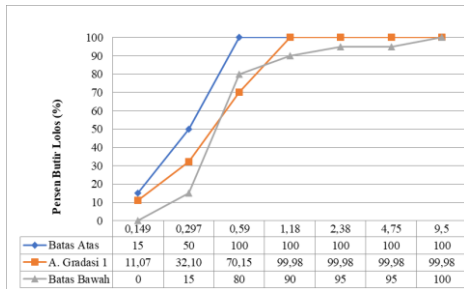
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil pengujian untuk setiap percobaan :

- Hasil Pengujian Gradasi



Gambar 1. Batas Gradasi Pasir Kuarsa Zona 4



Gambar 2. Batas Gradasi *Bottom Ash* Zona 4

2. Hasil Pengujian Berat Volume

Untuk hasil pengujian berat volume pasir kuarsa didapatkan berat volume rata – rata sebesar 1,550 kg/liter. Hasil pengujian berat volume *bottom ash* didapatkan berat volume rata – rata sebesar 0,747 kg/liter.

3. Hasil Pengujian Zat Organik

Berdasarkan hasil pengamatan, pada pasir kuarsa didapatkan kecocokan larutan berupa warna No.2, sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat halus masih memenuhi syarat dan layak untuk digunakan dalam campuran perencanaan beton.



Gambar 3. Kadar Organik Pasir Kuarsa

4. Hasil Pengujian Kadar Lumpur

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa kadar lumpur yang terdapat di dalam pasir kuarsa adalah 0,67%. Sehingga dapat dikatakan bahwa agregat halus yang dipakai masih layak dan memenuhi syarat penggunaan campuran beton.

5. Hasil Pengujian Kadar Air

Hasil dari pengujian kadar air dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Kadar Air Pasir Kuarsa (Sumber : Penulis,2023)

No.	Uraian	A	B
1	Berat Wadah	230,1	225,7
2	Berat benda uji kering + wadah	2134,7	2131,2
3	Berat wadah + benda uji	2230,2	2225,7
4	Berat benda uji (3-1)	2000,1	2000
5	Berat benda uji kering	1904,6	1905,5
6	Kadar air	4,77%	4,73%
7	Rata-rata kadar air	4,75%	

Tabel 4. Kadar Air *Bottom Ash* (Sumber : Penulis,2023)

No.	Uraian	A	B
1	Berat Wadah	383,6	383,6
2	Berat benda uji kering + wadah	2247,7	2247,7
3	Berat wadah + benda uji	2383,7	2383,6
4	Berat benda uji (3-1)	2000,1	2000
5	Berat benda uji kering	1864,2	1864,1
6	Kadar air	6,80%	6,79%
7	Rata-rata kadar air	6,80%	

6. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat dalam **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Tabel 5. Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir Kuarsa (Sumber : Penulis,2023)

No.	Uraian	A	B	Rata-Rata
1	Berat benda uji SSD	500	500	500
2	Berat benda uji kering	496,1	497	496,55
3	Berat piknometer diisi air	653,9	653,9	653,9
4	Berat piknometer + benda uji (SSD) + air	962	959	960,5
5	Berat jenis (bulk)	2,585	2,550	2,568
6	Berat jenis kering permukaan jenuh	2,606	2,565	2,585
7	Berat jenis semu	2,639	2,590	2,614
8	Penyerapan	0,786	0,604	0,695

Tabel 6. Berat Jenis dan Penyerapan Air *Bottom Ash* (Sumber : Penulis,2023)

No.	Uraian	A	B	Rata-Rata
1	Berat benda uji SSD	200	200	200
2	Berat benda uji kering	192,3	192,8	192,55
3	Berat piknometer diisi air	697,8	697,8	697,8
4	Berat piknometer + benda uji (SSD) + air	784,1	777,2	780,65
5	Berat jenis (bulk)	1,691	1,599	1,645
6	Berat jenis kering permukaan jenuh	1,759	1,658	1,709
7	Berat jenis semu	1,814	1,700	1,757
8	Penyerapan	4,004	3,734	3,869

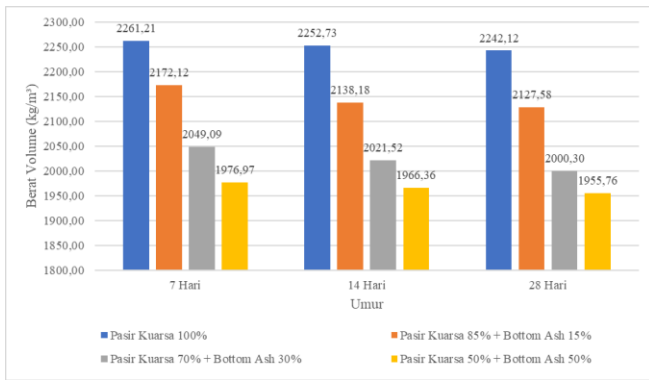
7. Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Berat Volume Rata – rata beton RPC

(Sumber : Penulis,2023)

No	Nama Sampel	Berat Volume (kg/m ³)		
		7 Hari	14 Hari	28 Hari
1	Pasir Kuarsa 100%	2261,21	2252,73	2242,12
	Pasir Kuarsa 85% + Bottom Ash 15%	2172,12	2138,18	2127,58
2	Pasir Kuarsa 70% + Bottom Ash 30%	2049,09	2021,52	2000,30
	Pasir Kuarsa 50% + Bottom Ash 50%	1976,97	1966,36	1955,76



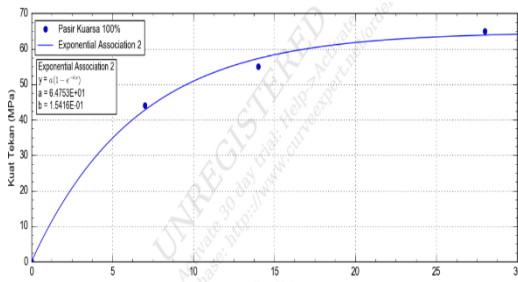
Gambar 4. Berat Volume Beton RPC

8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

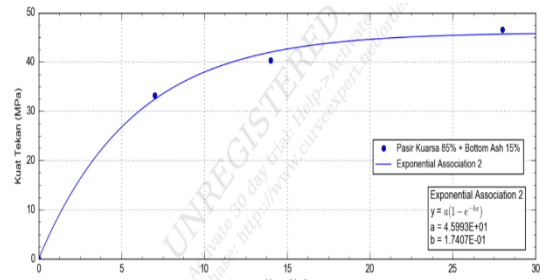
Dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Kuat Tekan Rata – rata beton RPC (Sumber : Penulis,2023)

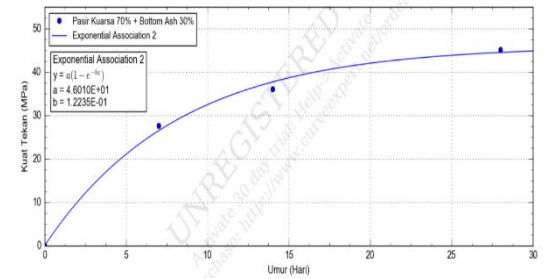
No	Nama Sampel	Kuat Tekan (MPa)		
		7 Hari	14 Hari	28 Hari
1	Pasir Kuarsa 100%	44,12	55,02	62,45
	Pasir Kuarsa 85% + Bottom Ash 15%	33,30	46,28	46,54
2	Pasir Kuarsa 70% + Bottom Ash 30%	27,62	42,25	45,18
	Pasir Kuarsa 50% + Bottom Ash 50%	29,32	39,20	40,52



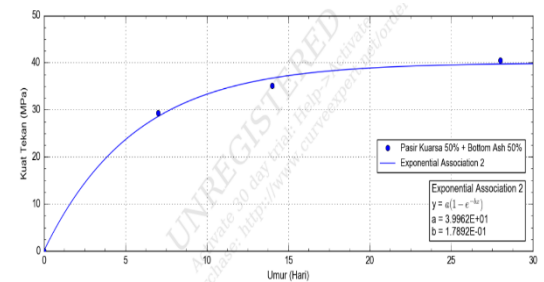
Gambar 5. Kuat Tekan Pasir Kuarsa 100%



Gambar 6. Kuat Tekan Pasir Kuarsa 85% + Bottom Ash 15%



Gambar 7. Kuat Tekan Pasir Kuarsa 70% + Bottom Ash 30%



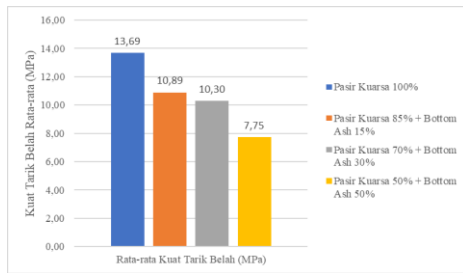
Gambar 8. Kuat Tekan Pasir Kuarsa 50% + Bottom Ash 50%

9. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Kuat Tarik Belah Rata – rata beton RPC (Sumber : Penulis,2023)

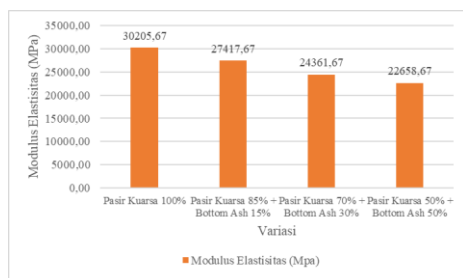
No	Variasi	Kuat Tarik Belah (MPa)
1	Pasir Kuarsa 100%	13,69
2	Pasir Kuarsa 85% + Bottom Ash 15%	10,89
3	Pasir Kuarsa 70% + Bottom Ash 30%	10,30
4	Pasir Kuarsa 50% + Bottom Ash 50%	7,75



Gambar 9. Kuat Tarik Belah Beton RPC 10. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Dapat dilihat pada **Tabel 10.**

Tabel 10. Modulus Elastisitas Rata – rata beton RPC (Sumber : Penulis,2023)

No	Variasi	Ec Rata-rata (MPa)
1	Pasir Kuarsa 100%	33873,00
2	Pasir Kuarsa 85% + Bottom Ash 15%	27417,67
3	Pasir Kuarsa 70% + Bottom Ash 30%	24361,67
4	Pasir Kuarsa 50% + Bottom Ash 50%	22658,67



Gambar 10. Modulus Elastisitas Beton RPC

Dari hasil pengujian, terlihat terjadi penurunan terhadap sifat fisis dan mekanis beton *reactive powder concrete* (RPC) dengan dilakukannya substitusi *bottom ash* terhadap pasir kuarsa. Adapun sifat fisis yang diuji yaitu berat volume beton, sedangkan sifat mekanis yang diuji yaitu kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton. Dapat dilihat bahwa pada berat volume beton RPC didapatkan berat volume beton variasi 1 sebesar 2242,120 kg/m³, variasi 2 sebesar 2127,580 kg/m³, variasi 3 sebesar 2000,300 kg/m³, dan variasi 4 sebesar 1955,760 kg/m³. Penurunan berat volume beton RPC terjadi beriringan dengan bertambahnya substitusi *bottom ash* terhadap pasir kuarsa yang dilakukan pada beton RPC. Hal ini dapat disebabkan perbedaan berat volume yang cukup signifikan antara *bottom ash* dan pasir kuarsa. Pada analisa bahan yang dilakukan didapatkan berat volume pasir kuarsa sebesar 1,550 kg/L sedangkan berat volume *bottom ash* sebesar 0,747 kg/L. Perbedaan berat volume antara *bottom ash*

dan pasir kuarsa ini menyebabkan beton yang menggunakan *bottom ash* akan memiliki berat volume yang lebih ringan dibandingkan beton yang menggunakan pasir kuarsa. Pada kuat tekan beton RPC didapatkan kuat tekan beton RPC variasi 1 sebesar 62,450 MPa, variasi 2 sebesar 46,540 MPa, variasi 3 sebesar 45,180 MPa, dan variasi 4 sebesar 40,520 MPa. Pada kuat tarik belah didapatkan kuat tarik belah beton RPC variasi 1 sebesar 13,690 MPa, variasi 2 sebesar 10,890 MPa, variasi 3 sebesar 10,300 MPa, dan variasi 4 sebesar 7,750 MPa. Pada modulus elastisitas didapatkan modulus elastisitas beton RPC variasi 1 sebesar 30205,67 MPa, variasi 2 sebesar 27417,67 MPa, variasi 3 sebesar 24361,67 MPa, variasi 4 sebesar 22658,67 MPa. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan pada nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton RPC beriringan dengan bertambahnya substitusi *bottom ash* terhadap pasir kuarsa. Hal ini dapat disebabkan oleh penurunan berat volume beton RPC yang menggunakan *bottom ash* jika dibandingkan dengan berat volume beton RPC yang hanya menggunakan pasir kuarsa.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. *Bottom Ash* dari PLTU Sanggau berpengaruh terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Beton RPC.
2. Dari hasil pengujian kuat tekan rata – rata untuk variasi 1 sebesar 62,450 MPa, variasi 2 sebesar 46,540 MPa, variasi 3 sebesar 45,180 MPa, dan variasi 4 sebesar 40,520 MPa.
3. Dari hasil pengujian kuat tarik belah rata – rata untuk variasi 1 sebesar 13,690 MPa, variasi 2 sebesar 10,890 MPa, variasi 3 sebesar 10,300 MPa, dan variasi 4 sebesar 7,750 MPa.
4. Dari hasil pengujian modulus elastisitas rata – rata untuk variasi 1 sebesar 30205,67 MPa, variasi 2 sebesar 27417,67 MPa, variasi 3 sebesar 24361,67 MPa, variasi 4 sebesar 22658,67 MPa.
5. Dari hasil pengujian berat volume beton rata – rata untuk variasi 1 sebesar 2242,120 kg/m³, variasi 2 sebesar 2127,580 kg/m³, variasi 3 sebesar 2000,300 kg/m³, dan variasi 4 sebesar 1955,760 kg/m³.
6. Pada penelitian ini campuran terbaik adalah Variasi 1 dimana tidak ada penambahan *bottom ash* dalam komposisi campuran.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Diperlukan analisis keseluruhan kandungan senyawa pada agregat halus yang digunakan untuk mengetahui pengaruh kandungan unsur senyawa terhadap kuat tekan beton RPC.
2. Dapat dilakukan perlakuan terhadap *bottom ash* yang digunakan dikarenakan *bottom ash* yang diambil belum tentu dalam kondisi yang baik untuk dapat digunakan dalam pembuatan beton RPC.

REFERENSI

- SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 7656:2012. Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 03-2834-2002. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 03-2491-2002. Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 03-2834-2002. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- ASTM C33-03. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International.
- Budi, Gatot Setya, dkk. 2021. Pengaruh Penggunaan Jenis Pasir Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Beton *Reactive Powder Concrete*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- Sutandar, Erwin, dkk. 2021. *The Influence of the Use of Cement Brands on the Physical and Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete (RPC)*. Pontianak: Tanjungpura University.
- Bandukwala, Mohammed, dkk. 2016. *Study of Reactive Powder Concrete and its Characteristics*. International Journal of Science Technology & Engineering.
- Roux, N, dkk. 1996. *Experimental Study of Durability of Reactive Powder Concretes*. Journal of Materials in Civil Engineering.