

UJI KUAT LEKAT DAN PENJANGKARAN BETON MEMADAT MANDIRI DENGAN BAHAN TAMBAH AKTIVATOR ALKALI DAN METAKAOLIN

Wibowo^{1*}, Achmad Basuki¹, dan Muchsan Maulana Sanjaya¹

Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36 A, Kentingan, Surakarta 57126, Telp (0271)647069, Fax 662118

*Email : wibowo68@staff.uns.ac.id

Abstract

High-strength self-compacting concrete is concrete that is able to fill empty spaces with its weight without the need for a compactor and has a compressive strength value greater than or equal to 41.4 MPa. The bonding strength is the ability of concrete to bind reinforcing steel to resist shear. The bond strength will also increase with the depth of the reinforcing steel anchorage. This research uses experimental methods in the form of pull-out tests in the laboratory and theoretical tests using regression analysis methods. The test samples used are cylindrical with dimensions of 15 cm in diameter and 30 cm high and 70 cm long embedded reinforcement thread steel and 10 mm diameter with a total test sample of 12 pieces. Metakaolin-added material used as much as 17.5% of the weight of cement and variations in the ratio of alkaline activators (Na_2SiO_3 and NaOH) respectively amounted to 0; 0,5; 1; and 1.5. The results of the tests carried out showed that the addition of an alkaline activator with a ratio of 2/2 and 2/3 did not meet the requirements of the *v-funnel* test and the ratio of an alkaline activator 3/2 did not meet the requirements of the *l-box* test. The results of the compressive strength test showed that all test samples were included in high-quality concrete with the highest value found in the ratio of alkaline activators of 2/2 which had a compressive strength value of 46.90 MPa. Testing of the bond strength and anchoring capacity was carried out at the age of 28 days, this test used a Universal Testing Machine (UTM) with an additional dial to measure the slip that occurred in the reinforcing steel of the test object. A bond strength test when a 2.5 mm slip occurs on a variation of the alkali activator ratio of 0; 0,5; 1; and 1.5 yields a large consecutive value of 0.9585 MPa; 1.1318 MPa; 1.1671 MPa; and 0.9372 MPa. Based on the test results, the highest value of the bond strength occurred in the variation of the ratio of alkaline activator of 1, this is because the mixture of alkaline activators between NaOH and Na_2SiO_3 is completely mixed and able to act perfectly with metakaolin material which acts as a *pozzolan* replacing cement that functions as an adhesive on concrete.

Keywords: Alkaline activator, anchorage, bonding strength test, self-compacting concrete, metakaolin.

Abstrak

Beton mutu tinggi memadat mandiri adalah beton yang mampu mengisi ruang-ruang kosong dengan berat sendiri tanpa memerlukan bantuan alat pemadat serta memiliki nilai kuat tekan lebih besar atau sama dengan 41,4 MPa. Kuat lekat merupakan kemampuan beton dalam mengikat baja tulangan untuk menahan geser. Kuat lekat juga akan meningkat seiring dengan kedalaman penjangkaran baja tulangan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental berupa pengujian kuat lekat yang dilakukan di laboratorium dan uji teoritikal dengan menggunakan metode analisis regresi. Sampel uji yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Baja ulir tulangan yang tertanam sepanjang 70 cm dan diameter 10 mm dengan total sampel uji 12 buah. Bahan tambah metakaolin yang digunakan sebanyak 17,5% dari berat semen dan variasi perbandingan aktivator alkali (Na_2SiO_3 dan NaOH) berturut-turut sebesar 0; 0,5; 1; dan 1,5. Hasil dari pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa pada penambahan aktivator alkali dengan perbandingan 2/2 dan 2/3 tidak memenuhi syarat uji *v-funnel* test dan pada perbandingan aktivator alkali 3/2 tidak memenuhi syarat *l-box* test. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa semua sampel uji termasuk dalam beton mutu tinggi dengan nilai tertinggi terdapat pada perbandingan aktivator alkali sebesar 2/2 yang memiliki nilai kuat tekan sebesar 46,90 MPa. Uji kuat lekat dan penjangkaran dilakukan pada sampel yang telah berumur 28 hari, pengujian ini menggunakan *Universal Testing Machine (UTM)*. Uji kuat lekat saat terjadi slip 2,5 mm pada variasi perbandingan aktivator alkali 0; 0,5; 1; dan 1,5 menghasilkan besar nilai berturut-turut 0,9585 MPa; 1,1318 MPa; 1,1671 MPa; dan 0,9372 MPa. Berdasarkan hasil pengujian tersebut nilai kuat lekat tertinggi terjadi pada variasi perbandingan aktivator alkali sebesar 1, hal ini dikarenakan campuran pada alkali aktivator antara NaOH dan Na_2SiO_3 tercampur secara total dan mampu beraksi dengan sempurna dengan bahan metakaolin yang berperan sebagai *pozzolan* menggantikan semen yang berfungsi sebagai perekat pada beton.

Kata Kunci : Aktivator alkali, beton memadat mandiri, uji kuat lekat, metakaolin, penjangkaran.

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan utama dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia. Kebutuhan akan beton berbanding lurus dengan perkembangan pembangunan infrastruktur di Indonesia. Berbagai penelitian dan inovasi terhadap beton selalu dilakukan seiring dengan berjalannya waktu untuk mendapatkan mutu serta kualitas yang lebih baik. Beton mutu tinggi memadat mandiri menjadi salah satu inovasi yang diciptakan guna menghasilkan beton dengan kuat tekan tinggi dan dalam pengerjaannya tidak membutuhkan bantuan alat pemadat (*vibrator*) karena beton dapat mengisi ruang-ruang sempit dengan sendirinya. Konsep beton memadat sendiri pertama kali diusulkan oleh Okamura pada tahun 1986, dan prototipenya pertama kali dikembangkan oleh Ozawa di Universitas Tokyo pada tahun 1988 (Okamura, 1997; Ozawa, 1999). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mempelajari karakteristik beton memadat sendiri, baik mix-design (Aslani dan Nejadi, 2012) maupun kelebihan dan kekurangan dari beton memadat sendiri (Shi dkk., 2015). Riset tentang bahan tambah pada beton memadat sendiri juga telah dilakukan, antara lain menggunakan *fly-ash* (Khatib, 2008) dan limbah beton (Grdic dkk., 2010; Sun dkk., 2020). Perancangan beton memadat sendiri yang lebih ramah lingkungan juga telah dibahas dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan semen (Hunger, 2010; Long dkk., 2015). Pada penelitian ini digunakan bahan tambah berupa metakaolin sebesar 17,5% dari berat semen dan variasi perbandingan aktivator alkali sebesar 0; 0,5; 1 dan 1,5.

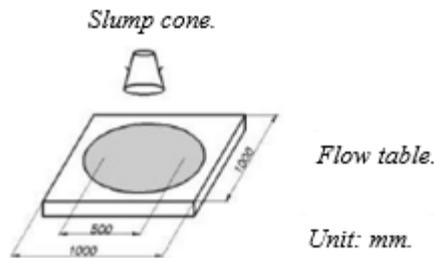
SNI 03-6468-2000 tentang tata cara perencanaan campuran tinggi dengan semen *Portland* dengan abu terbang, beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kekuatan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. *Pozzolan* adalah bahan tambah yang memiliki kandungan silika atau aluminosilika dalam jumlah tertentu dan akan memiliki sifat seperti semen saat bereaksi dengan air (Nurkhasan, 2020). Penambahan *pozzolan* pada campuran beton mampu meningkatkan mutu beton serta mengurangi penggunaan semen sehingga dapat menurunkan pencemaran lingkungan. Salah satu bahan yang digunakan sebagai *pozzolan* adalah metakaolin. Metakaolin adalah hasil dari pemanasan kaolin pada suhu 600°C – 900°C. Metakaolin mampu meningkatkan kerapatan pada beton karena ukuran partikel yang lebih kecil dari pada semen. Untuk mengaktifkan reaksi polimerisasi, metakaolin yang memiliki unsur silika (Si) dan alumina (Al) direaksikan dengan larutan alkali sebagai aktivatornya. Aktivator alkali akan berperan dalam reaksi yang mampu menghasilkan pasta sebagai pengikat agregat. Aktivator alkali yang digunakan merupakan campuran dari natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH). Penelitian ini meninjau kuat lekat yang terjadi pada beton uji dan baja tulangan yang tertanam dengan cara menarik baja tulangan sampai pada batas tertentu untuk menentukan *bond strength* yang timbul akibat penambahan metakaolin dan variasi perbandingan alkali aktivator tersebut. Tegangan lekat yang terjadi antara beton dan tulangan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain ikatan antara hasil reaksi dan tulangan pada seluruh bidang kontak, tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci pada saat elemen penguat atau tulangan mengalami tegangan tarik (Azizah, 2018). Nilai kuat tekan yang kecil terjadi ketika kedalaman penjangkaran dangkal karena lekatan yang terjadi belum optimal dan sebaliknya ketika penjangkaran cukup dalam maka kuat tekan yang didapat besar akibat kelekatan yang terjadi optimal dimana baja tulangan mengalami plastis. Uji kuat lekat dan penjangkaran yang dilaksanakan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM).

METODE

Penelitian tentang uji kuat lekat dan penjangkaran yang telah dilakukan menggunakan sampel uji beton berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Bahan tambah metakaolin yang digunakan memiliki kadar 17,5% dari berat binder dan menggunakan faktor air semen sebesar 0,31. Perbandingan aktivator alkali (Na_2SiO_3 dan NaOH) yang digunakan berturut-turut adalah 0; 0,5; 1; dan 1,5. *Superplasticizer* yang digunakan sebesar 1,5% dari berat binder. Setiap variasi perbandingan Na_2SiO_3 dan NaOH dibuat 3 buah beda uji dan molaritas NaOH ditentukan sebesar 10M. Sampel yang digunakan untuk pengujian ini berumur 28 hari. Material yang digunakan diuji kelayakannya terlebih dahulu. Pengujian tersebut diantaranya pengujian berat jenis, kandungan lumpur, gradasi, absorpsi, dan kandungan lumpur dalam pasir sebagai agregat halus. Pengujian untuk kerikil sebagai agregat kasar diantaranya pengujian abrasi, berat jenis, gradasi, absorpsi. Rancang campur beton mutu tinggi memadat mandiri pada penelitian ini merujuk pada EFNARC 2005, dengan kuat tekan rencana lebih dari 41,4 MPa.

Pengujian pada beton segar dilakukan untuk mengetahui apakah beton termasuk dalam kategori *Self-Compacting Concrete* (SCC). Beton segar diuji dengan 3 jenis pengujian, yaitu:

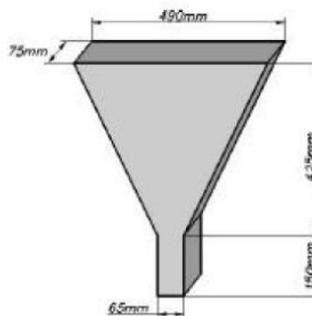
1. Pengujian *Slump Flow*



Gambar 1. *Slump cone* dan *flow table*

Cara pengujian *slump flow* adalah dengan menyiapkan papan alir (*flow table*) dan kerucut *abrams*, kemudian dibasahi dengan air dan meletakkan ditempat yang datar (amati dengan *waterpass*). Meletakkan kerucut *abrams* di bagian tengah lingkaran diameter 50 cm pada papan aliran. Menuangkan beton segar ke dalam kerucut *abrams* dan meratakan permukaannya. Mengangkat kerucut *abrams* secara tegak lurus vertikal keatas perlahan-lahan sehingga campuran beton segar menyebar di atas papan aliran. Mencatat waktu yang dibutuhkan beton segar melewati diameter 500 mm (t_{500}) dan mengukur diameter sebaran beton memadat mandiri tersebut. Mencatat hasil diameter dari ukuran *slump* di dua titik yang berbeda.

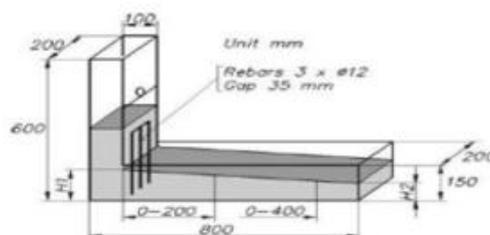
2. Pengujian *V-funnel*



Gambar 2. *V-funnel*

Cara pengujian *V-funnel* adalah menyiapkan *V-funnel* dengan pintu *V-funnel* yang sudah dilumuri dengan oli supaya mudah untuk digerakkan. Meletakkan *V-funnel* pada bidang yang datar. Menuangkan beton segar ke dalam *V-funnel*. Menggeser pintu *V-funnel* supaya beton segar dapat mengalir. Menghitung waktu yang dibutuhkan agar beton mengalir semua. Mencatat waktu yang sudah didapat.

3. Pengujian *L-box*



Gambar 3. *L-box*

Cara pengujian *L-box* adalah menyiapkan *L-box* dengan pintu *L-box* sudah dilumuri dengan oli supaya mudah untuk digerakkan. Meletakkan pada bidang yang datar. Menuangkan beton segar ke dalam prisma *L-box* vertikal yang berukuran 20x10x60. Memasukkan beton segar sampai penuh lalu diratakan. Mengangkat pintu *L-box* supaya beton

segar dapat mengalir. Mencatat waktu yang dibutuhkan beton segar sampai beton segar berhenti mengalir. Mengukur ketinggian beton yang tersisa pada sisi prisma vertikal berukuran 20x10x60 sebagai H₁ dan mengukur ketinggian beton pada prisma horizontal berukuran 80x20x150 sebagai H₂. Mencatat hasil ukuran ketinggian *L-box* di dua sisi prisma.

Pelaksanaan uji kuat lekat dengan sampel uji beton berbentuk silinder yang telah berumur 28 hari yang telah ditanam baja tulangan didalamnya ditempatkan pada alat uji, baja tulangan diklem pada alat uji untuk dilakukan penarikan. Mencatat nilai yang dibutuhkan dan melakukan perhitungan terhadap tegangan lekat berdasarkan SNI 03-4809-1998 dengan Persamaan 1 dan 2

$$P = L_d \times \pi \times d_b \times f'_b \dots\dots\dots [1]$$

$$f'_b = \frac{P}{L_d \times \pi \times d_b} \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan:

- d_b = diameter baja (mm)
- P = beban (N)
- L_d = panjang penyaluran (mm)
- f'_b = tegangan lekat (MPa)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian beton segar yang dilaksanakan untuk menguji tipe beton termasuk ke dalam kategori beton memadat mandiri dengan pengujian *L-box test*, *Slump flow test*, dan *V-funnel test*. Pengujian berdasarkan ketentuan EFNARC 2005. Hasil nilai pengujian beton segar dapat dilihat pada Tabel 1. – Tabel 3.

Tabel 1. Hasil pengujian *Slump Flow Test* pada *High Strength Self-Compacting Concrete*.

Nama Benda Uji	<i>Slump Flow Test</i>							
	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d _{rerata} (mm)	Syarat (mm)	Ket	T _{500rerata} (detik)	Syarat (detik)	Ket
HSSCC – KL – 0	730	760	745	550–850	Me men uhi Syar at	2,31	2–5	Meme nuhi Syarat
HSSCC – KL – 1/2	720	730	725	550–850		2,92	2–5	
HSSCC – KL – 2/2	720	690	705	550–850		3,52	2–5	
HSSCC – KL – 3/2	680	680	680	550–850		4,46	2–5	

Tabel 2. Hasil pengujian *L-box Test* pada *High Strenth Self-Compacting Concrete*.

Nama Benda Uji	<i>L-box Test</i>				
	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₂ /h ₁	Syarat	Keterangan
HSSCC – KL – 0	8,90	9,30	0,96	0,8–1,0	Memenuhi
HSSCC – KL – 1/2	8,40	9,30	0,90	0,8–1,0	Memenuhi
HSSCC – KL – 2/2	7,90	9,70	0,81	0,8–1,0	Memenuhi
HSSCC – KL – 3/2	5,80	10,20	0,57	0,8–1,0	Tidak Memenuhi

Tabel 3. Hasil pengujian *V-funnel Test* pada *High Strength Self-Compacting Concrete*.

Nama Benda Uji	<i>V-funnel Test</i>		
	Waktu (detik)	Syarat (detik)	Keterangan
HSSCC – KL – 0	6,87	6–12	Memenuhi
HSSCC – KL – 1/2	9,39	6–12	Memenuhi
HSSCC – KL – 2/2	13,57	6–12	Tidak Memenuhi
HSSCC – KL – 3/2	17,46	6–12	Tidak Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian *slump test* yang dilaksanakan menunjukkan bahwa semua sampel uji telah memenuhi syarat sebagai beton memadat mandiri. Lalu pada pengujian *l-box test* terdapat satu benda uji yang tidak memenuhi kriteria beton memadat mandiri yaitu pada perbandingan alkali aktivator 3/2. Pada pengujian *v-funnel test* terdapat 2 benda uji yang tidak memenuhi syarat sebagai beton memadat mandiri yaitu pada perbandingan aktivator alkali 2/2 dan 3/2. Hal ini dikarenakan aktivator alkali tidak bercampur dengan sempurna dan tidak dapat bereaksi dengan metakaolin secara keseluruhan sehingga sifat dari aktivator alkali menurunkan kemampuan beton segar dalam mengalir sehingga membuat beton tidak lolos dalam pengujian untuk beton memadat mandiri.

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik baja

Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	P Leleh (kgf)	P maks (kgf)	Fy (MPa)	Fy Rata-Rata
A	10	78,01	3280	4880	480,45	
B	10	75,27	2720	3930	361,39	380,92 MPa
C	10	72,59	2620	3760	360,94	

Tabel 5. Rekapitulasi rata-rata hasil pengujian kuat tekan beton mutu tinggi memadat mandiri

No.	Nama Benda Uji	Umur (hari)	Kuat Tekan (MPa)	Kenaikan (%)
1	HSSCC 0	28	41,71	0
2	HSSCC 1/2	28	43,69	4,75
3	HSSCC 2/2	28	46,90	12,44
4	HSSCC 3/2	28	44,73	7,24

Data pengujian kuat tarik baja menghasilkan nilai tegangan luluh rata-rata sebesar 380,92 MPa. Berdasarkan hasil pengujian *Compression Testing Machine* (CTM) seluruh benda uji sudah memenuhi syarat *high strength* berdasarkan SNI dimana kuat tekan yang disyaratkan pada *high strength concrete* adalah sebesar 41,4 MPa.

Uji kuat lekat (*pull out test*) yang dilaksanakan dengan alat yang bernama *Universal Testing Machine* (UTM) terhadap sampel uji dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sampel uji yang digunakan berumur 28 hari dengan baja tulangan ulir yang tertanam berdiameter 10 mm. Pengujian dilakukan dengan menarik baja yang tertanam kemudian mencatat gaya yang dibutuhkan untuk membuat baja mengalami slip sebesar 2,5 mm dan akan berhenti saat mencapai nilai maksimal (jarum pembacaan sudah berbalik). Data-data yang diambil pada pengujian meliputi besar gaya cabut dan slip untuk mengetahui kuat lekat dan menganalisis perilaku hubungan *load* terhadap slip pada setiap sampel uji.

Hasil pengujian kuat lekat beton pada sampel HSSCC dengan baja tulangan ulir berdiameter 10 mm dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

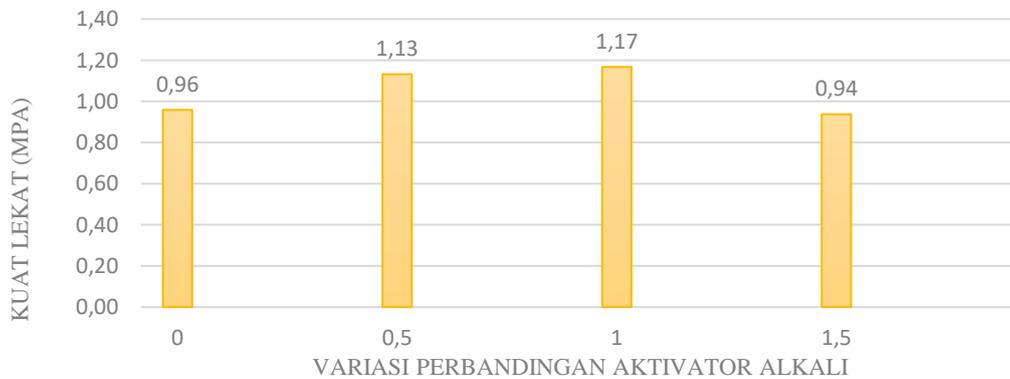
Tabel 6. Hasil perhitungan kuat lekat pada saat slip 2,5 mm.

No.	Benda Uji	$P_{\text{saat Slip 2,5 mm}}$ (N)	Kuat lekat (MPa)	Kuat lekat rata-rata (MPa)
1	HSSCC – KL – 0 A	6000	0,64	
2	HSSCC – KL – 0 B	17100	1,81	0,96
3	HSSCC – KL – 0 C	4000	0,42	
4	HSSCC – KL – 1/2 A	17000	1,80	
5	HSSCC – KL – 1/2 B	3000	0,32	1,13
6	HSSCC – KL – 1/2 C	12000	1,27	
7	HSSCC – KL – 2/2 A	12000	1,27	
8	HSSCC – KL – 2/2 B	12000	1,27	1,17
9	HSSCC – KL – 2/2 C	9000	0,95	
10	HSSCC – KL – 3/2 A	11000	1,17	
11	HSSCC – KL – 3/2 B	8500	0,90	0,94
12	HSSCC – KL – 3/2 C	7000	0,74	

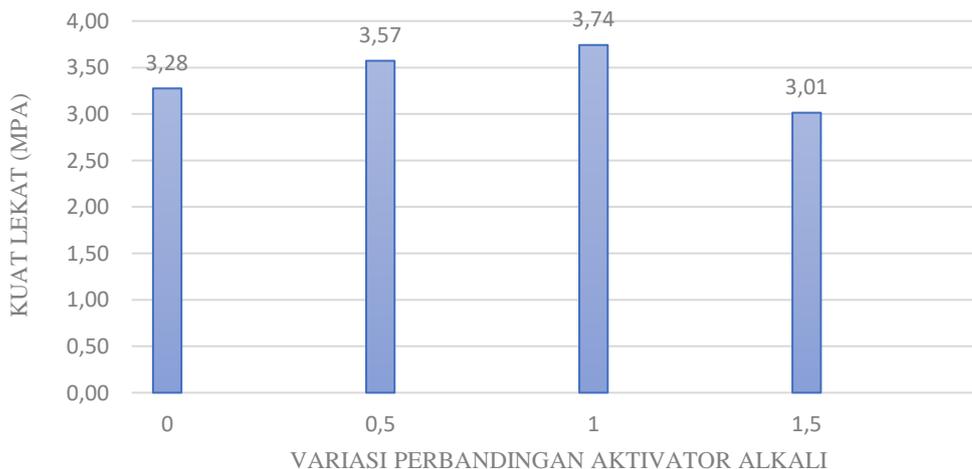
Tabel 7. Hasil perhitungan kuat lekat pada saat P_{maks}

No.	Benda Uji	P_{maks} (N)	Kuat lekat (MPa)	Kuat lekat rata-rata (MPa)
1	HSSCC – KL – 0 A	31200	3,31	
2	HSSCC – KL – 0 B	28800	3,06	3,28
3	HSSCC – KL – 0 C	32600	3,46	
4	HSSCC – KL – 1/2 A	29800	3,16	
5	HSSCC – KL – 1/2 B	29400	3,12	3,57
6	HSSCC – KL – 1/2 C	41800	4,44	
7	HSSCC – KL – 2/2 A	29400	3,12	
8	HSSCC – KL – 2/2 B	40000	4,24	3,74
9	HSSCC – KL – 2/2 C	36400	3,86	
10	HSSCC – KL – 3/2 A	29400	3,12	
11	HSSCC – KL – 3/2 B	26600	2,82	3,01
12	HSSCC – KL – 3/2 C	29200	3,10	

Dari hasil perhitungan Tabel 6 dan Tabel 7 dibuat grafik yang menunjukkan besarnya kuat lekat yang terjadi pada beton dengan tulangan ulir berdiameter 10 mm yang diuji saat slip sebesar 2,5 mm dan saat pembebanan mencapai nilai maksimal terlihat seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 4. Grafik besarnya kuat lekat saat terjadi slip sebesar 2,5 mm pada tulangan ulir berdiameter 10 mm



Gambar 5. Grafik besarnya kuat lekat saat P_{maks} pada tulangan ulir berdiameter 10 mm

Hasil penelitian menunjukkan pengaruh penambahan aktivator alkali mempengaruhi kuat lekat antara baja tulangan dengan beton dimana pada beton tanpa menggunakan aktivator alkali memiliki nilai kuat lekat yang lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan aktivator alkali, namun pada penambahan aktivator alkali dengan perbandingan terbesar memiliki nilai kuat lekat di bawah beton tanpa aktivator alkali. Dari Tabel 6 dan Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa kuat lekat tertinggi terjadi pada penambahan alkali aktivator dengan perbandingan 2/2. Hal ini menunjukkan bahwa kuat lekat yang terjadi pada HSSCC lebih kuat dibandingkan dengan beton normal. Penurunan nilai terjadi pada perbandingan alkali aktivator 3/2 yang diakibatkan oleh kadar Na_2SiO_3 yang berlebih menjadikan campuran beton tidak homogen karena Na_2SiO_3 yang berlebih tidak bereaksi terhadap metakaolin dan NaOH.

SIMPULAN

Penambahan metakaolin dan variasi perbandingan aktivator alkali (Na_2SiO_3 dan NaOH) pada campuran beton uji yang dibuat mengalami penurunan *workability* beton. Penambahan aktivator alkali dengan perbandingan 2/2 dan 3/2 tidak memenuhi syarat *V-funnel test*, sedangkan untuk *L-box test* beton dengan perbandingan aktivator alkali 3/2 tidak memenuhi persyaratan *passing ability*. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa semua benda uji termasuk dalam beton mutu tinggi dengan kuat tekan tertinggi terdapat pada perbandingan aktivator alkali sebesar 2/2 yang

memiliki nilai kuat tekan sebesar 46,90 MPa. Penambahan metakaolin dan aktivator alkali pada kadar tertentu dapat meningkatkan nilai kuat lekat beton. Pada penelitian ini didapat bahwa kadar perbandingan optimum untuk kuat lekat beton adalah 2/2 dengan nilai kuat lekat rata-rata yang dihasilkan sebesar 3,74 MPa atau 14,25% lebih tinggi dari beton kontrol yang mempunyai nilai kuat lekat rata-rata 3,28 MPa.

REKOMENDASI

Rekomendasi supaya mampu menghasilkan inovasi yang lebih bervariasi dan memiliki nilai lebih baik adalah sebagai berikut:

1. Rancang campuran yang digunakan memiliki nilai f_c yang berbeda serta jenis semen yang berbeda.
2. Perbandingan aktivator alkali yang lebih bervariasi lagi untuk mengetahui nilai optimum aktivator alkali yang lebih akurat.
3. Panjang kedalaman baja tulangan yang berbeda untuk mengetahui perubahan signifikan yang terjadi pada kuat lekat beton dan baja tulangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini. Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan sampai dapat dipublikasikan. Penulis memahami masih banyak kekurangan dari jurnal ini sehingga penulis menerima kritik dan saran agar dapat menjadikan jurnal ini menjadi lebih baik lagi.

REFERENSI

- Anonim. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim. 1998. SNI 03-4809-1998 Metode Pengujian untuk Membandingkan Berbagai Beton Berdasarkan Kuat Lekat yang Timbul Terhadap Tulangan, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim. 2000. SNI 03-6468-2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abuterbang, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Aslani, F. and Nejadi, S., 2012. Mechanical properties of conventional and self-compacting concrete: An analytical study. *Construction and Building Materials*, 36, pp.330-347.
- Azizah, I. S. 2018. Pengaruh Variasi Kedalaman Penjangkaran Terhadap Kuat Lekat (Bond Strength) Tulangan Baja Polos Pada Beton Normal, Beton Ringan dan Beton Mutu Tinggi. Thesis. Universitas Mataram.
- Grdic, Z.J., Toplicic-Curcic, G.A., Despotovic, I.M. and Ristic, N.S., 2010. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 24(7), pp.1129-1133.
- Hunger, M., 2010. *An integral design concept for ecological self-compacting concrete*. University of Technology.
- Khatib, J.M., 2008. Performance of self-compacting concrete containing fly ash. *Construction and building materials*, 22(9), pp.1963-1971.
- Long, G., Gao, Y. and Xie, Y., 2015. Designing more sustainable and greener self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 84, pp.301-306.
- Nurkhasan, S. S., Wibowo, and Safitri, E. 2020, Pemenuhan Kriteria Beton Memadat Mandiri dengan Variasi Metaakaolin terhadap Kajian Kuat Tekan Tinggi dan Modulus Elastisitas, Jurnal Matriks Teknik Sipil, vol. 8, no. 1.
- Nuroji. 2004. Studi Eksperimental Lekatan Antara Beton Dan Tulangan Pada Beton Mutu Tinggi, Media Komunikasi Teknik Sipil, vol. 12, no. 3, 27-37.
- Sun, C., Chen, Q., Xiao, J. and Liu, W., 2020. Utilization of waste concrete recycling materials in self-compacting concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, p.104930.
- Okamura, H., 1997. Self-compacting high-performance concrete. *Concrete International*, 19(7), pp.50-54.
- Ozawa, K., 1989. High-performance concrete based on the durability design of concrete structures. In *Proc. of the Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 1989*.
- Wibowo, Mediyanto, A., and Ardini, N., 2018. Kajian Kuat Lekat pada Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri dengan Metakaolin, Jurnal Matriks Teknik Sipil, vol. 6, no. 3.