

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH DAN ZAT ADITIF PADA CAMPURAN BETON TERHADAP KINERJA HUBUNGAN BALOK KOLOM (HBK) DENGAN PEMBEBANAN STATIK

Dianawanti¹⁾, Edy Purwanto²⁾, Achmad Basuki³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret,

²⁾ ³⁾Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret,

Jln Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail :eirdiana@gmail.com

Abstract

Indonesia quake causes structural building are damaged. Bad installed of stirrup reinforcement being a trigger of damaged. Many studied about modification of stirrup reinforcement but in reality it was hard to be practiced. Another solution to recover column beam connection (HBK) performance was increasing concrete quality, in this study used fly ash. But hydration process of fly ash that taking time makes the strong push on beginning and becomes weak in the end. SikaCim[®] Concrete Additive was added in order to prevent the power of pushing. Percentage of fly ash was 25 % from amount of cement and used SikaCim 250ml per cement package. This research used 3 HBK and 6 cylinders. The size of beam was 15cmx20cmx1m and column 15cmx15cmx2m. Static loading for determining pushing power and pulling power of concrete. Maximum loading of HBK fly ash+additive (HBK-AD) was 12,65 kN. Percentage of increasing load is 16.73% and 44.90 % if we compare with specimens based on research by Imam Sholehan. HBK-AD has ductility factor about 2.46 this value decrease 3.15% and 12.14%. The value of yield stiffness was about 0,40 and value of ultimate stiffness was about 0.17. Fissure starts happened when loads 4 kN, HBK-AD has smallest fissure.

Keywords: admixture, column beam connection (HBK), ductility factor, fissure, maximum load

Abstrak

Gempa yang terjadi di Indonesia mengakibatkan kerusakan struktur bangunan. Pemasangan tulangan pada HBK yang kurang baik menjadi pemicu kerusakan tersebut. Banyak penelitian mengenai modifikasi sengkang pada join untuk memperbaiki kinerjanya tetapi dalam praktiknya sulit dilaksanakan. Cara lain untuk memperbaiki kinerja daerah join yaitu dengan meningkatkan mutu beton yang digunakan, pada penelitian ini ditambahkan fly ash, namun kuat tekan awal akan menurun karena proses hidrasi semen yang lama. SikaCim[®] Concrete Additive ditambahkan untuk meningkatkan kuat tekannya. Penambahan fly ash sebanyak 25% dari berat semen dan SikaCim sebanyak 250ml/sak semen. Penelitian ini menggunakan 3 HBK dan 6 silinder. Ukuran balok 15cmx15cmx1m dan kolom 15cmx20cmx2m. Pengujian menggunakan beban statik. Beban maksimum yang dapat ditahan HBK adalah 12,65 kN. Prosentase kenaikannya yaitu 16,73% dan 44,90% jika dibandingkan dengan HBK normal dan fly ash pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Imam Sholehan. Faktor daktilitas sebesar 2,46, turun 3,15% dan 12,14%. Nilai kekakuan leleh yaitu 0,40 dan kekakuan ultimitasnya 0,17. Keretakan terjadi pada pembebanan 4 kN. HBK fly ash+aditif memiliki lebar retak terkecil. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu dengan ditambahkan fly ash dan zat aditif pada campuran beton dapat meningkatkan kapasitas beban yang ditahan oleh benda uji sehingga lebar retaknya lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Kata Kunci : aditif, beban maksimum, hubungan balok kolom (HBK), faktor daktilitas, pola retak

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah rawan gempa yang menyebabkan struktur bangunannya rusak akibat tidak mampu menahan gaya gempa. Pemasangan tulangan pada join cukup sulit dilakukan sehingga biasanya dipasang tidak sesuai dengan yang direncanakan. Hal ini yang menyebabkan kerusakan pada join sehingga berakibat pada runtuhnya bangunan struktur. Hubungan balok kolom berkinerja baik apabila sambungan tersebut memiliki sifat daktail pada balok dan mempunyai nilai kekakuan yang tinggi pada kolomnya. Selain itu, elemen-elemen kolom yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom harus memiliki kekuatan lentur yang 1,2 kali lebih besar dibandingkan dengan kuat lentur elemen-elemen balok yang merangka pada suatu pada hubungan balok-kolom yang sama. Nilai perbesaran 1,2 tersebut pada dasarnya digunakan untuk mengakomodasi nilai *overstrength* yang dimiliki oleh baja tulangan lentur balok sehingga memenuhi persyaratan kolom kuat-balok lemah (Imran, 2009). Memodifikasi tulangan sengkang merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kinerja HBK namun di lapangan sulit untuk dilaksanakan. Kinerja HBK juga dapat diperbaiki dengan meningkatkan mutu material beton, pada penelitian ini ditambahkan fly ash dan zat aditif untuk memperbaiki sifat mekanik beton. Sifat mekanik beton yang ditingkatkan pada penelitian ini yaitu kuat tekan dan kuat tarik yang akan mempengaruhi peningkatan beban yang akan diberikan pada benda uji HBK. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh HBK setelah penambahan fly ash dan zat aditif sehingga diketahui nilai daktilitas, kekakuan dan pola retak pada benda uji. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini yaitu kinerja HBK akan tetap baik meskipun tulangan

senggang yang dipasang tidak sesuai dengan rencana karena adanya peningkatan mutu beton pada daerah joint setelah penambahan *fly ash* dan zat aditif, selain itu didapatkan perbandingan jumlah material untuk campuran beton khusus untuk daerah joint.

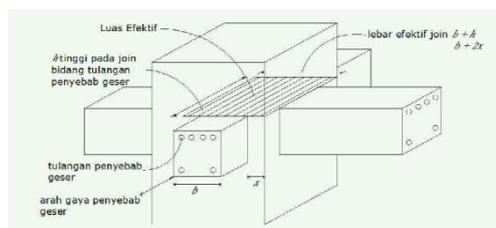
Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikel yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (Priadana, 2012). Kekuatan beton yang dicampur *fly ash* akan bertambah namun pada umur 28 hari kekuatan akan menurun. Penurunan kekuatan beton *fly ash* diakibatkan karena proses hidrasi semen yang berjalan lambat. Permasalahan ini dapat diatasi dengan penambahan zat aditif jenis akselerator untuk mempercepat proses pengeringan beton sehingga pada umur 28 hari tidak mengalami penurunan kekuatan. Penelitian ini menggunakan zat aditif akselerator jenis *SikaCim® Concrete Additive*, yaitu bahan tambah yang digunakan untuk meningkatkan kuat tekan awal beton dan dapat mengurangi faktor air semen sampai dengan 15%.

Admixture digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton. Menurut ASTM C. 494 admixture dibedakan menjadi 7 tipe yaitu tipe A, B, C, D, F, G. *SikaCim® Concrete Additive* adalah superplastisator yang termasuk pada tipe F. *SikaCim® Concrete Additive* adalah suatu zat yang terbuat dari bahan senyawa kimia yang berbentuk cairan berwarna coklat tua, dengan komposisi *Ligno Sulfonate Blend* dan *Sodium Napathelene Sulfonate LignoR-150* (PT. SIKA) bila dicampurkan dengan air ketika pengadukan beton mempercepat proses pengerasan beton (Idham, 2012).

State of the art mengenai pertemuan balok kolom (komite 352 ACI-ASCE dalam Chu Kia Wang) mencantumkan provisi yang terperinci untuk perencanaan dari dua kelas pertemuan antara balok dan kolom yaitu :

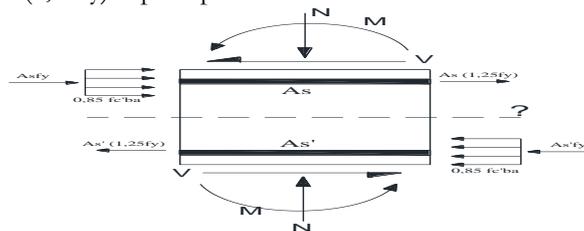
- Pertemuan tipe I, terutama untuk pembebanan statis di mana kekuatan menjadi kriteria utama dan tidak diharapkan terjadinya deformasi yang berarti. Disini hanya dibutuhkan daktilitas saja.
- Pertemuan tipe II, biasanya untuk pembebanan gempa atau ledakan dimana dibutuhkan kekuatan yang dipertahankan melalui tegangan bertukar ke dalam daerah inelastik. Disini dibutuhkan daktilitas yang dipersyaratkan dalam peraturan gempa.

Daerah efektif dalam arisan penampang HBK (Gambar 1) menjadi sangat penting untuk mempertahankan stabilitas struktur. Akibat gaya lateral yang bekerja pada struktur, momen ujung lentur pada balok-balok yang merangka pada joint yang sama akan memutar pada arah yang sama. Hal ini menimbulkan gaya geser yang besar pada hubungan balok kolom. Selama ini, daerah tersebut diperhitungkan secara kuat karena adanya sistem pengekan-gan oleh tulangan sengkang. Dalam prakteknya akan terdapat banyak sekali pertemuan dari balok dan kolom serta sengkang itu sendiri sehingga menyulitkan pelaksanaannya. Kurangnya sengkang pada daerah joint tulangan utama yang tidak terkekang dan terdesak keluar akibat tekanan yang tinggi dari inti beton. Adanya kesalahan dalam detailing dan pelaksanaan pemasangan tulangan pada joint dapat menyebabkan keruntuhan (Sholehan, 2012).



Gambar 1. Luas Efektif Hubungan Balok Kolom (HBK)

Imran (2009), gaya geser horizontal pada daerah HBK dapat diperhitungkan dengan mengasumsikan bahwa elemen lentur yang merangka pada HBK tersebut telah mencapai kapasitasnya, dengan menetapkan gaya tarik tulangan lentur balok sebesar $A_s (1,25f_y)$ seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Bebas pada Hubungan Balok Kolom

Gaya geser horizontal pada hubungan balok kolom atau joint dapat dihitung sebagai berikut :

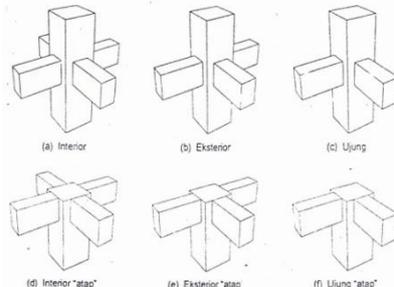
$$V_u = T_{b1} + T_{si} + T_{s2} + C_{b2} - V_{col1} \dots\dots\dots [1]$$

$$T_{b1} + T_{s1} + T_{s2} = \alpha f_y (A_{s1} + A_{s-s1} + A_{s-s2}) \dots\dots\dots [2]$$

$$C_{b2} = T_{b2} = A_{s2} \alpha f_y \dots\dots\dots [3]$$

V_u adalah gaya geser yang terjadi pada joint (kN); α adalah konstanta dengan nilai 1,25; f_y adalah kuat leleh tulangan longitudinal balok (MPa).

Ada beberapa tipe hubungan balok kolom yang dapat dijumpai pada suatu sistem struktur, tipe tersebut tergantung pada lokasi dan tempat join tersebut berada. Tipe HBK dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Jenis hubungan balok-kolom

Kuat geser yang dapat diberikan oleh HBK tergantung pada kondisi kekangan yang bekerja pada HBK. Persamaan kuat geser HBK dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{jn} = c \sqrt{f'_c} A_j \dots\dots\dots [4]$$

V_{jn} adalah gaya geser nominal joint (kN); C adalah konstanta dengan 1,7 (terkekang empat sisinya), 1,25 (terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan), dan 1 (untuk hubungan lainnya); A_j adalah luas efektif joint (mm²).

Faktor daktilitas struktur gedung (μ) adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya peledakan pertama di dalam struktur gedung, Faktor daktilitas dapat dihitung menggunakan persamaan [5].

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots [5]$$

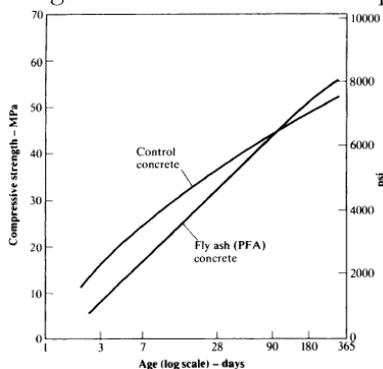
μ adalah daktilitas; Δ_u adalah simpangan maksimum struktur; Δ_y adalah simpangan saat leleh pertama.

Kekakuan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi. Kekakuan dapat diperoleh dengan cara membandingkan antara gaya dan perpindahan seperti pada persamaan [6] berikut ini :

$$K = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots [6]$$

K adalah kekakuan (kN/mm); P adalah gaya (kN); Δ adalah perpindahan (mm).

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. (Chu Kia Wang dan C. G. Salmon, 1990). Menurut A. M. Neville dan J.J Brooks dalam bukunya yang berjudul Concrete Technology, beton *fly ash* akan mengalami penurunan kuat tekannya pada umur awal. Tetapi pada umur 90 hari ke atas beton *fly ash* akan lebih besar kuat tekannya dibandingkan dengan beton normal. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik perbandingan kuat tekan beton normal dan beton *fly ash*

Gambar 4. menunjukkan bahwa kuat tekan beton *fly ash* pada umur 28 hari mengalami penurunan jika dibandingkan dengan beton normal. Untuk menaikkan kuat tekan beton *fly ash* maka ditambahkan zat adiktif

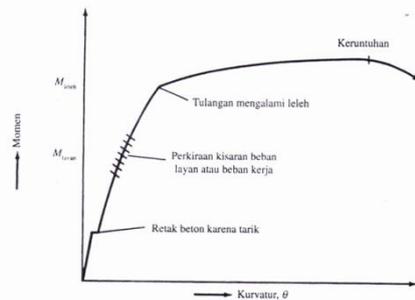
yaitu *SikaCim® Concrete Additive* supaya pada umur 28 hari kuat tekannya mendekati atau sama dengan beton normal.

Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya. (SK SNI-T-15-1991-03). Tegangan tarik yang timbul saat benda uji beton terbelah disebut *split cylinder strength*, diperhitungkan sebagai berikut :

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots [8]$$

f_t adalah kuat tarik belah (N/mm²); P adalah beban pada waktu beton terbelah (N); L adalah panjang benda uji silinder (mm); D adalah diameter benda uji silinder (mm)

Titik leleh adalah titik dimana mulai terjadi perpanjangan (deformasi) secara permanen. Menurut Jack C. McCormac, penentuan titik leleh dapat menggunakan diagram momen-kurvatur seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram momen-kurva untuk balok beton bertulang yang mengalami tarik

Retak yang terjadi pada elemen atau struktur beton terdiri dari 3 macam yaitu (Triwiyono, 2004) retak lentur (*flexural crack*) adalah retak yang terjadi akibat dari beban lentur yang jauh lebih besar dari beban gesernya. Bentuk retak ini merupakan garis lurus sejajar dengan arah gaya yang bekerja. Retak geser lentur (*flexural shear crack*) adalah retak miring yang merupakan retak lanjutan dari retak lentur yang terjadi sebelumnya. Retak geser (*shear crack*) adalah retak yang terjadi akibat gaya geser dan bentuk retak ini akan membentuk sudut 45⁰ terhadap gaya yang bekerja pada komponen tersebut.

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimental yaitu suatu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung untuk mendapatkan suatu data. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Pengujian yang dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Pengujian tersebut meliputi pengujian bahan, kuat tekan, kuat tarik belah dan pembebanan statik pada hubungan balok kolom. Benda uji yang digunakan adalah 6 buah silinder dan 3 buah HBK. Keterangan mengenai benda uji dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

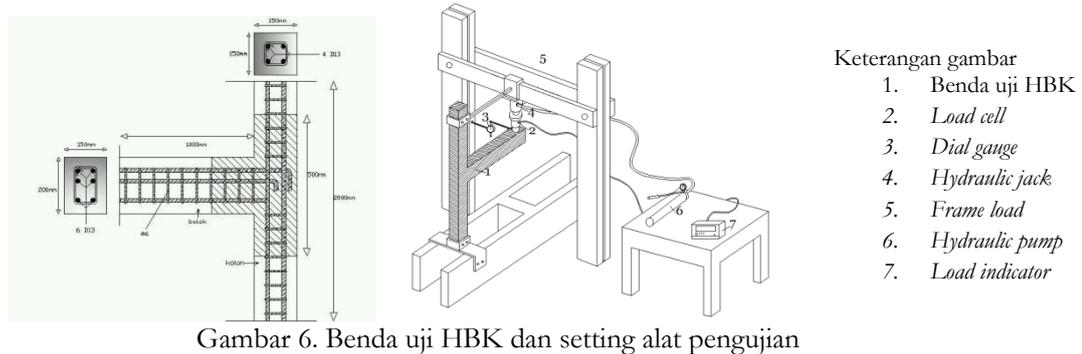
Tabel 1. Jenis benda uji silinder

Kode Benda uji	Ukuran	Prosentase fly ash	Prosentase <i>SikaCim® Concrete Additive</i>	Jumlah	Keterangan
S-AD ₁	Ø15 – H30	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji Silinder <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 1
S-AD ₂	Ø15 – H30	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji Silinder <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 2
S-AD ₃	Ø15 – H30	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji Silinder <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 3
S-AD ₄	Ø15 – H30	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji Silinder <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 4
S-AD ₅	Ø15 – H30	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji Silinder <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 5
S-AD ₆	Ø15 – H30	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji Silinder <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 6

Tabel 2. Jenis benda uji HBK

Kode Benda uji	Balok (cm)	Kolom (cm)	Prosentase fly ash	Prosentase <i>SikaCim® Concrete Additive</i>	Jumlah	Keterangan
HBK-AD ₁	15 x 20	15 x 15	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji HBK <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 1
HBK-AD ₂	15 x 20	15 x 15	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji HBK <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 2
HBK-AD ₃	15 x 20	15 x 15	25%	250ml/sak semen	1	Benda Uji HBK <i>Fly Ash</i> +Aditif 28 hari ke 3

Tahapan penelitian yaitu tahap persiapan bahan material, tahap pengujian bahan, perencanaan campuran, pembuat adukan beton, pengujian slump, pengecoran, perawatan benda uji, pengujian kuat tekan dan kuat tarik, pengujian beban statik, dan tahap analisis data. Benda uji hubungan balok kolom dan gambar setting alat dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6. Benda uji HBK dan setting alat pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

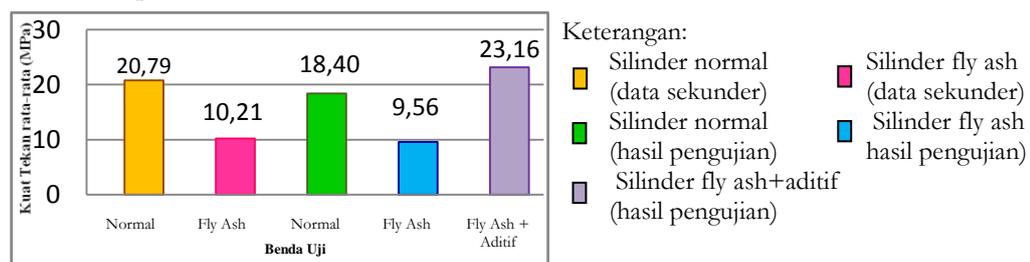
Nilai *slump* diperlukan untuk mengetahui tingkat *workabilitas* dari campuran beton. Nilai *slump* pada penelitian ini adalah 5 cm, nilai tersebut kecil karena ada pengurangan air sebesar 15%.

Benda uji silinder digunakan untuk mengetahui mutu beton. Pengujian yang dilakukan meliputi kuat tekan dan kuat tarik. Hasil pengujian kuat tekan silinder dapat dilihat pada Tabel 3. dan hasil kuat tarik silinder dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton

No.	Benda Uji	Diameter (cm)				Luas Rata-rata (cm ²)	Pmax (kN)	f'c (MPa)	f'cr (MPa)
		1	2	3					
1	S-N1 ₂₈	15,00	15,00	15,00	15,00	176,71	340	19,24	
2	S-N2 ₂₈	15,00	14,80	15,50	15,10	179,08	340	18,99	18,40
3	S-N3 ₂₈	15,00	15,00	15,00	15,00	176,71	300	16,98	
4	S-F1 ₂₈	15,00	15,30	15,00	15,10	179,08	160	8,93	
5	S-F2 ₂₈	15,00	15,00	14,80	14,93	175,15	150	8,56	9,56
6	S-F3 ₂₈	15,30	15,00	15,00	15,10	179,08	200	11,17	
7	S-AD ₁	14,90	15,11	15,24	15,08	178,68	350	19,59	
8	S-AD ₃	15,23	15,44	15,22	15,30	183,77	410	22,31	23,16
9	S-AD ₆	15,31	15,18	15,08	15,19	181,22	500	27,59	

Kuat tekan yang dihasilkan beton normal dan beton *fly ash* pada umur 28 hari pada penelitian yang dilakukan oleh Imam Sholehan yaitu 20,79 MPa dan 10,21 MPa. Kuat tekan beton *fly ash* yang ditambah zat aditif berupa *SikaCim*[®] *Concrete Additive* sebesar 23,16 MPa. Beton *fly ash*+aditif mengalami peningkatan kuat tekannya jika dibandingkan dengan kuat tekan beton normal dan beton *fly ash* pada penelitian sebelumnya. Kenaikan kuat tekan beton *fly ash*+aditif dikarenakan penambahan zat aditif berupa *SikaCim*[®] *Concrete Additive*. Di dalam *SikaCim*[®] *Concrete Additive* terdapat zat kimia yang dapat mengurangi penggunaan air dalam beton, dengan dikurangnya air maka nilai *f_{as}* akan menurun. Nilai *f_{as}* yang menurun akan mempengaruhi kepadatan beton tetapi *workabilitas* tetap terjaga. Semakin padat beton maka semakin besar nilai kuat tekannya, oleh karena itu terjadi peningkatan kuat tekan pada benda uji beton *fly ash*+aditif. Hasil pengujian kuat tekan meningkat secara signifikan, oleh karena itu dibuat benda uji silinder normal dan *fly ash* untuk membuktikan bahwa *f_c* rencana pada penelitian ini sama dengan penelitian sebelumnya. Hasil pengujian kuat tekan disajikan dalam bentuk grafik berikut supaya terlihat jelas perubahan kuat tekannya.



Gambar 7. Grafik perbandingan kuat tekan beton

Berdasarkan pada Gambar 7, nilai kuat tekan beton normal dan *fly ash* pada penelitian ini mendekati nilai kuat tekan pada penelitian sebelumnya. Hal ini membuktikan bahwa f_c rencana yang digunakan pada penelitian ini sama dengan penelitian sebelumnya dan kenaikan kuat tekan beton *fly ash*+aditif murni dikarenakan penambahan *SikaCim[®] Concrete Additive*. Prosentase kenaikan kuat tekannya adalah 10,23% dan 55,92% jika dibandingkan dengan normal dan *fly ash* pada penelitian sebelumnya.

Tabel 4. Pengujian kuat tarik belah beton

No.	Benda Uji	Diameter rata-rata (cm)	Panjang rata-rata (cm)	P (kN)	ft (MPa)	f _{tr} (MPa)
1	S-AD ₂	15,15	29,00	200	2,90	
2	S-AD ₄	15,16	30,23	150	2,08	2,60
3	S-AD ₅	15,11	29,93	200	2,82	

Di bawah ini disajikan grafik yang membandingkan kuat tarik antara beton normal, beton *fly ash* dan beton *fly ash*+aditif.



Gambar 8. Grafik perbandingan kuat tarik beton

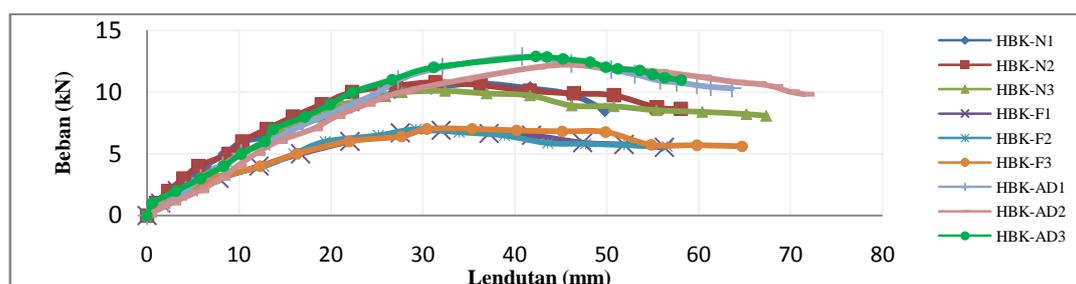
Berdasarkan Gambar 8. beton *fly ash*+aditif mempunyai kuat tarik belah yaitu 2,60 MPa. Sebagai pembanding digunakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Imam Sholehan berupa beton normal dan beton *fly ash*. Kuat tarik beton normal sebesar 1,87 MPa dan beton *fly ash* hanya sebesar 1,06 MPa. Prosentase kenaikan kuat tarik beton *fly ash*+aditif meningkat jika dibandingkan dengan beton normal dan beton *fly ash*.

Pengujian hubungan balok kolom dilakukan dengan pemberian beban untuk mengetahui lendutan yang terjadi. Hasil pengujian hubungan balok kolom disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian beban dan lendutan

P (kN)	HBK-AD ₁		HBK-AD ₂		HBK-AD ₃		P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)
	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)						
0	0	11,00	27,30	0	0	11,00	34,30	0	0	12,00	31,18	
1,00	2,30	12,00	32,10	1,00	2,65	12,00	42,30	1,00	0,90	12,89	42,30	
2,00	4,20	12,86	40,80	2,00	5,65	12,20	46,50	2,00	3,15	12,85	43,50	
3,00	5,85	12,30	46,15	3,00	8,00	11,81	52,90	3,00	5,82	12,69	45,25	
4,00	8,20	11,81	50,50	4,00	9,80	11,65	55,65	4,00	8,34	12,43	48,20	
5,00	10,20	11,43	53,05	5,00	11,80	11,21	60,30	5,00	10,28	12,01	49,90	
6,00	13,30	10,92	55,80	6,00	14,20	10,80	64,10	6,00	12,82	11,88	51,20	
7,00	16,00	10,78	57,60	7,00	18,00	10,67	65,50	7,00	13,70	11,75	53,60	
8,00	19,05	10,56	59,80	8,00	20,50	10,45	67,10	8,00	17,15	11,43	51,20	
9,00	22,25	10,42	61,30	9,00	23,80	10,03	68,00	9,00	19,90	11,17	53,60	
10,00	25,20	10,30	62,50	10,00	27,75	9,82	69,30	10,00	22,40	10,98		
									11,00	26,65		

Pembacaan *dial gauge* dilakukan sampai mencapai beban maksimum yang ditandai dengan tidak adanya kenaikan nilai pada *indikator load*. Benda uji mengalami keruntuhan apabila beban mencapai 80% dari beban maksimum atau ketikan nilai pada *indikator load* tidak bisa turun lagi. Hal itu artinya benda uji telah mengalami fase keruntuhan. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan sehingga hasil pengujian dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Imam Sholehan pada tahun 2012. Perbandingan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan beban dan lendutan

Penentuan awal retak, titik leleh, titik puncak, dan titik runtuh diawali dengan pembuatan grafik hubungan beban dan lendutan. Setelah itu, membuat garis lurus dengan menggabungkan titik-titik pada grafik tersebut. Ujung dari garis lurus yang pertama merupakan awal retak (*crack*) dan ujung garis lurus yang kedua merupakan titik leleh (*yield*). Titik puncak (*peak*) terjadi pada titik dimana terjadi pembebanan maksimum, sedangkan titik runtuh (*failure*) terjadi pada titik terakhir pada grafik tersebut. Hasil penentuan titik-titik tersebut kemudian dimasukkan ke dalam Tabel 6.

Tabel 6. Nilai beban dan lendutan saat crack, yield, peak, dan failure

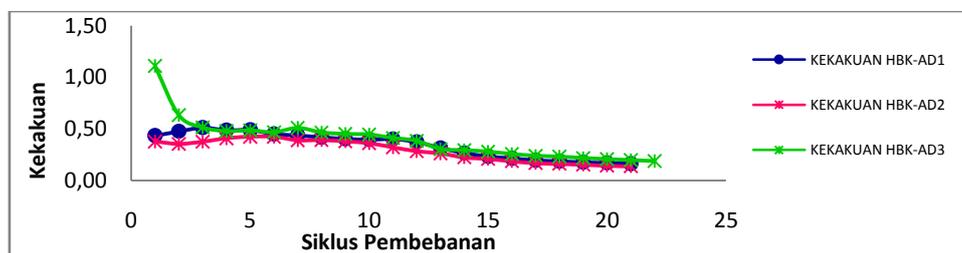
Benda uji	Crack		Yield		Peak		Failure	
	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)
HBK-AD ₁	5,00	10,20	11,00	27,30	12,86	40,80	10,30	62,50
HBK-AD ₂	6,00	14,20	10,00	27,75	12,20	46,50	9,82	69,30
HBK-AD ₃	6,00	12,82	10,00	22,40	12,89	42,30	10,98	58,10

Faktor daktilitas rata-rata (μ) pada penelitian sebelumnya yaitu untuk HBK beton normal adalah 2,54 dan *fly ash* sebesar 2,81. Berdasarkan hasil tersebut, terjadi penurunan nilai daktilitas struktur sebesar 3,15% jika dibandingkan dengan dengan normal. Prosentase penurunan faktor daktilitas apabila dibandingkan dengan beton *fly ash* adalah 12,14%. Hal ini dikarenakan lendutan bertambah besar pada saat benda uji hubungan balok kolom mengalami leleh, tetapi pada saat terjadi beban ultimate atau runtuh lendutannya cenderung tetap. Tabel 7. adalah tabel daktilitas benda uji.

Tabel 7. Faktor daktilitas benda uji

Benda uji	Δu (mm)	Δy (mm)	Faktor daktilitas $\mu = \Delta u / \Delta y$	Faktor daktilitas rata-rata (μ)
HBK-AD ₁	62,50	27,30	2,29	2,46
HBK-AD ₂	69,30	27,75	2,50	
HBK-AD ₃	58,10	22,40	2,60	

Nilai kekakuan mengalami penurunan bersamaan dengan pertambahan beban yang diberikan, agar lebih jelas maka dibuat grafik hubungan siklus pembebanan dengan besar kekakuan seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik penurunan kekakuan

Berdasarkan Gambar 10. perhitungan kekakuan pada saat benda uji mengalami fase leleh dan fase runtuh dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kekakuan HBK *fly ash* + aditif saat leleh dan runtuh

Benda uji	Py (kN)	Δy (mm)	Pu (kN)	Δu (mm)	Kekakuan		Kekakuan rerata	
					Ky	Ku	Ky	Ku
HBK-AD1	11,00	25,20	10,30	62,50	0,40	0,16	0,40	0,17
HBK-AD2	10,00	27,75	9,82	69,30	0,36	0,14		
HBK-AD3	10,00	22,40	10,98	58,10	0,45	0,19		

Nilai kekakuan leleh mengalami penurunan sebesar 2,44% apabila dibandingkan dengan HBK beton normal dan posentasenya naik sebesar 27,50% jika dibandingkan dengan nilai kekakuan HBK beton *fly ash*. Peningkatan prosentase kekakuan ultimit yaitu 11,76% dan 47,06% jika benda uji tersebut dibandingkan dengan HBK beton normal dan beton *fly ash*.

Keretakan pada benda uji HBK, mulai terjadi pada pembebanan 4 kN. Pola retak pertama diberi nama A₁. Pola retak yang terjadi semakin banyak ketika beban ditambahkan. Retak lentur pada kolom terjadi bersamaan dengan retak diagonal pada joint benda uji HBK beton *fly ash* + aditif. Pola retak awal untuk benda uji HBK beton *fly ash* + aditif yaitu retak diagonal pada joint. Beban maksimum pada HBK-AD₁ mencapai 12,86 kN. Kerusakan cenderung terjadi pada joint sehingga terjadi kegagalan struktur pada HBK. Lebar retak terbesar yaitu 0,5 cm yang

terjadi pada pola retak C₂. Beban maksimum pada HBK-AD₂ mencapai 12,20 kN. Lebar retak terbesar yaitu 0,6 cm yang terjadi pada pola retak F₄. Pada benda uji yang kedua juga tidak terjadi *spalling*. Beban maksimum yang dapat ditahan oleh HBK-AD₃ yaitu 12,89 kN. Lebar retak terbesar berukuran 0,5 cm. Benda uji yang ketiga tidak terjadi *spalling* sama dengan benda uji pertama dan kedua. Gambar 10. merupakan gambar pola retak ketiga benda uji.



Gambar 10. Pola retak ketiga benda uji

SIMPULAN

Kuat tekan rata-rata beton *fly ash*+aditif mencapai 23,16 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,60 MPa. Hal ini membuktikan dengan penambahan *SikaCim*[®] *Concrete Additive* akan menambah kuat tekannya. Beban maksimum rata-rata yang dapat ditahan oleh benda uji HBK beton *fly ash*+aditif sebesar 12,65 MPa. Nilai beban maksimum ini meningkat jika dibandingkan dengan HBK beton normal dan beton *fly ash* pada penelitian sebelumnya yang hanya mencapai 10,53 kN dan 6,97 kN. Oleh karena itu, terjadi peningkatan sebesar 44,90% bila dibandingkan dengan HBK beton normal dan 16,73% jika dibandingkan dengan HBK beton *fly ash*. Faktor daktilitas rata-rata (μ) HBK beton *fly ash*+aditif sebesar 2,46. Nilai tersebut turun 3,15% jika dibandingkan dengan HBK beton normal, sedangkan apabila dibandingkan dengan HBK beton *fly ash* prosentase penurunannya sebesar 12,45%. Kekakuan ultimate meningkat sebesar 11,76% jika dibandingkan dengan HBK beton normal dan 47,06% bila dibandingkan dengan HBK beton *fly ash*, sedangkan nilai kekakuan leleh mengalami peningkatan dan penurunan. Kekakuan leleh menurun 2,44% jika dibandingkan dengan HBK beton normal dan meningkat 27,50%. Lebar retak yang terjadi pada HBK beton *fly ash*+aditif lebih kecil dibandingkan HBK beton normal dan *fly ash*.

REKOMENDASI

Penelitian ini menggunakan beban statik sehingga perlu pengujian lanjutan menggunakan pembebanan dinamik. Penjepitan benda uji perlu diperhatikan agar asumsi yang dilakukan pada daerah penjepitan benar-benar terjadi jepit. Perlu adanya ketelitian dalam tahapan penelitian sehingga tidak terjadi kekeliruan dan hasil penelitian sesuai dengan yang diharapkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penyusun ucapkan kepada semua pihak yang membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Terima kasih kepada Bapak Edy Purwanto, ST, MT dan Bapak Achmad Basuki, ST, MT yang telah memberikan bimbingannya. Terima kasih kepada ayah, ibu, dan keluarga serta teman-teman yang telah memberi doa dan dukungan sehingga tugas akhir ini selesai tepat pada waktunya.

REFERENSI

- Chu-Kia Wang dan C. G Salmon, 1990, “*Desain Beton Bertulang Jilid I dan Jilid II Edisi Keempat*”, Jakarta, Erlangga.
- Idham, M., dkk, 2012, “*Pengaruh Mutu Beton K-250 Akibat Terendam Air Laut Dengan Penambahan Zat Aditif Sikacim Concrete Additive Kadar 0,6%*”, Politeknik Negeri Bengkalis, Riau.
- Imran, I., 2009, “*Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Taban Gempa*”, ITB, Bandung.
- McCormac C, J., 2000, “*Desain Beton Bertulang*”, Jakarta, Erlangga.
- Neville, A.M. dan Brooks, J.J., 1987, “*Concrete Technology*”, New York, Longman Scientific & Technical.
- Priadana, K.A., 2012, “*Karakteristik Fly Ash Berdasarkan Sifat Fisik dan Kimia*”, ITS, Surabaya.
- Sholehah, I., 2012, “*Tinjauan Kinerja Hubungan Balok Kolom (HBK) Beton Bertulang dengan Bahan Beton Fly Ash pada Pembebanan Statik*”, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- SK SNIT-15-1991-03, “*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*”.
- Tjokrodinuljo, K., 1996, “*Teknologi Beton*”, Yogyakarta, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.
- Triwiyono, A., 2004, “*Perbaikan dan Topik Bahan Ajar*”, UGM, Yogyakarta.