

STUDI KUAT TEKAN BETON RINGAN STRUKTURAL DENGAN PEMANFAATAN ABU AMPAS TEBU, PASIR BATU APUNG DAN ABU BATU

Yanuar Setya Yudhatama^{1, *)}, Dian Arumningsih DP¹, Kusdiman Joko Priyanto¹

¹Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta

^{*)}Email: dian.arumningsih@lecture.utp.ac.id

ABSTRACT

In this modern era, the development of civil engineering has progressed very rapidly and intensively the development of existing infrastructure in Indonesia. As construction work increases, the need for concrete continues to increase, research in the field of concrete continues to be carried out. Therefore, concrete innovation is required to answer challenges, is environmentally friendly and low weight. Along with the limitations of lightweight concrete properties, therefore this study used bagasse ash, pumice sand and rock ash. The method used is experimental. This study made 2 variations of mix design using pumice levels of 50% and 60% as many as 8 pieces per variation with a test age of 7, 14, 21, and 28 days. The optimum yield that can be obtained from bagasse ash and rock ash is 10% of the total cementitious and 20% of the volume of fine aggregate. The compressive strength produced by the BR-50% mix design variation aged 7, 14, 21 and 28 days is 30.25 MPa, 27.71 MPa, 33.44 MPa and 36.31 MPa aged 28 days. While the compressive strength produced by the BR-60% mix design variation is 31.21 MPa, 29.62 MPa, 35.67 MPa, and 38.22. The cost needed to make a variation of BR-60% is Rp. 784,573 while the cost of conventional concrete is Rp. 835,363 so that the difference between the price of conventional concrete and innovative concrete is Rp. 49,991.

Keywords: Infrastructure Development, Optimal Levels, Bagasse Ash, Pumice Sand, Stone Ash

ABSTRAK

Pada era modern ini, perkembangan teknik sipil mengalami kemajuan sangat pesat dan gencarnya pembangunan infrastruktur yang ada di Indonesia. Seiring meningkatnya pekerjaan konstruksi kebutuhan akan beton terus meningkat, penelitian di bidang beton terus dilakukan. Oleh karena itu, inovasi beton dituntut guna menjawab tantangan, bersifat ramah lingkungan dan berat yang rendah. Seiring dengan keterbatasan sifat beton ringan, maka dari itu penelitian ini menggunakan abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu. Metode yang digunakan adalah eksperimental. Penelitian ini dibuat 2 variasi mix design penggunaan batu apung kadar 50% dan 60% sebanyak 8 buah per variasi dengan umur pengujian 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil kadar optimum yang dapat didapatkan abu ampas tebu dan abu batu adalah 10% dari total cementitious dan 20% dari volume agregat halus. Kuat tekan yang dihasilkan variasi mix design BR-50% umur 7, 14, 21 dan 28 hari adalah 30,25 MPa, 27,71 MPa, 33,44 MPa dan 36,31 MPa umur 28 hari. Sedangkan kuat tekan yang dihasilkan variasi mix design BR-60% adalah 31,21 MPa, 29,62 MPa, 35,67 MPa, dan 38,22. Biaya yang dibutuhkan untuk membuat variasi BR-60% sebanyak Rp. 784.573 sedangkan biaya beton konvensional sebanyak Rp. 835.363 sehingga selisih antara harga beton konvensional dengan beton inovasi sebanyak Rp. 49.991.

Kata Kunci: Pembangunan Infrastruktur, Kadar Optimal, Abu Ampas Tebu, Pasir Batu Apung, Abu Batu

1. PENDAHULUAN

Pada era modern ini, perkembangan dunia teknik sipil mengalami kemajuan yang sangat pesat dan gencarnya pembangunan infrastruktur di tanah air. Pembangunan infrastruktur yang memberikan dampak positif terhadap pengembangan ekonomi masyarakat menjadi prioritas pemerintah. Seiring dengan meningkatnya pekerjaan konstruksi kebutuhan akan beton yang terus meningkat, penelitian di bidang teknologi beton terus dilakukan. Khususnya untuk menyelesaikan berbagai macam kelemahan yang dimiliki oleh beton, salah satu kelemahan beton yaitu memiliki berat jenis yang tinggi. Oleh karena itu, inovasi teknologi beton selalu dituntut guna menjawab tantangan akan kebutuhan, diantaranya bersifat ramah lingkungan dan memiliki berat jenis yang rendah (beton ringan). Tantangan produksi beton ringan adalah mendapatkan komposisi yang tepat dimana beton rendah namun kuat tekan beton tinggi dan nilai modulus elastisitas (yang berpengaruh pada kekakuan material) memenuhi syarat minimum sebagai material struktur. Beton ringan adalah beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1840 kg/m³ (SNI 2847:2019). Beton ringan mempunyai keunggulan dalam beratnya yang jauh lebih ringan dibandingkan dengan beton normal. Tetapi karena mempunyai berat yang lebih ringan maka kuat tekan beton ringan lebih kecil daripada beton normal. Semen menjadi salah satu material yang berperan penting dalam proses pembuatan beton ringan, dengan meningkatnya penggunaan semen sebagai bahan perekat dalam dunia konstruksi akan berbanding lurus dengan meningkatnya polutan emisi gas CO₂. Mempertimbangkan bahwa 8-10% dari total emisi CO₂ dunia berasal dari pembuatan semen (Suhendro, 2014, hal. 306). Untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan inovasi material substitusi semen, umumnya adalah material *pozzolan* yaitu abu ampas tebu yang dapat digunakan sebagai *cementitious*. Material abu ampas tebu berasal dari pembakaran ampas tebu yang memiliki kandungan silika hingga 81% yang baik sebagai material substitusi semen. Hal ini didukung dengan pertumbuhan produksi gula tebu yang meningkat 13,5% dari tahun 2020 (Badan Pusat Statistik, 2021). Selain material semen, pasir merupakan salah satu material penyusun beton, penggunaan jumlah pasir yang meningkat menyebabkan tingginya angka industri dan

pertambangan ilegal menyebabkan kerusakan pada lingkungan. Untuk mengurangi berat beton maka digunakan pasir batu apung sebagai pengganti pasir, sedangkan material abu batu juga memiliki pH yang cenderung rendah yang menghambat proses pertumbuhan tumbuhan. Batu apung adalah salah satu jenis material yang berasal dari muntahan lahar panas gunung berapi. Kemudian dilanjutkan proses pendinginan secara alami dan terendapkan di dalam lapisan tanah selama bertahun-tahun (Darwis, dkk. 2019). Perusahaan industri batu belah banyak dibutuhkan dalam konstruksi, dari proses produksi batu belah dengan berbagai varian ukuran akan menghasilkan limbah yang disebut limbah abu batu. Dari masalah tersebut limbah abu batu diangkat dalam penelitian ini untuk memberikan inovasi sebagai bahan tambah material konstruksi yang baik, berupa penggunaan material limbah yang bertujuan untuk mengurangi porositas pada campuran beton karena limbah abu batu memiliki partikel yang sangat halus. Pengaplikasian beton ramah lingkungan dan inovatif pada dunia konstruksi tentu akan memberikan manfaat dan dampak positif terhadap lingkungan dengan pengurangan emisi gas CO₂. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh penggunaan abu ampas tebu, batu apung dan abu batu secara langsung sebagai alternatif bahan-bahan pengganti dalam campuran beton.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh abu ampas tebu sebagai substitusi semen serta pasir batu apung dan abu batu sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tekan beton ringan struktural?
2. Berapa kadar optimum yang digunakan pada inovasi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu yang optimal untuk mencapai berat jenis dan kuat tekan yang paling baik?
3. Berapa biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan beton ringan struktural yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan inovasi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu?
4. Berapa berat jenis beton ringan dengan inovasi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu?
5. Bagaimana manfaat dari inovasi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu yang diperoleh dalam aplikasi beton ringan struktural?

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh abu ampas tebu sebagai substitusi semen serta pasir batu apung dan abu batu sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tekan beton ringan struktural.
2. Untuk mengetahui kadar optimum yang digunakan pada inovasi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu yang optimal untuk mencapai berat jenis dan kuat tekan yang paling baik.
3. Untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan beton ringan struktural yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan inovasi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu.
4. Untuk mengetahui berat jenis beton ringan dengan inovasi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu.
5. Untuk mengetahui manfaat dari inovasi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu yang diperoleh dalam aplikasi beton ringan struktural.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi tentang beton ringan struktural menggunakan bahan tambah abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu.
2. Mengurangi dan memanfaatkan jumlah limbah abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu.
3. Mengurangi penggunaan semen dalam pembuatan beton dengan memanfaatkan limbah abu ampas tebu.
4. Membuat beton ringan dengan uji kuat tekan yang tinggi namun memiliki berat isi yang rendah sesuai dengan SNI 2847:2019.

Beton

Beton yakni sebuah campuran yang telah diformulasikan berdasarkan berat dari unsur-unsur penyusunnya seperti agregat halus, agregat kasar, semen, air dan berbagai bahan tambahan yang setelah mengeras akan membentuk massa yang padat (SNI 2847:2019).

Jenis-jenis Beton

Klarifikasi berkenaan dengan beton terdiri atas berbagai jenis, diantaranya yakni didasarkan atas volume, material pembentuk, dan fungsinya. Berdasarkan atas berat Volume beton diklasifikasikan berikut ini:

1. Beton Ringan

Berat jenisnya tidak lebih dari 1840 kg/m³, dipergunakan untuk elemen yang bukan struktural, pembuatannya dilakukan dengan pencampuran semen dan agregat ringan yang berasal dari tanah liat, batu apung yang dikombinasikan dengan pasir. berat agregat ringan tidak lebih dari 1.040 kg/m³ (SNI 2847:2019).

2. Beton Normal

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi ($2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$) menggunakan agregat alam yang dipecah. perencanaan campuran beton normal harus didasarkan pada data sifat-sifat bahan yang akan dipergunakan dalam produksi beton. Susunan campuran beton yang diperoleh dari perencanaan harus dibuktikan melalui uji coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan beton yang disyaratkan.

3. Beton Berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat isi lebih besar dari pada beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Beton jenis ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi, menahan benturan dan lainnya.

Beton Ringan Struktural

Beton ringan struktural adalah beton yang memiliki agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat kasar dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1840 kg/m^3 dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural (SNI 2847:2019). Menurut Miswar, K: 26 (2020) cara mengurangi berat jenis beton adalah:

1. Membuat gelembung udara dalam adukan beton.
2. Menggunakan agregat ringan.
3. Membuat beton tanpa pasir yang disebut beton non pasir.

Bahan Penyusun Beton

1. *Portland cement*

Semen ini diambil dari bahasa Inggris yang memiliki makna batu kapur atau adukan. Semen telah ada bahwa lebih dari 2000 tahun di Italia. Semen merupakan bahan dalam penyusunan beton dengan sifat kohesif dan adhesif dengan fungsi utama yakni sebagai pengikat adonan beton. Sedangkan semen *portland* merupakan semen hidrolis untuk memperhalus *klinker* khususnya silikat kalsium yang memiliki sikap hidrolis. Terdapat dua macam semen yakni hidrolis dan non hidrolis yang mana semen hidrolis merupakan semen yang mengalami reaksi pengerasan jika bereaksi dengan air selain itu semen ini juga memiliki ketahanan terhadap air serta lebih stabil. Sedangkan Non Hidrolis ialah semen yang dapat mengalami perkerasan akan tetapi tidak stabil. Semen *portland* adalah jenis semen yang sering digunakan dalam produksi beton.

2. Agregat

Kandungan agregat dalam campuran beton berkisar 60%-70% dari berat campuran beton. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau buatan. Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu, agregat kasar dan agregat halus. Menurut standart ASTM agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirannya lebih besar dari 4.75 mm sedangkan agregat halus adalah agregat yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4.75 mm. Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat dalam campuran beton memiliki sifat-sifat yang sangat berpengaruh terhadap mutu campuran beton. Agregat yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat dan ketentuan yang diberikan oleh ASTM C33-82 "*Standard Specification for Concrete Aggregates*".

3. Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan kurang lebih 25% dari berat semen.

4. Bahan tambah

Bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Berdasarkan ACI (*American Concrete Institute*), bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar. Penggunaan bahan tambah harus memperhatikan standar yang berlaku seperti SNI (Standar Nasional Indonesia), ASTM (*American Society for Testing and Materials*) atau ACI (*American Concrete Institute*) dan yang paling utama memperhatikan petunjuk produk yang digunakan.

a. *Superplasticizer*

Menurut ASTM C494 dan British Standard 5075, *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif. Penambahan *superplasticizer* diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh adukan dengan kekentalan lebih encer dengan faktor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi. *Superplasticizer* tipe F (*high range water reducer*) merupakan bahan kimia yang berfungsi mengurangi air sampai 12% atau bahkan lebih.

b. Abu ampas tebu

Abu ampas tebu merupakan hasil perubahan kimiawi dari pembakaran ampas tebu menjadi abu. Abu ampas tebu ini terdiri atas garam-garam anorganik dan kaya akan silika (SiO_2). (Mirna, 2017). Abu ampas tebu adalah residu yang dihasilkan dalam pembakaran ampas tebu. ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan boiler dengan suhu mencapai 600°C dan lama pembakaran hingga 24 jam. Abu ampas tebu merupakan material yang sangat berpotensi untuk menggantikan ampas tebu merupakan material yang sangat berpotensi untuk menggantikan 80,7% yang menunjukkan bahwa material *bagasse ash* dapat dikategorikan sebagai material *pozzolan* semen (SNI 2460:2014 : 13).

c. Pasir batu apung

Batu apung adalah batuan berwarna terang, banyak mengandung buih yang terbuat dari gelembung berinding gelas, dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batu apung paling banyak digunakan sebagai agregat beton ringan dan sebagai bahan abrasif pada berbagai produk industri. Batu apung memiliki porositas tinggi sehingga batu tersebut bisa mengapung di atas air. Kandungan komposisi kimia yang terdapat dalam batu apung adalah sebagai berikut: SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O dan Fe_2O_3 , sedangkan senyawa lainnya relatif kecil (<2%). Batu apung dapat digunakan sebagai bahan pembuatan beton ringan, karena mempunyai porositas tinggi, densitas rendah, isothermal tinggi, dan tahan terhadap guncangan gempa (Limbong, 2014).

d. Abu batu

Abu batu saat ini merupakan bahan hasil sampingan dalam industri pemecahan batu (*stone crusher*) yang jumlahnya tidak sedikit. Saat ini abu batu tidak begitu laku untuk dijual karena pemakaian dalam industri konstruksi sudah sangat sedikit, mengingat penggunaan pasir sebagai agregat halus masih digunakan untuk campuran beton. Penggunaan abu batu sebagai substitusi pasir berperan dalam membantu mengurangi *segregasi* dan *bleeding* serta dapat mengisi rongga-rongga udara ketika terjadi pengikatan. (Nanda Fathur, dkk, 2014).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini disusun agar tujuan yang diinginkan dalam suatu penelitian dapat tercapai dengan baik. Metode penelitian berisikan langkah-langkah penelitian suatu masalah, kasus, gejala atau fenomena dengan jalan ilmiah menghasilkan jawaban yang dapat dipertanggung jawabkan. Metode ini dapat dilaksanakan di dalam ataupun di luar laboratorium. Dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yang dilaksanakan di dalam laboratorium maupun diluar laboratorium. Uji eksperimental yang dilakukan dalam penelitian ini adalah beton ringan struktural dengan menggunakan komposisi abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu sebagai bahan campuran yang mana nantinya akan diuji kuat tekan dan juga uji beratnya. Sementara beton diuji dengan usia 7, 14, 21 dan 28 hari. Parameter yang harus diperhatikan dalam penelitian ini adalah, nilai kuat tekan yang harus lebih dari 17,24 Mpa dan berat jenis kurang dari 1840 kg/m^3 .

Pengumpulan data

Langkah-langkah yang dilakukan dalam tahap persiapan dengan cara studi literatur dan identifikasi masalah. Studi literatur berisi serangkaian kegiatan pencarian dan pengkajian sumber-sumber yang relevan dan terpercaya dalam pengumpulan materi acuan dalam penelitian ini. Literatur yang digunakan terdapat pada buku dan jurnal ilmiah tentang beton dengan abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu. Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang diuji di laboratorium. Untuk beberapa hal pada pengujian bahan, digunakan data sekunder yang dikarenakan penggunaan bahan dan sumber yang sama.

Bahan uji

Bahan-bahan yang digunakan sebagai campuran beton antara lain:

1. *Portland Composite Cement* merek Tiga Roda
2. Agregat halus pasir alami lolos ayakan 4,75 mm
3. Agregat kasar kerikil berukuran maksimal 19 mm
4. Air PDAM
5. *Superplasticizer Sika Viscocrete 1003*
6. Abu ampas tebu lolos ayakan 0,075 mm (No. 200)
7. Pasir batu apung lolos ayakan 4,75 mm
8. Abu batu lolos ayakan 0,075 mm (No. 200)

Benda uji

Benda uji pada penelitian ini dibuat dengan cetakan berbentuk silinder berdiameter 10cm dan tinggi 20cm untuk menentukan kadar optimum masing-masing inovasi yang digunakan terhadap berat dan kuat tekan beton. Pada penelitian ini menggunakan variasi abu ampas tebu antara 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari total berat semen. Variasi abu batu antara 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari total berat agregat halus. Kemudian ditentukan kadar optimal abu ampas tebu dan abu batu yang digunakan. Selain itu, variasi pasir batu apung digunakan 50% dan 60% dari total berat agregat halus. Pada penelitian ini rasio perbandingan antara agregat halus dan agregat kasar yang digunakan sebesar 85% : 15% serta menggunakan admixture sebesar 0,6% dari berat total semen.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir merapi yang berasal dari daerah kali progo, Yogyakarta. Berikut adalah hasil pengujian pasir sebagai agregat halus.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan pasir

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	1,6 %	Maks. 5%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2,51	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
3	<i>Bulk Spesific Gravity SSD</i>	2,55	2,5 – 2,7	SNI 1970:2008	Memenuhi
4	<i>Appearent Spesific Gravity</i>	2,61	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
5	<i>Absorbtion</i>	1,62 %	2 %	SNI 1970:2008	Memenuhi
6	Modulus Halus Butir	2,83	2,3 – 3,1	SNI ASTM C136-06:2012	Memenuhi
7	Ukuran Maksimum Agregat	4,75			Memenuhi

Hasil pengujian abu batu

Abu batu yang digunakan berasal dari stone crusher yaitu PT. Prima Stone, Kabupaten Sragen. Berikut adalah hasil pengujian abu batu sebagai agregat halus.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan abu batu

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	1,2 %	Maks. 5%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2,46	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
3	<i>Bulk Spesific Gravity SSD</i>	2,50	2,5 – 2,7	SNI 1970:2008	Memenuhi
4	<i>Appearent Spesific Gravity</i>	2,56	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
5	<i>Absorbtion</i>	1,62 %	2 %	SNI 1970:2008	Memenuhi

Hasil pengujian pasir batu apung

Pasir batu apung (*pumice*) yang berasal dari toko batu alam daerah Surakarta. Berikut adalah hasil pengujian pasir batu apung sebagai agregat halus ringan.

Tabel 3. Hasil pemeriksaan pasir batu apung

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	0,4 %	Maks. 5%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	0,92	-	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
3	<i>Bulk Spesific Gravity SSD</i>	1,05	1,0 – 1,8	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
4	<i>Appearent Spesific Gravity</i>	1,06	-	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
5	<i>Absorbtion</i>	13,63 %	20 %	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
6	Modulus Halus Butir	2,86	2,3 – 3,1	SNI ASTM C136-06:2012	Memenuhi
7	Ukuran Maksimum Agregat	4,75			Memenuhi

Hasil pengujian batu pecah

Kerikil atau batu pecah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari kali progo, Yogyakarta. Berikut adalah hasil pengujian batu pecah sebagai agregat kasar.

Tabel 4. Hasil pemeriksaan batu pecah

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	0,9 %	Maks. 1%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2,47	-	SNI 1969:2008	Memenuhi
3	<i>Bulk Spesific Gravity SSD</i>	2,52	2,5 – 2,7	SNI 1969:2008	Memenuhi
4	<i>Appearent Spesific Gravity</i>	2,60	-	SNI 1969:2008	Memenuhi
5	<i>Absorbtion</i>	2,04 %	-	SNI 1969:2008	Memenuhi
6	Modulus Halus Butir	6,73	6,0 – 7,1	SNI ASTM C136-06:2012	Memenuhi
7	Ukuran Maksimum Agregat	19 mm	<25 mm		Memenuhi
8	Abrasi	21,18%	≤50%	SNI 2417:2008	Memenuhi

Hasil perhitungan campuran beton

Rencana campuran beton ringan menggunakan rencana *mix design* sesuai SNI 7656-2012 tentang tata cara pemilihan campuran untuk beton normal dengan kekuatan rencana 25 MPa pada umur 28 hari sesuai syarat beton ringan struktural yaitu >17,24 MPa. Perancangan campuran adukan beton yang bertujuan untuk memperoleh kualitas beton ringan yang memenuhi syarat. Pada penelitian ini perbedaan *mix design* terletak pada komposisi penggunaan pasir batu apung yaitu 50% dan 60%. Tabel berikut menunjukkan data dari bahan campuran beton yang dibuat.

Tabel 5. Perhitungan campuran beton (*mix design*)

Material	Komposisi	
	50%	60%
Semen	355 kg	355 kg
Abu Ampas Tebu	39,4 kg	39,4 kg
Pasir	429 kg	286 kg
Pasir Batu Apung	295 kg	354 kg
Abu Batu	281 kg	281 kg
Split	205 kg	205 kg
<i>Sika Visconcrete 1003</i>	1,57 lt	1,57 lt
Air	205 lt	205 lt

Hasil pemeriksaan uji *slump*

Dari pembuatan campuran adukan beton akan diperoleh nilai *slump* yang diperlukan untuk mengetahui tingkat workabilitas campuran beton. Workabilitas yang memadai sangat diperlukan untuk memudahkan proses pengadukan, pengangkutan, penuangan dan pemadatan sehingga mudah dikerjakan.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan *slump*

Sampel	<i>Slump</i> (mm)		Rata-rata (mm)
	Tertinggi	Terendah	
Beton ringan 50% pasir batu apung (BR-50%)	100	85	85
Beton ringan 60% pasir batu apung (BR-60%)	95	75	92,5

Hasil pengujian berat beton

Dari hasil pengujian berat jenis beton dengan benda uji silinder Ø 10 cm x 20 cm pada umur 28 hari, masing-masing percobaan dibuat sebanyak 8 sampel beton dengan perbandingan 20% agregat kasar dan 80% agregat halus untuk mendapat berat jenis ringan dan kuat tekan tinggi yang memenuhi syarat sebagai beton ringan struktural.

Tabel 7. Hasil pengujian berat beton

Sampel	Berat Jenis (kg/m ³)
Beton ringan 50% pasir batu apung (BR-50%)	1811
Beton ringan 60% pasir batu apung (BR-60%)	1726

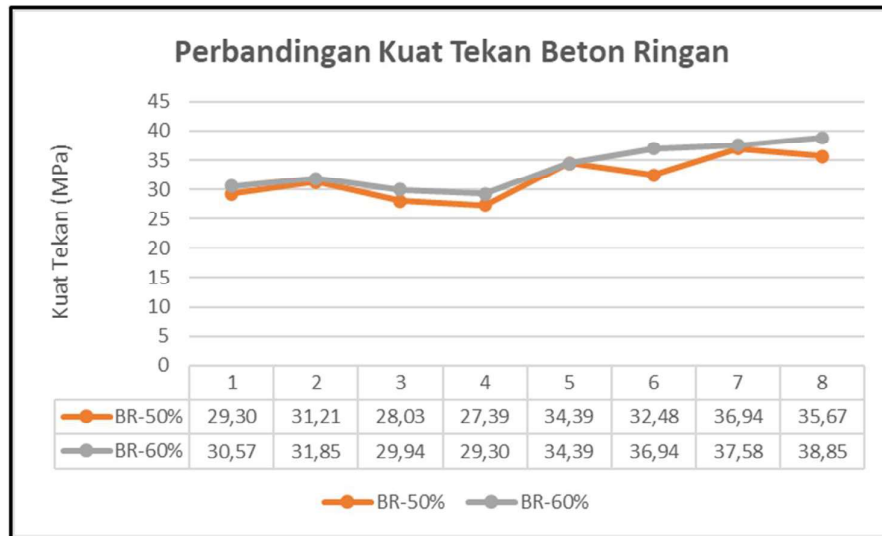
Hasil pengujian kuat tekan

Pelaksanaan pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974:2011. Pengujian beton menggunakan bentuk silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm, pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melakukan perbandingan nilai kuat tekan yang menggunakan 2 *mix design* yang berbeda. Pengujian ini menggunakan *Compression Testing Machine*. Data hasil pengujian kuat tekan beton sebagai berikut:

Tabel 8. Rekapitulasi hasil pengujian beton

Sampel	Umur (hari)	Kuat Tekan BR-50% (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan BR-60% (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
1	7	29,30	30,25	30,57	31,21
2		31,21		31,85	
3		28,03		29,94	
4	14	27,39	27,71	29,30	29,62
5		34,39		34,39	
6	21	32,48	33,44	36,94	35,67
7		36,94		37,58	
8	28	35,67	36,31	38,85	38,22

Dari tabel rekapitulasi pengujian beton diatas kemudian dibuat grafik untuk mengetahui peningkatan kuat tekan dari kedua variasi campuran yang diuji pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Grafik dapat dilihat sebagai berikut.



Sumber : Hasil Penelitian, 2023

Gambar 1. Grafik perbandingan kuat tekan beton

Dari hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan beton dapat disimpulkan rata-rata hasil pengujian variasi BR-50% adalah 30,25 Mpa umur 7 hari, 27,71 MPa umur 14 hari, 33,44 umur 21 hari, 36,31 MPa umur 28 hari. Sedangkan rata-rata hasil pengujian variasi 60% adalah 31,21 MPa umur 7 hari, 29,62 MPa umur 14 hari, 35,67 umur 21 hari, dan 38,22 umur 28 hari. Jadi dapat disimpulkan bahwa kuat tekan tertinggi diperoleh pada campuran beton dengan variasi 60% pasir batu apung sebagai agregat halus.

Analisa harga bahan beton ringan inovasi

Anggaran biaya pembuatan beton ringan struktural dengan inovasi abu ampas tebu sebagai substitusi semen, pasir batu apung dan abu batu sebagai pengganti agregat halus berdasarkan HSPK kota Surakarta tahun 2022.

Tabel 9. Analisa Harga Satuan Kota Surakarta Tahun 2022

Bahan	Harga Satuan
Portland semen	Rp. 1200
Pasir	Rp. 178,57
Kerikil	Rp. 196,30
Air	Rp. 82,50

Berdasarkan data dari HSPK kota Surakarta tahun 2022 didapatkan harga material semen dilapangan mendapatkan 1.200/kg, pasir Rp. 178/kg, kerikil Rp. 196/ kg dan air Rp. 82,50/liter sedangkan harga material inovasi yang telah dianalisis yaitu abu ampas tebu Rp. 250/kg, pasir batu apung Rp. 200/kg dan abu batu Rp. 166/kg. Perhitungan RAB dikalikan dengan harga satuan yang ada diwilayah kota Surakarta. *Mix design* yang digunakan dalam pembuatan RAB adalah *mix design* yang memenuhi variasi campuran BR-60% karena berat jenis dan kuat tekannya lebih optimal dibanding BR-50%. Rincian perhitungan rancangan anggaran biaya pembuatan beton ringan inovasi sebagai berikut.

Tabel 10. RAB Beton Ringan Inovasi BR-60%

No	Material	Volume	Harga Satuan	Total Harga
1	Air	205 lt	Rp. 82,50	Rp. 16.913
2	Semen	355 kg	Rp. 1.200	Rp. 426.000
3	Abu Ampas Tebu	39,4 kg	Rp. 250	Rp. 9.850
4	Pasir	286 kg	Rp. 178	Rp. 50.908
5	Pasir Batu Apung	354 kg	Rp. 200	Rp. 70.800
6	Abu Batu	267 kg	Rp. 166	Rp. 44.322
7	Split	205 kg	Rp. 196	Rp. 40.180
8	Sika Visconcrete 1003	1,57 lt	Rp. 80.000	Rp. 94.400
Total Harga				Rp. 784.573

Sumber : Perhitungan Pribadi, 2023

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan abu ampas tebu dapat digunakan sebagai *cementitious* sebesar 10% dari total berat semen sedangkan pasir batu apung dan abu batu dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus sebesar 60% dan 20% dari total volume penggunaan agregat halus. Dari kedua variasi *mix design* yang digunakan nilai kuat tekan rata-rata yang optimal pada penggunaan 50% pasir batu apung yaitu mendapatkan 36,31 MPa pada umur 28 hari dan penggunaan 60% pasir batu apung yaitu mendapatkan 38,22 MPa pada umur 28 hari yang sudah memenuhi syarat pembuatan beton ringan struktural. Biaya pembuatan variasi BR-60% didapatkan harga Rp. 784.573 per m³.

DAFTAR PUSTAKA

- Jakarta. Badan Pusat Statistik. (2023). *Produksi Perkebunan Besar Menurut Jenis Tanaman (Ton), 2017-2021*. <https://www.bps.go.id/indicator/54/94/1/produksi-perkebunan-besar-menurut-jenis-tanaman.html>.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. SNI 1970:2008. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. SNI 1969:2008. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar*. SNI ASTM C136-06:2012. Jakarta
- Badan Standar Nasional (2014). SNI 2460:2014. *Spesifikasi Abu Terbang Batu Bara Dan Pozzolan Alam Mentah Atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton*. Jakarta
- Badan Standar Nasional (2019). SNI 2847:2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta
- Badan Standar Nasional (2012). SNI ASTM C117:2012. *Spesifikasi Abu Terbang Batu Bara Dan Pozzolan Alam Mentah Atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton*. Jakarta
- Darwis, Muhammad. Tata, Arbain, & Anwar, Chairul. (2019). Pemanfaatan Pasir Apung Pada Mortar Busa Dalam Pembuatan Batako Ringan. *Jurnal SIPILsains*, 09(18), 43.
- Suhendro, B. (2014). "Toward Green Concrete for Better Sustainable Environment." *Procedia Engineering*, 95(Scesem), 305–320. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.190>
- Mirna, Iqbal, & Kasman. (2017). Analisis Sifat-sifat Fisik Keramik Berbahan Tambahan Abu Ampas Tebu Dan Abu Sekam Padi. *ISSN : 1412-2375*, 16(02), 42.