

Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Agregat Kasar pada Campuran Beton Perkerasan Kaku yang Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi

(The Use of Marble Waste as a Coarse Aggregate in Rigid Pavement Concrete Mixture Using Rice Husk Ash as an Admixture)

Muhammad Yusuf Eko Saputro^{1*}, Akhmad Hasanuddin², Dwi Nurtanto³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember - Jl. Kalimantan Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121

ARTICLE INFO

Article history

Received : 06 January 2022

Revised : 07 March 2022

Accepted : 23 March 2022

DOI :

<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i1.3091>

Keywords :

aggregate marble ash; coarse aggregate; compression strength

*e-mail corresponding author : yusufekos63@gmail.com

ABSTRAK

Beton adalah material dari hasil percampuran (*mixing*) antara agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen serta air. Penelitian ini melakukan inovasi beton untuk mengurangi limbah marmer yang terdapat dilingkungan dan mengurangi jumlah penggunaan semen dengan mengganti 10% dari total semen dengan abu sekam padi. Dalam penelitian ini menggunakan variasi penggantian kadar limbah marmer untuk uji kuat tekan dan kuat lentur sebesar 0% (beton normal), 30%, 50%, 70% dengan benda uji berbentuk silinder dan benda uji berbentuk balok yang diuji pada umur 14 dan 28 hari, masing masing variasi berjumlah 3 benda uji. Hasil yang diperoleh dalam pengujian untuk prosentase 30% kuat tekan dan kuat lentur beton sebesar 46,50 MPa dan 5,67 MPa, prosentase 50% kuat tekan dan kuat lentur beton sebesar 43,95 MPa dan 4,83 MPa dan, prosentase 70% kuat tekan dan kuat lentur beton sebesar 38,64 MPa dan 4 MPa. Maka dari itu direkomendasikan menggunakan prosentase 50%, dimana pada prosentase tersebut memanfaatkan limbah yang paling banyak dan dapat mengurangi biaya beton menjadi lebih ekonomis yaitu dari harga Rp. 1.045.767 menjadi Rp. 932.476 untuk tiap m³ nya.

PENERBIT

UNITRI PRESS

Jl. Telagawarna, Tlogomas-Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500



This is an open access article under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License**. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA

ABSTRACT

Concrete is material from mixing fine sand, gravel, cement, and water. This study carried out concrete innovations to reduce marble waste in the environment and reduce the amount of cement used by replacing 10% of the total cement with rice husk ash. In this study, using variations in replacement of marble waste levels for compressive and flexural strength tests of 0% (standard concrete), 30%, 50%, 70% with a cylindrical specimen and a test object in the shape of beams were tested at the age of 14 and 28 days, each variation amounted to 3 test specimens. The results obtained in the test for the percentage of 30% compressive strength and flexural strength of concrete are 46.50 MPa and 5.67 MPa, 50% of compressive strength and flexural strength of concrete are 43.95 MPa and 4.83 MPa, and 70% percentage the compressive strength and flexural strength of concrete are 38.64 MPa and 4 MPa. Therefore, it is recommended to use a percentage of 50%, in which the percentage utilizes the most waste and can reduce the cost of concrete to be more economical, which is Rp. 932,476 for each m³ of it.

Cara Mengutip : Saputro, M. Y. E., Hasanuddin, A. and Nurtanto, D. (2022). 'Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Agregat Kasar pada Campuran Beton Perkerasan Kaku yang Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi.

Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, 7(1), 93-103.

doi:<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i1.3091>

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan adalah struktur yang terdiri dari beberapa lapisan bahan material di atas sub-grade tanah alami, yang fungsi utamanya adalah menyalurkan beban kendaraan ke sub-grade [1]. Struktur perkerasan jalan harus mampu menyediakan permukaan kualitas yang baik sehingga nyaman untuk di gunakan para pengendara. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan bahwa tegangan yang ditransmisikan karena beban roda cukup berkurang agar tidak melebihi daya dukung sub grade [2]. Jalan-jalan di masa lalu hanya bergantung pada batu, kerikil dan pasir untuk konstruksi dan air digunakan sebagai bahan pengikat untuk meratakan dan memberi tampilan akhir ke permukaan. Perkerasan jalan terbagi dalam dua kategori yaitu perkerasan kaku dan perkerasan lentur [3]. Di sini penulis akan meneliti tentang material-material perkerasan kaku (*Rigid pavement*) dengan bahan tambah batu marmer dan abu sekam padi sebagai pemanfaatan limbah batu marmer sebagai substituen agregat kasar dan abu sekam padi sebagai salah satu bahan tambahan pozzolan untuk menjadikan sebuah beton yang kuat serta ramah lingkungan dengan rencana kuat tekan 40 MPa, menurut spesifikasi umum bina marga 2018 beton dengan kuat tekan 30 MPa atau lebih dapat di gunakan untuk membuat perkerasan kaku pada jalan kolektor atau local [4]. Dapat diketahui pada penelitian sebelumnya abu sekam padi dan batu marmer adalah bahan yang mengandung silika yang cukup tinggi sehingga dapat di gunakan sebagai bahan substituen semen [5].

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan beton sebagai bahan utama. Beton adalah material dari hasil percampuran (*mixing*), antara agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen serta air [6]. Menurut SNI-03-2847-2002 pengertian beton yaitu campuran antara bahan material antara bahan pengikat yaitu semen Portland dengan bahan yang diikat yaitu agregat halus, agregat kasar serta air, dengan atau tanpa tambahan yang membentuk masa padat dengan komposisi tertentu [7]. Beton tersusun atas agregat halus dan agregat kasar. Beton yang di gunakan untuk perkerasan kaku menurut buku Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3 memiliki ketentuan flexural strength sebesar $f_r = 45 \text{ kg/cm}^2$, maka pada penelitiannya perlu diperhatikan perencanaan untuk kuat tekan beton tersebut agar mendapatkan modulus, elastisitas beton yang diinginkan dari permasalahan tersebut di dapatkan persamaan hubungan dari kuat tekan dan kuat lentur beton normal [8]. Pada teknologi beton sendiri bahan tambah mineral pembantu saat ini banyak di gunakan pada campuran beton hal ini bertujuan antara lain untuk mengurangi kelemahan beton atau mengurangi *bleeding* pada beton. Sifat pozzolanik pada bahan tambah mineral lah yang biasanya di manfaatkan untuk campuran pada beton, sifat tersebut bisa bereaksi dengan kapur bebas yang berasal dari semen ketika proses-hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat ketika semen tercampur dengan air [9]. Bahan – bahan yang mengandung pozzolan ini terdapat pada material alam maupun terdapat pada sisa industry [10].

Sekam padi merupakan bahan berlignoselulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi [11]. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50 % selulosa, 25 – 30 % lignin, dan 15 – 20 % silika [9]. Pada saat ini sekam padi sudah mulai di kenal untuk di kembangkan dan di olah menjadi abu agar bisa di gunakan untuk bahan

baku yang sering di kenal di dunia sebagai RHA (*rice husk ash*) [12]. Konversi sekam padi menjadi abu silica sesudah melewati proses karbonisasi. Di dalam abu sekam padi terdapat banyak kandungan senyawa Silikat (SiO_2) sebanyak 88,92% sehingga bahan ini bisa di golongankan sebagai pozzolan. (Bakri, 2008) [13]. Marmer terdiri dari susunan mineral kalsif, dalam batuan marmer terjadi proses metamorfosa regional atau rekristalisasi dari batu gamping [14]. Dari kandungan tersebut jika suatu daerah atau lingkungan terlalu banyak terdapat limbah batu marmer akan membuat lingkungan tersebut bisa menjadikan air sumur yang akan berubah menjadi putih, membuat tanah menjadi tandus serta dapat merusak tanaman di sekitarnya [15].

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini merupakan bentuk percobaan yang di lakukan di laboratoriu untuk mendapatkan data yang diperlukan. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan tahapan pekerjaan sebagai berikut, yaitu mempersiapkan material, menguji karakteristik material, membuat benda uji beton, merawat atau *curing* benda uji, dan yang terakhir pengujian benda uji, antara lain : Pengujian nilai slump, pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton.

2.1. Bahan Uji

Bahan-bahan yang digunakan antara lain : Semen Portland type 1, agregat kasar berupa batu pecah dari Sentolo Yogyakarta, agregat halus berasal dari kali Progo Yogyakarta, limbah marmer dari CV. Solo Marmer, dan bahan tambah abu sekam padi dari pabrik penggilingan padi di Baki, Sukoharjo.

2.2. Rancangan Penelitian

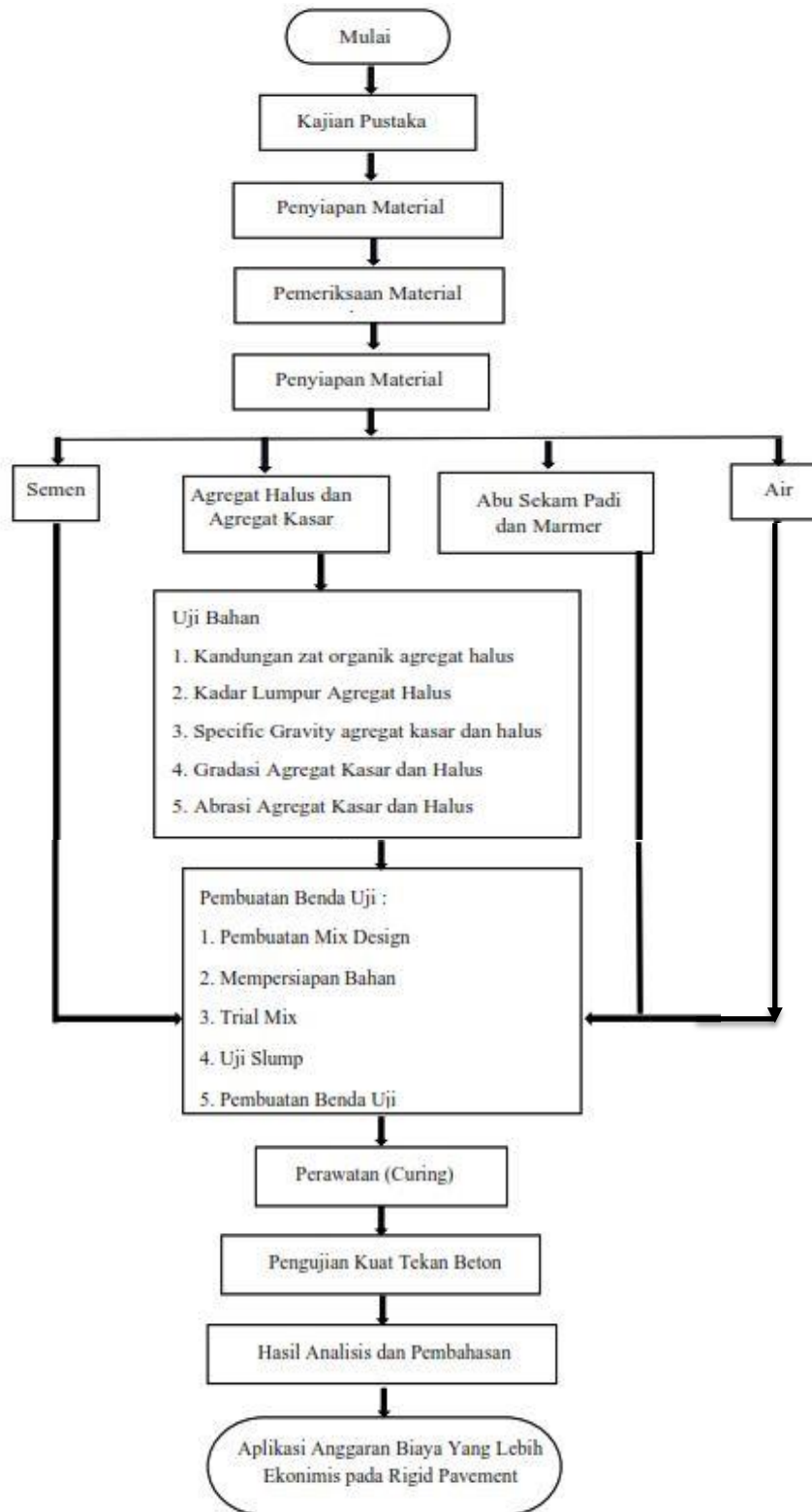
Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 10 x 20 cm yang berjumlah 45 buah dan benda uji balok dengan ukuran 10 x 10 x 50 cm yang berjumlah 40 buah [16].

Tabel 1. Sampel Benda Uji dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi dan Marmer

Bahan Tambah Abu Sekam Padi	Persen Batu Marmer	Jenis Pengujian	Ukuran (cm)	Jumlah (buah)	Keterangan Pengujian
10%	30%	Uji Kuat Tekan	10 x 20	10	Umur 14 dan 28 Hari
10%	50%	Uji Kuat Tekan	10 x 20	10	Umur 14 dan 28 Hari
10%	70%	Uji Kuat Tekan	10 x 20	10	Umur 14 dan 28 Hari
10%	30%	Uji Kuat Lentur	10 x 10 x 50	10	Umur 14 dan 28 Hari
10%	50%	Uji Kuat Lentur	10 x 10 x 50	10	Umur 14 dan 28 Hari
10%	70%	Uji Kuat Lentur	10 x 10 x 50	10	Umur 14 dan 28 Hari

2.3 Langkah Kerja Penelitian

Garis besar Langkah kerja dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar.1 dibawah ini :



Gambar.1 Langkah Kerja Penelitian

2.4 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilaksanakan tahapan mulai dari pemilihan material untuk pembuatan campuran beton, pengujian material, pembuatan sampel beton, analisis data dan penentuan kesimpulan dari hasil analisis data [17]. Sebagai penelitian ilmiah agar dapat dipertanggungjawabkan maka penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu :

1. Tahap I

Tahap persiapan ini semua peralatan dan bahan yang akan di gunakan disiapkan terlebih dahulu agar pada saat penelitian dapat berjalan dengan lancar.

2. Tahap II

Tahap uji bahan ini dilaksanakan penelitian terhadap agregat kasar dan agregat halus untuk menyusun beton. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil dari sifat - sifat dan karakteristik bahan yang diuji juga dapat mengetahui apakah bahan yang digunakan untuk menyusun benda uji sudah sesuai syarat atau tidak.

3. Tahap III

Tahap pembuatan benda uji ini dilaksanakan sebagai berikut :

- a. Penetapan *mix design* campuran sampel beton
- b. Memasukkan abu sekam padi dan marmer pada *mix design* dengan prosentase yang sudah di tentukan
- c. Pembuatan adukan sampel benda uji
- d. Pengujian nilai slump
- e. mencetak benda uji dengan mold 10 x 20 cm

4. Tahap IV

Tahap perendaman atau perawatan beton ini di lakukan setelah benda uji di lepaskan dari cetakan mold.

5. Tahap V

Tahap pengujian kuat tekan, pada tahap ini sampel beton di uji menggunakan mesin uji kuat tekan.

6. Tahap VI

Tahap analisis data ini diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan sampel beton lalu dianalisa untuk mendapatkan kesimpulan serta hubungan antara variable yang akan diteliti.

7. Tahap VII

Tahap penarikan kesimpulan data yang sudah di analisis sebelumnya kemudian dijadikan sebagai kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian

2.5 Rancang Campur (*Mix Design*)

Perencanaan dalam membuat benton antar agregat, semen, dan air sangat di utamakan karena hal ini bertujuan untuk mendapatkan kekuatan beton mutu tinggi yang diharapkan [18]. Perencanaan campuran beton bertujuan untuk mendapatkan hasil beton yang baik dan seragam. Pada penelitian kali ini perencanaan campuran (*mix design*) sampel benda uji beton mutu tinggi menggunakan *mix design* metode dari Standar Pekerjaan Umum dengan kuat tekan pada umur 14 hari dan 28 hari mencapai 40 Mpa [19].

Besarnya bahan tambah batu marmer untuk pengganti sebagian agregat kasar sebesar 30%, 50%, 70% besarnya bahan tambah abu sekam padi untuk pengganti sebagian semen sebesar 10% dari berat keseluruhan beton [20].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

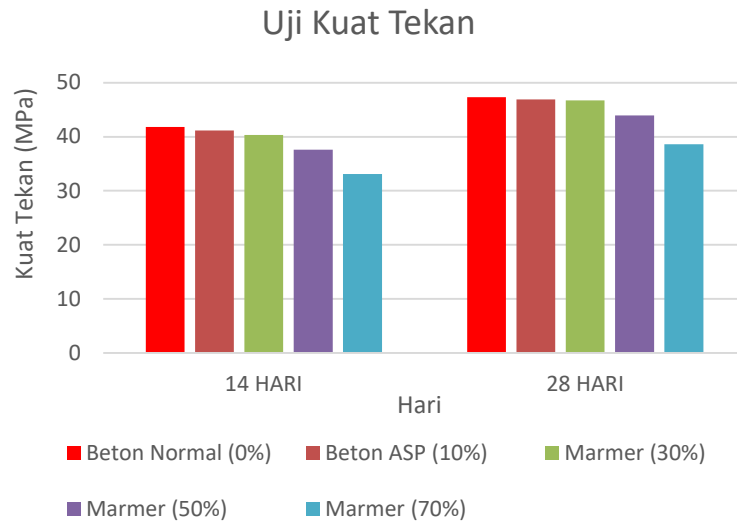
3.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder ukuran $\varnothing 10$ cm x 20 cm pada umur 14 dan 28 hari, dengan menggunakan alat *Compresion Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimal sampai beton hancur, masing masing benda uji menggunakan kombinasi agregat kasar yang berbeda yang berbeda yaitu sebanyak 0% 30% 50% 70% dengan masing-masing 14 sampel beton dan di ambil dari 6 sampel yang terbaik. Dari data pengujian didapatkan hasil kuat tekan beton dalam satuan MPa seperti Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No	Kadar Marmer	14 Hari		28 Hari	
		KN	Mpa	KN	Mpa
1	Beton Normal (0%)	330	42.04	375	47.77
2		330	42.04	370	47.13
3		325	41.40	370	47.13
Rata - Rata			328.33	41.83	371.67
1	Beton ASP (10%)	325	41.40	370	47.13
2		325	41.40	370	47.13
3		320	40.76	365	46.50
Rata - Rata			323.33	41.19	368.33
1	Marmer (30%)	320	40.76	370	47.13
2		315	40.13	365	46.50
3		315	40.13	365	46.50
Rata - Rata			317	40.34	366.67
1	Marmer (50%)	295	37.58	355	45.22
2		295	37.58	340	43.31
3		295	37.58	340	43.31
Rata - Rata			295.00	37.58	345.00
1	Marmer (70%)	265	33.76	310	39.49
2		260	33.12	300	38.22
3		255	32.48	300	38.22
Rata - Rata			260.00	33.12	303.33

Dari Tabel 2 diatas dapat diperoleh hasil kuat tekan beton dengan variasi batu marmer yang digambarkan dalam bentuk Grafik di bawah ini.



Gambar 2. Pengujian Kuat Tekan Beton

Dari grafik diatas memperlihatkan bahwa menggunakan batu marmer sebagai bahan campuran agregat kasar pada beton memiliki pengaruh terhadap kuat tekan betonnya. Hasil dari pengujian diatas kuat tekan beton yang menggunakan campuran agregat kasar marmer masih lebih rendah dari beton normal yang tidak memakai agregat marmer pada saat pengujian umur 14 dan 28 hari. Pada grafik diatas terlihat penurunan pada beton dengan variasi 30%, 50%, 70%, pada variasi 30% dan 50% terjadi penurunan tetapi kuat tekan betonnya masih memenuhi kriteria rencana, namun pada beton variasi 70% terjadi penurunan yang signifikan daripada beton normal sehingga kuat tekan beton tidak memasuki kriteria rencana yang telah di tentukan.

3.2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton dengan benda uji balok ukran 10 cm x 10 cm x 50 cm pada umur 14 dan 28 hari, dengan menggunakan alat penguji compresive untuk mendapatkan beban maksimal sampai beton mengalami patah Ketika menerima beban tersebut, masing masing benda uji menggunakan kombinasi agregat kasar yang berbeda yang berbeda yaitu sebanyak 0% 30% 50% 70% dengan masing-masing 12 sampel beton dan di ambil dari 6 sampel yang terbaik. Dari data pengujian makan didapatkan hasil kuat tekan beton dalam satuan MPa. Dari seluruh pengujian kuat lentur beton akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik di bawah. Berikut salahsatu contoh perhitungan uji kuat lentur pada umur 14 hari yang diambil dari data hasil pengujian kuat lentur beton normal nomor 1. Didapat :

$$f_r = \frac{P.l}{(b.d^2)}$$

$$P = 8 \text{ kN} = 8000 \text{ N}$$

$$l = 500 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

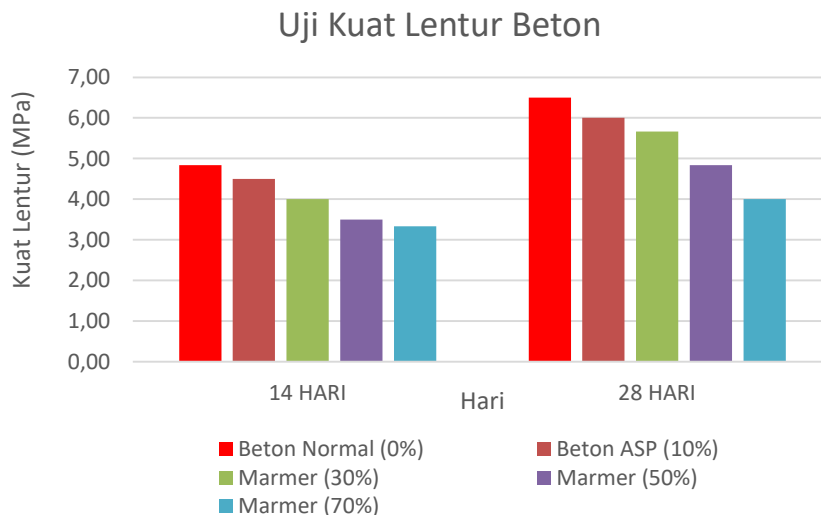
$$d = 100 \text{ mm}$$

$$f_r = \frac{8000.500}{(100.100^2)} = 4 \text{ MPa}$$

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

No	Kadar Marmer	14 Hari		28 Hari	
		KN	Mpa	KN	Mpa
1	Beton Normal (0%)	10	5.00	13	6.50
2		10	5.00	13	6.50
3		9	4.50	13	6.50
	Rata - Rata	9.67	4.83	13.00	6.50
1	Beton ASP (10%)	10	5.00	12	6.00
2		9	4.50	12	6.00
3		8	4.00	12	6.00
	Rata - Rata	9.00	4.50	12.00	6.00
1	Marmer (30%)	8	4.00	12	6.00
2		8	4.00	11	5.50
3		8	4.00	11	5.50
	Rata - Rata	8	4.00	11.33	5.67
1	Marmer (50%)	8	4.00	10	5.00
2		7	3.50	10	5.00
3		6	3.00	9	4.50
	Rata - Rata	7.00	3.50	9.67	4.83
1	Marmer (70%)	8	4.00	8	4.00
2		6	3.00	8	4.00
3		6	3.00	8	4.00
	Rata - Rata	6.67	3.33	8.00	4.00

Dari Tabel.3 diperoleh hasil kuat lentur beton dengan variasi batu marmer yang digambarkan dalam bentuk grafik di bawah ini.

**Gambar 3. Pengujian Kuat Lentur Beton**

Dari grafik diatas memperlihatkan bahwa menggunakan batu marmer sebagai bahan campuran agregat kasar pada beton memiliki pengaruh terhadap kuat lentur betonnya. Hasil dari pengujian diatas kuat tekan beton yang menggunakan campuran agregat kasar marmer masih lebih rendah dari beton normal yang tidak memakai agregat marmer pada saat pengujian umur 14 dan 28 hari. Pada grafik diatas terlihat penurunan

pada beton dengan variasi 30%, 50%, 70%, pada variasi 30% dan 50% terjadi penurunan tetapi kuat lentur betonnya masih memenuhi kriteria rencana, namun pada beton variasi 70% terjadi penurunan yang signifikan dari pada beton normal sehingga kuat lentur beton tidak memasuki kriteria rencana yang telah ditentukan.

Penurunan pada kuat tekan dan kuat lentur pada sampel beton dengan menggunakan variasi batu marmer untuk pengganti sebagian agregat kasar dikarenakan batu marmer memiliki kekurangan yaitu pada permukaan batu marmer yang lebih halus dibandingkan permukaan kerikil yang lebih kasar sehingga membuat kekuatan beton yang dibuat mengalami penurunan

3.3. Rencana Anggaran Biaya

Dari hasil pengujian yang telah disampaikan diperoleh hasil data penggunaan batu marmer yang paling maksimum yaitu pada variasi 50% dengan rata - rata kuat tekan 43,95 MPa dan rata – rata kuat lentur 4,8 MPa pada umur 28 hari.

Abu sekam padi yang digunakan adalah untuk pengganti sebagian semen yang merupakan hasil dari limbah pabrik yang tidak memiliki nilai jika dibandingkan dengan harga semen, sementara itu limbah batu marmer yang digunakan adalah untuk pengganti sebagian agregat kasar (kerikil) dapat mengurangi biaya pembuatan beton. Oleh karena itu beton yang dibuat dari inovasi tersebut dapat termasuk beton ekonomis. Berikut adalah Rencana Anggaran Biaya per m³ pembuatan beton dengan menggunakan variasi abu sekam padi dan marmer, dibuatkan pula untuk beton konvensional sebagai pembandingan beton inovasi. Seluruh perhitungan akan dikalikan dengan harga satuan material di wilayah Solo

Tabel 4. Hasil Perbandingan Harga Beton Inovasi dengan Beton Konvensional

Uraian	Satuan	Proporsi		Harga Satuan	Proporsi	
		Inovasi	Konvensional		Inovasi	Konvensional
Bahan						
Semen	kg	540	600	Rp. 1.300	Rp. 702.000	Rp. 780.000
Abu Sekam Padi	kg	60		Rp.103,68	Rp. 6.221	
Pasir	m3	0.3225	0.3225	Rp. 187.000,00	Rp. 60.308	Rp. 60.307,50
Marmer	m3	0.166	0	Rp. 29.921,76	Rp. 4.967	-
Kerikil	m3	0.166	0.332	Rp. 280.000,00	Rp. 46.480	Rp. 92.960,00
Air	lt	225	225	Rp. 500.00	Rp. 112.500	Rp. 112.500,00
Total Harga Bahan (A)					Rp. 932.476	Rp.1.045.767,50

Beton inovasi ini selain dapat menekan biaya pembuatannya tentunya dapat memiliki manfaat dibandingkan dengan beton konvensional, seperti :

a. Ekonomis

Pembuatan beton konvensional membutuhkan biaya yang lebih mahal dibandingkan dengan beton dengan inovasi abu sekam padi dan marmer. Pada tabel didapatkan biaya pembuatan beton konvensional sebesar Rp. 1.053.002 sedangkan biaya pembuatan beton inovasi dengan marmer dan abu sekam membutuhkan biaya

sebesar Rp. 932.476 untuk tiap m^3 nya. Sehingga pembuatan beton dengan inovasi abusekam padi dan marmer membutuhkan biaya yang lebih ekonomis dengan selisih sebanyak Rp. 120.526

b. Mengurangi jumlah limbah

Limbah marmer dan sekam padi yang di gunakan untuk pengganti Sebagian agregat dalam pembuatan beton tentu saja dapat mengurangi jumlah limbah yang ada di lingkungan serta penggunaan bahan tersebut dapat menambah nilai guna dari bahan itu sendiri, sehingga pemanfaatannya dinilai lebih efektif serta secara tidak langsung dapat mengurangi dampak yang diakibatkan oleh limbah tersebut.

c. Mengurangi jumlah pemakaian semen

Membuat beton dengan perencanaan yang sama, menggunakan bahan inovasi tentunya membutuhkan semen yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan bahan untuk beton konvensional, pada beton inovasi membutuhkan semen 540 kg/m^3 sedangkan bila membuat beton konvensional memerlukan semen sebesar 600 kg/m^3

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan (1) Berdasarkan nilai kuat tekan dan kuat lentur beton yang sesuai dengan kriteria 40MPa yaitu pada prosentase 30% dan 50%. Pada sampel beton prosentase 30% kuat tekannya mencapai 46,71 MPa dan kuat lenturnya mencapai 5,5 MPa diumur 28 hari sedangkan pada sampel beton prosentase 50% kuat tekannya mencapai 43,95 MPa dan kuat lenturnya mencapai 4,83 MPa di umur 28 hari. Pada sampel beton 70% terjadi penurunan yang signifikan sehingga membuat kuat tekan dan kuat lentur beton tersebut kurang dari kriteria yang sudah di tentukan. Dari nilai tersebut direkomendasikan untuk menggunakan design campuran marmer 50% karena campuran tersebut menggunakan limbah yang paling optimal serta kuat tekan dan kuat lenturnya sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. (2) Dari hasil perbandingan harga antara beton konvensional dengan beton inovasi, biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan beton konvensional lebih mahal daripada biaya pembuatan beton inovasi. Beton konvensional mengeluarkan biaya Rp. 1.053.002 sedangkan beton inovasi mengeluarkan biaya Rp. 932.476, dengan nilai tersebut beton dengan bahan mermer dan abu sekam padi memiliki harga yang ekonomis dari pada beton konvensional sehingga dapat menghemat biaya sebesar Rp 120.526 tiap m^3 nya

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Almufid, 'Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambahan', *Jurnal Fondasi*, 4(2), pp. 81–87, 2015
- [2] N A Lioyd, B. V. R. 'Geopolymer Concrete with Fly Ash', *University of Wisconsin Milwaukee*, 7(2), 2010
- [3] Safrin Zuraidah, R. A. J. 'Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton', *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 3(3), p. 12, 2007
- [4] Oktodelina Nurahmi, A. A. K. 'Perbandingan Konstruksi Perkerasan Lentur dan

- Perkerasan Kaku serta Analisis Ekonominya pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar', *Teknik ITS*, 1(2), pp. E63–E68, 2012
- [5] Bakri, 'Komponen Kimia dan Fisik Abu Sekam Padi sebagai SCM untuk Pembuatan Komposit Semen', *Perennial*, 5(1), pp. 9–14, 2008
- [6] Milind V Mohod, D. K. N. K. 'A Comparative Study on Rigid and Flexible Pavement: A Review', *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13(3), pp. 84–88. doi: 10.9790/1684-1303078488, 2016
- [7] Nugroho, A. P. *Teknologi Beton, dari material, Pembuatan ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2007
- [8] Susilowati 'Pemanfaatan Serbuk Marmer Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Semen Pada Campuran Beton Normal', *Jurnal Arsitektur Universitas Bandar Lampung*, 1(4), pp. 16–24, 2011
- [9] Tjokrodinuljo, K. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, 1996
- [10] Yunus, A. Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash sebagai Bahan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas*. SEBELAS MARET, 2010
- [11] Suhirkam, D. and Latif, A. 'Pengaruh Penggantian Sebagian Semen dengan Abu Sekam Padi Terhadap Kekuatan Beton K-400', *Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya*, 6, pp. 3–8, 2006
- [12] SNI 2493-2011, Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium, Badan Standar Nasional Indonesia. Available at: www.bsn.go.id. 2011
- [13] [Kementerian PUPR]. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2003) *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 4431-2011 Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan*, Badan Standar Nasional Indonesia, 2011
- [15] Bina Marga, *Spesifikasi Umum 2018*, Direktorat Jendral Bina Marga, 2018
- [16] Maufida, A. Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Perlakuan Perendaman Air Tawar dan Air Laut, *Digital Repository Universitas Jember*, 2018
- [17] Rahman, D. F. 'Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Material Pengganti Semen Pada Campuran Beton SCC Terhadap Kuat Tekan dan Porositas', *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1/REKAT/18), pp. 11–20, 2017
- [18] Suhendra, 'Kajian Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur', *Journal Ciivronlit Universitas Batanghari*, 2(2), pp. 38–44, 2017
- [19] Widiyanto, A. B. Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu Terhadap Sifat Mekanik Self Compacting Concrete (SCC), *Skripsi*, 2020
- [20] Badan Standardisasi Nasional, *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. 2000.