

Meningkatkan Kapasitas Kuat Tekan Beton dengan Kendala Kadar Lumpur Agregat Halus

Rina Dwi Fatika¹, Zendy Bima Mahardana^{2*}, Hikmatul Lailiya³, Khoirun Nisa⁴,
M Ilham Fauzil Fahmi⁵, Ricky Putra Ardianto⁶, Ogest Tegar Widyakrama⁷

^{1,2,3,4,5,6,7} Teknik Sipil, Universitas Kadiri, 64115, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: zmahardana@unik-kediri.ac.id

Received 3rd Jan 2023; 1st Revision 16th Feb 2023; Accepted 25th March 2023

ABSTRAK

Tingginya kadar lumpur mengakibatkan kegagalan struktur karena berkurangnya pengikatan antar agregat sehingga campuran beton sulit dikerjakan serta kekuatan dan kualitas beton menurun. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan kombinasi zat aditif pada proses mix beton. Dalam melakukan mix beton dilakukan pengujian kelayakan pada agregat yang meliputi uji kadar lumpur, gradasi ayakan, dan keausan agregat pada agregat kasar untuk mengoptimalkan bahan yang akan digunakan. Melakukan pengujian slump menggunakan J-ring tester dan V-funnel untuk mengetahui passing ability serta filling ability beton. Serta melakukan pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui mutu beton yang telah direncanakan. Pada pengujian kelayakan agregat halus didapatkan kadar lumpur sebesar 10,67% sehingga melebihi batas kadar lumpur maksimal dan klasifikasi daerah gradasi ayakan agregat halus masuk kedalam zona klasifikasi daerah 4. Penambahan bahan aditif Master Sure dan Master Glenium sebanyak 0,35% dari jumlah total pengikat terbukti efektif untuk meningkatkan kualitas kuat tekan beton yang ditunjukkan dari hasil uji slump pasta beton menggunakan J-ring tester mampu mencapai D50 hanya berdurasi 8,74 detik, dan pada uji slump menggunakan V-funnel tester mampu melewati celah alat uji hanya memerlukan durasi 1,13 detik, hal tersebut mengindikasikan pasta beton mampu memadat dengan sendirinya (SCC). Dari hasil uji kuat tekan beton dari setiap sampel didapatkan kuat tekan rata-rata 21,85 Mpa, hasil tersebut telah melebihi 0,7% kuat tekan rencana 21,7 Mpa. Dengan demikian penggunaan bahan aditif Master Sure dan Master Glenium sebanyak 0,35% dari jumlah total pengikat mampu meningkatkan kuat tekan beton. Dengan adanya penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk meningkatkan kuat tekan beton dengan kadar lumpur material melebihi standar.

Kata Kunci: Bahan aditif; Beton; Kadar lumpur; Kuat tekan.

ABSTRACT

The high silt content results in structural failure due to reduced binding between the aggregates so that the concrete mix is difficult to work with and the strength and quality of the concrete decreases. To overcome this problem, a combination of additives is carried out in the concrete mix process. In carrying out the concrete mix, a feasibility test is carried out on the aggregate which includes a mud content test, sieve gradation, and aggregate wear on coarse aggregate to optimize the material to be used. Perform slump testing using the J-ring tester and V-funnel to determine the passing ability and filling ability of concrete. As well as testing the compressive strength of concrete to determine the quality of the concrete that has been planned. In the feasibility test, the fine aggregate obtained a silt content of 10.67% so that it exceeded the maximum silt content limit and the fine aggregate sieve gradation classification area

entered into regional classification zone 4. Addition of Master Sure and Master Glenium additives as much as 0.35% of the total binder proved to be effective in increasing the quality of concrete compressive strength as shown from the results of the concrete paste slump test using the J-ring tester being able to reach D50 in only 8.74 seconds, and in the slump test using the V-funnel tester being able to pass through the gaps of the test equipment it only requires 1.13 seconds, this indicates that the concrete paste is able to solidify by itself (SCC). From the results of the concrete compressive strength test for each sample, an average compressive strength of 21.85 MPa was obtained, this result exceeded 0.7% of the design compressive strength of 21.7 MPa. Thus the use of Master Sure and Master Glenium additives as much as 0.35% of the total amount of binder can increase the compressive strength of concrete. With this research it can be used as a reference to increase the compressive strength of concrete with material silt content exceeding the standard.

Keywords: Additives; Concrete; Mud content; Compressive strength.

Copyright © Rina Dwi Fatika, Zandy Bima Mahardana, Hikmatul Lailiya, Khoirun Nisa, M Ilham Fauzil Fahmi, Ricky Putra Ardianto, Ogest Tegar Widyakrama.

This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bagian penting dalam pembangunan konstruksi. Hampir di semua bangunan seperti jembatan, gedung, jalan raya, bangunan air, dan bangunan lainnya memerlukan beton sebagai strukturnya [1][2]. Beton memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan bahan lain, diantaranya yaitu sangat kokoh, mudah dibentuk, tahan api, tahan cuaca, dapat melindungi tulangan baja dari karat, dan sedikit pemeliharaan [3]. Beton pada umumnya terbentuk dari dua komponen yaitu agregat dan pengikat. Agregat terdiri dari pasir dan batu pecah, sedangkan pengikat terdiri dari semen dan air [4]. Dalam pembuatan beton, 70-80% terdiri dari susunan agregat dan oleh karena itu agregat berperan penting terhadap sifat-sifat beton. Agregat untuk campuran beton perlu diperhatikan karena nantinya berpengaruh terhadap kuat tekan beton [5]. Agregat yang baik untuk campuran beton memiliki ciri-ciri kuat, keras, bersudut, bergradasi, tidak mengandung zat organik, dan tidak mengandung lumpur. Namun pada kenyataannya yang sering dijumpai adalah banyaknya pasir yang mengandung lumpur [6]. Lumpur adalah partikel yang lebih kecil dari ukuran saringan 0,075 mm (No.200) dan berat jenis kurang dari 2.0 serta memiliki sifat non-kohesif karena tidak bereaksi dengan semen [7]. Kadar lumpur yang tinggi dapat mengakibatkan kegagalan struktur, karena berkurangnya pengikatan antar agregat sehingga campuran beton sulit dikerjakan serta kekuatan dan kualitas beton menurun [8].

Untuk mengatasi masalah tersebut direncanakan melakukan penggunaan kombinasi zat aditif pada proses mix beton [9]. Penggunaan zat aditif dalam pembuatan beton adalah untuk menambah nilai kuat tekan beton dengan kondisi kadar lumpur melebihi batas standar. pada penelitian ini digunakan bahan aditif berupa master glenium dan master sure masing masing sejumlah 0,35% dari semen. master glenium merupakan bahan aditif yang berfungsi untuk meningkatkan workability beton, sehingga material penyusun beton mampu bercampur secara homogen, [10]. Sedangkan master sure digunakan untuk meningkatkan mutu beton dan mengurangi pemakaian air, sehingga dapat meminimalisir kembang susut material yang diakibatkan oleh jumlah kadar lumpur yang berlebihan [11].

Pengujian yang dilakukan adalah secara eksperimental dengan menggunakan uji kelayakan agregat di Laboratorium, melakukan uji slump pasta beton dan pada tahapan akhir adalah melakukan uji kuat tekan beton pada usia perawatan mencapai 28 hari. Dari rekapitulasi hasil uji kuat tekan dapat digunakan sebagai evaluasi jumlah kebutuhan kombinasi bahan aditif, sehingga mampu menemukan jumlah optimum penggunaan bahan aditif untuk meningkatkan konsistensi kuat tekan beton dengan kadar lumpur meterial melebihi standar.

METODE

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan metode menguji kelayakan material dalam pembuatan benda uji. Dalam pembuatan benda uji pertama dilakukan uji kelayakan pada agregat, diketahui pada pengujian kadar lumpur agregat halus melebihi batas maksimal yang telah ditentukan sehingga mengakibatkan menurunnya kuat tekan pada benda uji beton. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan penambahan bahan aditif yang diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan bahkan dapat melebihi kuat tekan rencana. Agar dapat mengetahui kuat tekan beton dilakukan mix desain dengan menentukan jumlah kebutuhan material, pengujian slump, dan pengujian kuat tekan beton. Pasta beton yang memiliki keunggulan passing ability, filling ability, dan workability dapat digolongkan beton self compacting concrete (SCC) yang dapat memadat dengan sendirinya[12].

Pengujian Kelayakan Agregat

Pengujian kelayakan agregat perlu dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur dan keausan agregat pada agregat kasar. Pengujian ini berfungsi untuk mengoptimalkan kualitas bahan yang akan digunakan agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang direncanakan. Adapun pengujian dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Agregat kasar

Dalam pembuatan beton agregat kasar yang dipakai berupa kerikil yang lolos ayakan ukuran 10 mm[13]. Kerikil tersebut berfungsi sebagai material pengisi. Untuk memastikan kerikil tersebut layak digunakan perlu dilakukan pengujian kadar lumpur dan pengujian keausan agregat kasar terlebih dahulu. Pengujian dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Kadar lumpur

Dalam pengujian ini kadar lumpur beton normal yang diijinkan pada agregat kasar tidak boleh lebih dari 1%. Pada pengujian agregat kasar dilakukan pengujian kadar lumpur dengan menggunakan koral lolos ayakan ukuran 1,5 sebanyak 1000gr dalam keadaan kering. Kemudian lakukan pencucian koral menggunakan air bersih dan buang air cucian melalui tahapan proses penyaringan dengan ayakan no. 200 pada wadah cucian hingga keadaan air jernih lalu keringkan dan lakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Kadar lumpur} = (W1 - W2) : W1 \times 100 \quad (1)$$

Dimana W1= Berat sebelum dicuci, W2= Berat setelah dicuci

Keausan

Pegujian keausan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui kelayakan penggunaan agregat tersebut sebagai material penyusun beton. Dalam pengujian keausan agregat kasar pada beton normal yang diijinkan tidak boleh lebih dari 40%. Pengujian dilakukan dengan menggunakan koral dalam keadaan kering lolos ayakan ukuran 3/4, tertahan saringan ukuran 1/2 dan 3/8 pada berat masing-masing 2500gr. Masukkan koral ke dalam Los Angeles Abrasion Machine dengan menambahkan 11 bola baja dan diputar sebanyak 500 putaran. Kemudian lakukan

pengayakan koral menggunakan saringan no. 12, selanjutnya cuci butiran tertahan saringan dan keringkan lalu lakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = (W1 - W2) : W1 \times 100 \tag{2}$$

Dimana W1= Berat sebelum uji, W2= Berat setelah uji

2. Agregat halus

Dalam pembuatan beton pasir berfungsi sebagai material pengisi. Untuk memastikan pasir tersebut layak digunakan perlu dilakukan pengujian kadar lumpur dan pengujian gradasi ayakan terlebih dahulu. Pengujian dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Kadar lumpur

Diketahui kadar lumpur beton normal yang diijinkan pada agregat halus yang tidak boleh lebih dari 5% berat pasir. Jika kadar lumpur melebihi batas yang ditentukan maka akan mempengaruhi kualitas kuat tekan beton karena berkurangnya pengikatan antara agregat dan pasta semen[14]. Untuk menguji kadar lumpur dilakukan dengan mengambil pasir lolos ayakan no. 20 dalam keadaan kering, dan dimasukkan ke dalam gelas ukur hingga mencapai ketinggian 300ml. Kemudian tuangkan air bersih sampai ketinggian 600ml pada gelas ukur, dan tambahkan larutan cuka sebanyak 10 tetes dan aduk hingga merata. Diamkan campuran tersebut hingga jernih selanjutnya perhitungan dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{t2}{(t1 + t2)} \times 100 \tag{3}$$

Dimana t1 = Tinggi pasir, t2 = Tinggi lumpur

Gradasi ayakan

Pengujian gradasi ayakan dilakukan untuk memisahkan ukuran butir pada agregat, perbandingan relatif agregat kasar dan agregat halus[15]. Pengujian tersebut dilakukan dengan mengambil pasir dalam keadaan kering sebanyak 1000gr. Kemudian ayak pasir tersebut menggunakan saringan ukuran ¼ sampai saringan nomer 100 dengan jumlah berat tertahan sebesar 1000gr atau 100% dari jumlah total agregat sesuai prosedur SNI 03-2843-2000. Kemudian diklasifikasikan ke daerah gradasi pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. Tabel Daerah Gradasi

UKURAN		% Berat Butir Lolos Saringan			
		Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
U 1/4	6,35 mm	100	100	100	100
No 4	4,8 mm	90-100	90-100	90-100	90-100
No 8	2,4 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
No 16	1,2 mm	30-75	55-90	75-100	90-100
No 30	0,6 mm	15-34	35-59	60-79	80-100
No 50	0,3 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
No 100	0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Dari tabel diatas digunakan untuk menentukan klasifikasi daerah gradasi agar mengetahui jumlah presentase agregat gabungan dan kebutuhan material yang akan digunakan untuk menyusun beton.

Kebutuhan Material Penyusun Beton

Material yang digunakan dalam pembuatan benda uji beton normal terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen dan air. Untuk menentukan jumlah kebutuhan material pertama harus merencanakan mutu beton dan melakukan pengujian agrerat terlebih dahulu. Setelah mendapatkan hasil pengujian, direncanakan mutu beton sesuai SNI 03-2834-2000 dimana target kuat tekan beton yang digunakan adalah 21,7 Mpa. Dari hasil pengujian agregat halus menunjukkan kadar lumpur yang berlebihan yang mengakibatkan menurunnya kuat tekan beton, sehingga dilakukan upaya dengan penambahan bahan aditif untuk mencapai kuat tekan beton yang telah di rencanakan. Rencana kebutuhan material yang digunakan dalam pembuatan beton 1 m³ sebagai berikut :

Tabel 2. Tabel Kebutuhan Material Beton

NO	URAIAN	KEBUTUHAN	SATUAN
1	Agregat Halus	423,26	kg/m ³
2	agregat Kasar	1088,38	kg/m ³
3	Semen	5301,11	kg/m ³
4	Air	233,25	kg/m ³

Dari tabel di atas menunjukkan kebutuhan material untuk pembuatan beton 1m³. Untuk mempermudah penelitian dilakukan pembuatan sampel uji dengan bentuk beton silinder berdiameter 15cm dan memiliki tinggi 30cm, dikarenakan kadar lumpur yang tinggi pada agregat halus maka ditambahkan zat aditif berupa Master Sure 1007 dan Master Glenium Ace 8595 sebanyak 0,35 % dari jumlah bahan pengikat. Penambahan zat aditif tersebut diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan pada mutu beton.

Pengujian Slump

Pengujian slump berfungsi untuk mengetahui workability pasta beton sebelum digunakan[16]. Pengujian slump dilakukan menggunakan alat J-Ring tester untuk mengetahui passing ability dan V-Funnel tester untuk mengetahui filling ability[17].

J-Ring

Pengujian J-ring digunakan untuk mengetahui passing ability pasta beton SCC. J-ring merupakan alat yang berbentuk lingkaran baja terbuka dengan tulangan baja vertikal. Pasta beton dinyatakan sebagai self compacting concrete jika luas aliran melewati tulangan baja hingga mencapai limpasan berdiameter 50cm dalam waktu 2 detik sampai 5 detik[18].



Gambar 1. Uji J-Ring Tester

V-funnel

Pengujian V-funnel digunakan untuk mengetahui kemampuan filling ability pasta beton SCC. Alat uji V-funnel berupa corong berbentuk V yang di bagian bawahnya terdapat pintu yang dapat dibuka tutup. Pengujian tersebut dilakukan dengan cara menuang pasta beton hingga memenuhi corong dan menghitung waktu yang dibutuhkan pasta beton untuk melewati cetat V-funnel dalam keadaan pintu terbuka.



Gambar 2. Uji V-Funnel Tester

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan universal testing machine tipe C235 yang bertujuan untuk mengetahui mutu beton yang telah direncanakan dengan mutu rencana f_c' 21,7 Mpa pada usia curing telah mencapai 28 hari. Dengan cara memasukkan sampel beton uji silinder ke dalam mesin tapi sebelumnya pastikan mesin dalam keadaan bersih agar pengujian kuat tekan merata. Kemudian mulai hitung kuat tekan beton.



Gambar 3. Uji Kuat Tekan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kelayakan Agregrat

1. Agregrat kasar

Hasil dari pengujian kelayakan agregrat kasar yang telah dilakukan menggunakan uji kadar lumpur dan keausan agregrat kasar dapat disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 3. Kadar Lumpur Agregrat Kasar

URAIAN	HASIL
WD. Sebelum dicuci	1000 gr
WD. Setelah dicuci	991 gr
Kadar Lumpur	0.9 %

Dari Tabel 3 didapatkan jumlah kadar lumpur agregrat kasar sebesar 0,9 % sehingga memenuhi batas kadar lumpur maksimal yang ditentukan.

Tabel 4. Keausan Agregrat Kasar

URAIAN	HASIL
WD. Sebelum Uji	5000 gr
WD. Setelah Uji	3200 gr
Keausan	36 %

Dari Tabel 4 didapatkan jumlah keausan agregrat kasar sebesar 36 % sehingga memenuhi batas kadar lumpur maksimal yang ditentukan.

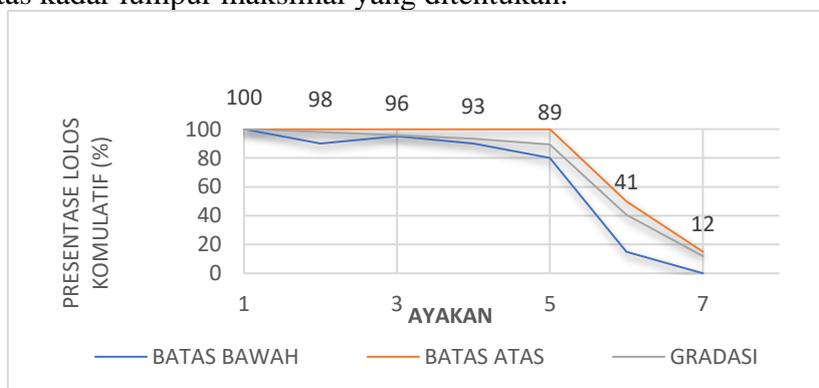
2. Agregrat halus

Hasil dari pengujian kelayakan agregrat halus yang telah dilakukan menggunakan uji kadar lumpur dan gradasi ayakan dapat disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 5. Kadar Lumpur Agregrat Halus

URAIAN	HASIL
Tinggi Pasir	268 ml
Tinggi Lumpur	32 ml
Kadar Lumpur	10.67 %

Dari Tabel 3 didapatkan jumlah kadar lumpur agregrat halus sebesar 10,67 % sehingga melampaui batas kadar lumpur maksimal yang ditentukan.



Gambar 4. Grafik Gradasi Ayakan

Dari tabel di atas menunjukkan hasil uji gradasi ayakan menggunakan saringan ukuran ¼ sampai saringan No. 100 pada jumlah berat tertahan sebesar 1000 gr atau 100 % dari jumlah total sesuai prosedur SNI 2834-2000. Dari pengujian gradasi ayakan didapatkan klasifikasi ke dalam daerah 4, dengan demikian menyimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan sebagai penyusun material beton didominasi oleh diameter partikel yang lebih kecil dari daerah klasifikasi lain. Jumlah prosentase agregat gabungan yang digunakan adalah 28% untuk agregat halus dan 72 % untuk agregat kasar. Parameter jumlah agregat gabungan dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah kebutuhan material penyusun beton.

Kebutuhan Material Penyusun Beton

Adapun rencana kebutuhan jumlah material pada pembuatan benda uji beton dapat disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 6. Kebutuhan Material Beton

NO	URAIAN	KET
1	Jenis Benda Uji	Silinder
2	Volume	0,005 m ³
3	Bahan Penyusun	
	Ag Kasar	7,042 kg
	Ag Halus	2,739 kg
	Pengikat	3,430 kg
	- Semen Master	99,3 % 3,406 kg
	- Sure Master	0,35 % 0,012 kg
	- Glenium Master	0,35 % 0,012 kg
	Air	1,509 lt
	TOTAL	14,720 kg

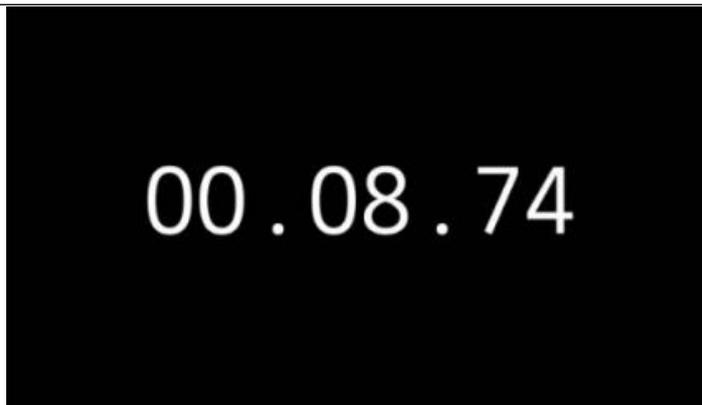
Sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton dengan penggunaan material penyusun agregat halus yang tidak sesuai dengan kriteria, maka direncanakan menggunakan bahan penyusun lain berupa bahan aditif Master glenium dan Master sure masing – masing sejumlah 0,35% dari total material pengikat.

Pengujian Slump

Pada pengujian slump menggunakan J-ring tester pasta beton yang dikombinasikan dengan bahan aditif mendapatkan hasil dengan sebagai berikut :



Gambar 5. Uji slump menggunakan J-ring Tester

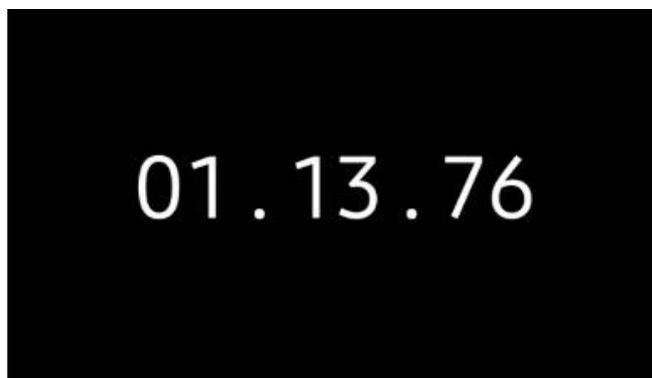


Gambar 6. Durasi waktu uji slump

Gambar diatas menunjukkan pengujian slump menggunakan alat J-Ring untuk dapat mencapai D50 dibutuhkan durasi 8,74 detik. Sebagai implementasi kemampuan filling ability pasta beton perlu dilakukan uji slump menggunakan V-funnel tester, dengan hasil dapat disajikan pada gambar 7 dan gambar 8 sebagai berikut :



Gambar 7. Uji slump menggunakan V-funnel tester

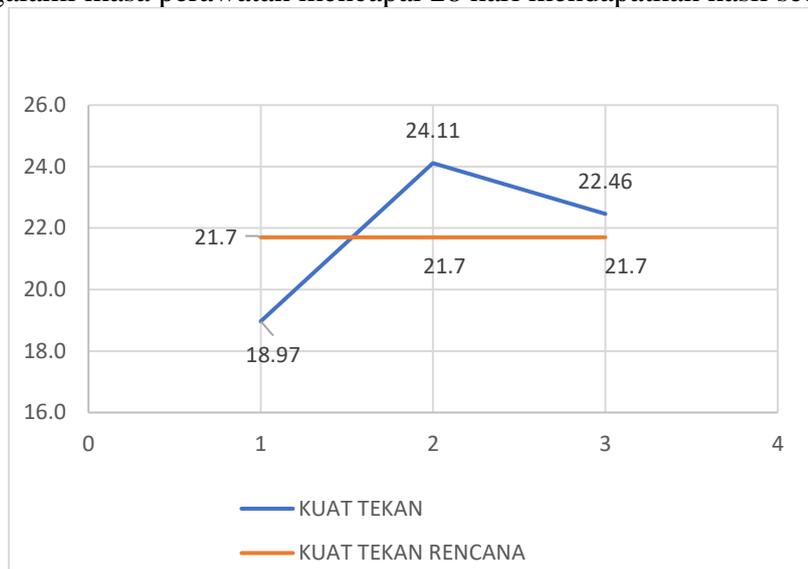


Gambar 8. Durasi waktu uji slump

Gambar diatas menunjukkan pengujian slump menggunakan alat V-funnel, pasta beton dapat mengalir mengisi ruang hanya memerlukan durasi 1 menit 13,76 detik.

Pengujian Kuat Tekan

Pada uji kuat tekan beton menggunakan alat Universal Testing Machine sebagai setelah benda uji beton mengalami masa perawatan mencapai 28 hari mendapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 9. Grafik Kuat Tekan Beton

Dari Gambar 9 menunjukkan kuat tekan beton dari setiap sampel sehingga didapatkan kuat tekan rata rata 21,85 Mpa. Nilai tersebut melampaui nilai kuat tekan rencana 21,7 Mpa. Sehingga hasil tersebut telah melebihi kuat tekan rencana hingga mencapai 0,7%.

KESIMPULAN

Dari dilaksanakannya penelitian didapatkan kesimpulan bahwa agregat halus yang dipergunakan sebagai bahan penyusun material beton memiliki kadar lumpur sebesar 10,67% sehingga melebihi batas kadar lumpur maksimal, klasifikasi daerah gradasi ayakan agregat halus masuk kedalam zona klasifikasi daerah 4, sehingga agregat halus yang digunakan sebagai penyusun material beton didominasi oleh diameter partikel yang lebih kecil dari daerah klasifikasi lain. Untuk memperoleh kuat tekan sesuai dengan target rencana, penggunaan bahan aditif Master Sure dan Master Glenium sebanyak 0,35% dari jumlah total pengikat terbukti efektif untuk meningkatkan kualitas kuat tekan beton. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil uji slump pasta beton menggunakan J-ring tester mampu mencapai D50 hanya berdurasi 8,74 detik, dan pada uji slump menggunakan V-funnel tester mampu melewati celah alat uji hanya memerlukan durasi 1,13 detik, hal tersebut mengindikasikan pasta beton mampu memadat dengan sendirinya (SCC). Pada implementasi akhir, dari hasil uji kuat tekan beton dari setiap sampel didapatkan kuat tekan rata rata 21,85 Mpa, hasil tersebut telah melebihi 0,7% kuat tekan rencana 21,7 Mpa. Dengan demikian penggunaan bahan aditif Master Sure dan Master Glenium sebanyak 0,35% dari jumlah total pengikat mampu meningkatkan kuat tekan beton.

REFERENSI

- [1] A. K. Hadi, S. Supardi, M. Maruddin, A. A. A. Yusuf, and R. Hidayat, "Metode Self Compacting Concrete (Scc) Terhadap Sifat Mekanis Beton," vol. 6, no. 1, pp. 32–38, 2021.
- [2] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, and D. Hui, "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials , methods , applications and

- challenges,” *Compos. Part B*, vol. 143, no. February, pp. 172–196, 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
- [3] G. Vitri and H. Herman, “Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton,” *J. Tek. Sipil ITP*, vol. 6, no. 2, pp. 78–87, 2019, doi: 10.21063/jts.2019.v602.06.
- [4] P. Y. Putri, F. Teknik, and U. N. Padang, “ANALISIS KEKUATAN BETON NORMAL MENGGUNAKAN PASIR,” vol. 9, no. 3, pp. 310–318, 2022.
- [5] A. D. Gashahun, “Investigating sand quality effect on concrete strength: a case of Debre Markos and its vicinities,” *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 22, no. 12, pp. 2234–2242, 2022, doi: 10.1080/15623599.2020.1774838.
- [6] F. T. Sipil, P. Universitas, J. Jl, and R. Bogor, “PENGARUH LUMPUR PADA PASIR TERHADAP KEKUATAN BETON Eri Setia Romadhon 1 1,” vol. 20, no. 2, pp. 25–34, 2021.
- [7] M. Hudori, M. Tandedi, A. T. Sentanu, M. A. Ferdinand, and I. Artikel, “Studi Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus pada Pasir di Kota Batam,” vol. 7, no. 1, pp. 96–103, 2022.
- [8] G. T. Tambing, N. Martina, M. Fathur, R. Hasan, J. T. Sipil, and P. N. Jakarta, “ANALISIS MUTU BETON BERTULANG PEKERJAAN RETAINING WALL JALAN TOL PADA PROYEK Z,” vol. 8, no. 3, pp. 169–174, 2021.
- [9] Y. Nugraha, H. Prayuda, and F. Saleh, “Pengaruh Variasi Bahan Tambah Abu Sekam Padi dan Zat Adiktif Bestmittel 0,5% SALEH,” *Semesta Tek.*, vol. 20, no. 2, pp. 116–124, 2017.
- [10] D. H. Sukmaningtyas, A. Azizi, and M. A. S. Al Fathoni, “Analisis Kuat Tekan Beton Fast Track Dengan Bahan Tambah Master Glenium Ace 8111,” *CIVeng J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 1, no. 2, pp. 77–86, 2020, doi: 10.30595/civeng.v1i2.9299.
- [11] B. S. Struktur, D. T. Sipil, F. Teknik, and U. S. Utara, “REKAYASA EKSPERIMEN BETON DENGAN PENAMBAHAN ADITIF MASTERSURE 1007 UNTUK MENDAPATKAN BETON SLUMP FLOW YANG STABIL PADA BETON DENGAN MUTU TUGAS AKHIR Diajukan untuk melengkapi syarat penyelesaian Pendidikan Sarjana Teknik Sipil,” 2018.
- [12] K. Pustaka, “PENERAPAN SELF COMPACTING CONCRETE (SCC) PADA BETON MUTU NORMAL Oleh : Yogie Risdianto *),” vol. 08, pp. 54–60, 2010.
- [13] S. Nasional, I. Ics, and B. S. Nasional, “Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar,” 2008.
- [14] “PENGARUH KADAR LUMPUR PADA AGREGAT HALUS DALAM MUTU BETON Purwanto, Yulita Arni Priastiwi *),” pp. 46–52.

-
- [15] Y. Xiao and E. Tutumluer, “Gradation and Packing Characteristics Affecting Stability of Granular Materials: Aggregate Imaging-Based Discrete Element Modeling Approach,” *Int. J. Geomech.*, vol. 17, no. 3, p. 04016064, 2017, doi: 10.1061/(asce)gm.1943-5622.0000735.
- [16] S. Yaseri, G. Hajiaghaei, F. Mohammadi, M. Mahdikhani, and R. Farokhzad, “The role of synthesis parameters on the workability, setting and strength properties of binary binder based geopolymer paste,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 157, pp. 534–545, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.102.
- [17] M. Omrane, S. Kenai, E. H. Kadri, and A. Aït-Mokhtar, “Performance and durability of self compacting concrete using recycled concrete aggregates and natural pozzolan,” *J. Clean. Prod.*, vol. 165, pp. 415–430, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.139.
- [18] V. Nomor and F. Beton, “Jurnal Talenta Sipil,” vol. 5, pp. 320–328, 2022, doi: 10.33087/talentasipil.v5i2.80.