

## PENGGUNAAN BEKISTING GALVALUM BERGELOMBANG SEBAGAI TULANGAN EKSTERNAL PADA BALOK BETON BERTULANG

Ratna Chandra Ardhisa, Rifqy Mamduh Maladzi, Parang Sabdono<sup>\*)</sup>, Han Ay Lie.<sup>\*)</sup>

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

### ABSTRAK

Beton bertulang merupakan bahan material yang sering digunakan di dunia konstruksi. Material penyusun beton terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Beton memiliki karakteristik kuat terhadap tekan tapi lemah terhadap tarik. Penambahan baja tulangan pada beton bertujuan untuk memberikan kuat tarik yang tinggi. Pembuatan balok beton bertulang membutuhkan perancah kayu dengan jumlah yang banyak. Penggunaan *platform* galvalum bergelombang sebagai bekisting balok beton bertulang menjadi salah satu upaya untuk mengurangi jumlah perancah. Penelitian Penggunaan Bekisting Galvalum Bergelombang Sebagai Tulangan Eksternal berupa studi eksperimental dan analisis dimana *platform* galvalum tidak hanya digunakan sebagai bekisting balok tapi juga sebagai tulangan eksternal tarik pada beton bertulang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan galvalum bergelombang dalam peningkatan beban *ultimate* yang dapat dipikul oleh balok dan keunggulan penggunaan galvalum bergelombang berdasarkan aspek biaya. Balok normal adalah balok yang dibuat menggunakan bekisting kayu yang berfungsi untuk mengontrol pengaruh *platform* galvalum sebagai tulangan eksternal. Benda uji berupa dua buah balok normal dengan dimensi 200 x 284 x 2440 mm dan dua buah balok galvalum dengan dimensi 200 x 300 x 2440 mm. *Platform* galvalum bergelombang memiliki dimensi 280 x 40 mm dengan dimensi gelombang 40 x 40 mm dan tebal *platform* 1 mm. Pengujian lentur balok menggunakan metode pembebanan dua titik. Metode ini digunakan untuk mendapatkan keruntuhan akibat lentur murni. Hasil pengujian didapatkan balok galvalum mengalami peningkatan beban *ultimate* rerata sebesar 140% dan penghematan biaya sebesar Rp 137.520,00/m<sup>3</sup> dibandingkan dengan balok normal.

**Kata kunci:** bekisting galvalum, lentur balok, tulangan eksternal

### ABSTRACT

*Reinforced concrete is a material that commonly used in the construction sector. The materials of concrete consist of cement, fine aggregate, coarse aggregate and water. The concrete's characteristics are strong against pressure but is weak against tensile. The addition of reinforced steel on concrete intended to increase higher tensile strength. The manufacture of reinforced concrete beams requires wood scaffolding with large quantity. The use of corrugated galvalume platform as a reinforced concrete beam formwork is one of the solution to reduce the number of scaffolding. The Study of Corrugated Galvalume Formwork as External Reinforcement material is an experimental and analytical study where the galvalume platform is not only used as the formwork of beams but also as the external reinforcement material against tensile force on*



\*<sup>)</sup> *Penulis Penanggung Jawab*

reinforced concrete. The purpose of this study is to determine the effect of corrugated galvalume usage in order to increase the ultimate load that can be hold by the beam and the advantage of using corrugated galvalume based on the financial aspect. Normal concrete beam is a beam which made by using wood formwork in the purpose of controlling the effect of corrugated platform as external reinforcement. The test specimens consist of two normal beams with dimensions of 200 x 284 x 2440 mm and two galvalume beams with dimensions of 200 x 300 x 2440 mm. The corrugated galvalume platform has 280 x 40 mm dimension with 40 x 40 mm corrugate dimension and 1 mm platform thickness. The bending test on beam uses two-point loading method. This method is used to obtain collapse point due to pure bending. The obtained results showed that corrugated galvalume increased the ultimated load in average of 140% and the cost savings of Rp 137.520,00/m<sup>3</sup> compared to the normal beam.

**Keywords:** galvalume formwork, beam bending, external reinforcement

## PENDAHULUAN

Beton bertulang adalah bahan struktural yang diperoleh dari hasil penggabungan antara beton dengan tulangan baja. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi namun memiliki kuat tarik yang rendah. Penggunaan tulangan baja pada beton bertulang bertujuan untuk memberikan kuat tarik yang tinggi. Dengan adanya kelebihan dari masing-masing elemen, maka konfigurasi antara beton dan baja diharapkan dapat bekerjasama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur. Dalam konstruksi bangunan gedung struktur balok beton bertulang memiliki fungsi menyalurkan beban pelat pada kolom. Pembuatan balok beton memerlukan bekisting dan perancah dengan jumlah yang tidak sedikit. Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan perancah yaitu dengan menggunakan *platform* galvalum bergelombang sebagai bekisting balok beton. *Platform* galvalum bergelombang selain berfungsi sebagai bekisting juga berfungsi sebagai tulangan eksternal pada balok beton bertulang.

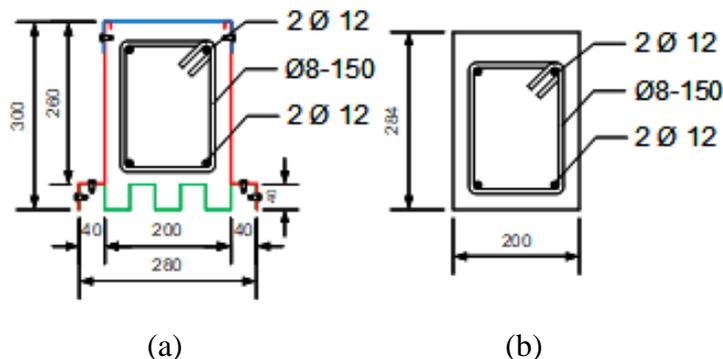
Perencanaan perkuatan eksternal dibuat apabila terdapat penambahan beban yang mengakibatkan bertambahnya momen yang harus dipikul oleh balok beton (Nge et al., 2016). Perkuatan eksternal biasanya berupa pemanfaatan tulangan eksternal yang dipasang pada balok sebagai tulangan pengganti pada beton. Gai et al. (2011) melakukan penelitian dengan menggunakan FRP sebagai bekisting pada pelat lantai. Bekisting pada pelat lantai tersebut tidak hanya bekerja sebagai bekisting selama masa konstruksi tetapi juga bekerja sebagai perkuatan eksternal pelat lantai. Dari penelitian tersebut Gian et al. menyimpulkan jika FRP yang digunakan sebagai bekisting dapat meningkatkan tegangan tekan dan kapasitas regangan *ultimate*. Pangestuti dan Handayani (2009) meneliti penggunaan pelat CFRP yang digunakan sebagai tulangan eksternal pada balok beton. Dari penelitian disimpulkan bahwa penempatan pelat CFRP sebagai tulangan eksternal menghambat munculnya retak pertama (*first crack*) pada balok. Penelitian selanjutnya yaitu penelitian yang dilakukan Pangestuti dan Budiwirawan (2010). Pada penelitian tersebut balok beton bertulang diberi perkuatan eksternal berupa pelat CFRP. Penggunaan pelat CFRP sebagai tulangan eksternal pada balok beton bertulang menghasilkan beban *ultimate* yang lebih tinggi dibanding balok beton bertulang, sehingga kapasitas momen pada balok bertulang yang menggunakan CFRP meningkat.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Benda Uji

Benda uji yang di gunakan pada penelitian ini yaitu dua buah balok normal dan dua buah balok galvalum. Balok normal adalah balok yang dibuat menggunakan bekisting kayu yang berfungsi untuk mengontrol pengaruh *platform* galvalum sebagai tulangan eksternal, sedangkan balok galvalum adalah balok yang menggunakan *platform* galvalum sebagai bekisting. Dimensi balok normal yang digunakan adalah 200 x 284 x 2440 mm sebanyak dua buah, dan dua buah balok

galvalum dengan dimensi 200 x 300 x 2440 mm. Platform galvalum bergelombang dimensi 280 x 40 mm dengan dimensi gelombang 40 x 40 mm dan tebal 1 mm. Tulangan sengkang dan tulangan utama yang digunakan pada balok normal dan balok galvalum sama, yaitu tulangan polos Ø8 mm untuk tulangan sengkang dengan jarak antar sengkang 150 mm dan tulangan polos Ø12 mm untuk tulangan utama. Terdapat benda uji silinder dimensi 150 x 30 mm yang digunakan untuk menentukan mutu beton. Penampang melintang balok galvalum dan balok normal ditunjukkan pada Gambar 1.



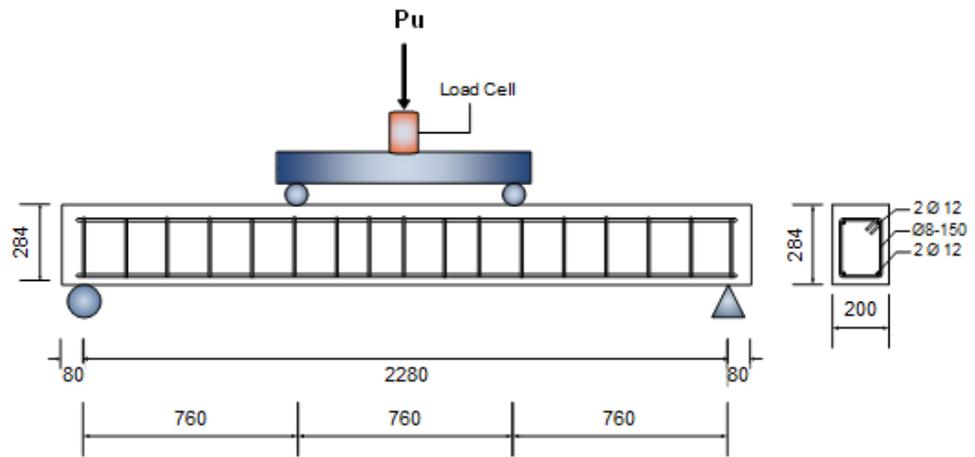
Gambar 1. Penampang Melintang Balok Galvalum (a) dan Balok Normal (b)

### **Pembuatan dan Pengujian Benda Uji**

Perhitungan analisa dilakukan sebelum pembuatan benda uji. Perhitungan analisa merupakan tahap perhitungan untuk merencanakan beban yang diterima balok. Perhitungan beban *ultimate* balok normal berdasarkan pada penampang melintang Gambar 1. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil beban *ultimate* yang dapat ditumpu balok normal sebesar 57,6 kN. Perhitungan beban *ultimate* balok galvalum berdasarkan pada penampang melintang Gambar 1. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil beban *ultimate* yang dapat ditumpu balok galvalum sebesar 145,3 kN.

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Komposisi campuran material yang digunakan yaitu semen : pasir : agregat dengan perbandingan volume 1 : 2 : 3. Pengecoran menggunakan *mixer* dengan kapasitas 350L. Campuran material dituang ke dalam bekisting balok kemudian dipadatkan menggunakan besi penumbuk dan palu karet. Proses *curing* dilakukan dengan cara menyelimuti balok beton menggunakan karung goni basah selama 21 hari. Proses pembuatan silinder beton sama seperti pembuatan balok beton. Campuran material dituang ke dalam bekisting silinder 150 x 300 mm setiap 1/3 bagian dan dipadatkan. Setelah 24 jam dari waktu pengecoran, bekisting silinder dibuka dan *curing* silinder beton di dalam air dengan suhu 25°C selama 28 hari.

Pengujian lentur benda uji balok menggunakan metode *two point load* yang bertujuan untuk mengetahui kuat lentur balok. Berdasarkan SNI 4437-2011 “Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan”, kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan kepadanya sampai benda uji patah. *Set-up* pengujian benda uji balok ditunjukkan pada Gambar 2. Balok diletakkan di atas tumpuan rol sendi dengan jarak antar tumpuan 2280 mm. Di atas balok diletakkan dua beban dengan jarak beban dari tumpuan sebesar 760 mm. *Load cell type* CLC-500kN dengan kapasitas 500kN dan digunakan *increment* beban ±100N/detik. Untuk meningkatkan beban digunakan alat pompa dan *hydraulic jack* pada pengujian. Sedangkan untuk pengujian benda uji silinder beton dilakukan menggunakan alat *Hydraulic Universal Testing Machine* (HT-8391PC) dengan *increment* beban 0,3 MPa/detik.



Gambar 2. Set-up Pengujian Balok

## HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

### Kuat Tekan Silinder

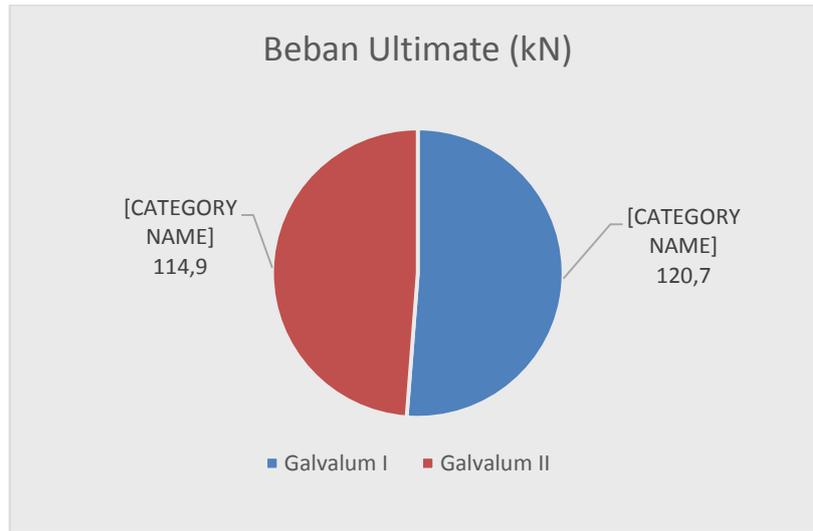
Pengujian kuat tekan silinder bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan silinder yang digunakan untuk membuat benda uji balok. Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder beton dimensi 150 x 30 mm sebanyak 12 buah. Hasil kuat tekan silinder ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

No	Luas Penampang (mm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (N/mm <sup>2</sup> )
1	17671,4	1211,0	393665,5	22,3
2	17671,4	1234,0	394738,7	22,3
3	17671,4	1231,0	339326,2	19,2
4	17671,4	1214,0	349964,2	19,8
5	17671,4	1231,0	350388,5	19,8
6	17671,4	1232,0	323501,4	18,3
7	17671,4	1224,0	355543,3	20,1
8	17671,4	1233,0	279563,8	15,8
9	17671,4	1217,0	349666,4	19,8
10	17671,4	1226,0	365424,9	20,7
11	17671,4	1213,0	330224,7	18,7
12	17671,4	1226,0	360834,0	20,4
Kuat Tekan Rata-rata				19,7

### Perbandingan Beban *Ultimate* Balok Galvalum I dan Balok Galvalum II

Berdasarkan hasil pengujian balok galvalum I mampu menahan beban sebesar 120,7 kN sedangkan balok galvalum II mampu menahan beban sebesar 114,9 kN (Gambar 3).



Gambar 3. Perbandingan Beban *Ultimate* Balok Galvalum I dan II

Terdapat selisih nilai beban *ultimate* sebesar 5,8 kN disebabkan karena adanya keropos pada balok galvalum II. Keropos pada balok galvalum II terjadi karena kurangnya pemadatan pada saat pengecoran sehingga mengakibatkan menurunnya kekuatan balok dalam menahan beban.

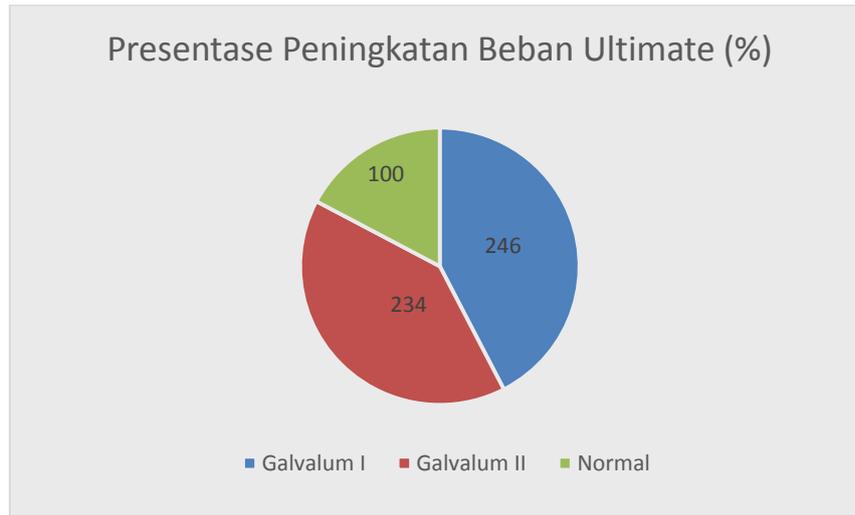
### Perbandingan Beban *Ultimate* Balok Normal dan Balok Galvalum

Dari hasil pengujian terlihat perbedaan nilai beban *ultimate* yang cukup signifikan antara balok galvalum dengan balok normal. Tabel 2. menunjukkan nilai beban *ultimate* balok normal dan balok galvalum. Balok normal I dapat menahan beban *ultimate* sebesar 49,5 kN dan balok normal II dapat menahan beban *ultimate* sebesar 48,7 kN. Balok galvalum I dapat menahan beban *ultimate* sebesar 120,7 kN dan balok galvalum II menahan beban *ultimate* sebesar 114,9 kN. Perbedaan nilai beban *ultimate* antara balok galvalum dan balok normal menunjukkan bahwa penggunaan bekisting galvalum dapat memberikan peningkatan beban *ultimate* yang dapat ditahan oleh balok galvalum.

Tabel 2. Beban *Ultimate* Balok Normal dan Balok Galvalum

No	Benda Uji	Beban <i>Ultimate</i> (kN)
1	Balok Normal I	49,5
2	Balok Normal II	48,7
3	Balok Galvalum I	120,7
4	Balok Galvalum II	114,9

Perbandingan nilai beban *ultimate* antara balok normal dan balok galvalum ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan penggunaan *platform* galvalum bergelombang memberikan peningkatan beban *ultimate* balok galvalum I sebesar 146% dari balok normal dan peningkatan beban *ultimate* yang dapat ditahan oleh balok galvalum II sebesar 134% dari balok normal sehingga peningkatan rerata beban *ultimate* balok galvalum sebesar 140%.

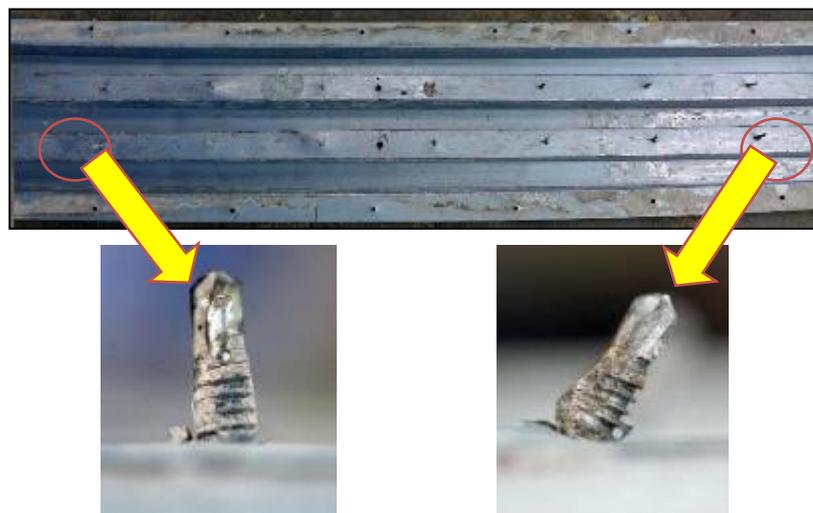


Gambar 4. Presentase Peningkatan Beban *Ultimate*

### Perbandingan Beban *Ultimate* Rencana dan Beban *Ultimate* Pengujian

Pengujian balok yang dilakukan tercatat beban *ultimate* pada balok galvalum I sebesar 120,7 kN dan pada balok galvalum II sebesar 114,9 kN. Nilai beban *ultimate* ini lebih kecil jika dibandingkan dengan beban *ultimate* yang direncanakan yaitu sebesar 145,3 kN. Hal ini diperkirakan karena galvalum bergelombang yang digunakan sebagai tulangan eksternal belum mencapai leleh ketika beban *ultimate* terjadi, sedangkan pada perhitungan analisa direncanakan galvalum sudah mencapai leleh ketika beban balok mencapai *ultimate*.

Kedalaman *shear connector* yang tidak sesuai syarat minimum menyebabkan hubungan komposit antara beton dan galvalum lemah. Syarat minimum kedalaman *shear connector* yang tertera pada SNI 1729-2015 “Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural” yaitu *shear connector* harus diteruskan tidak kurang dari 38 mm bersih di atas bekisting galvalum atau diteruskan tidak kurang dari 13 mm bersih di atas tulangan melintang (senggang) bawah. Akibat dari kedalaman *shear connector* yang tidak sesuai syarat, beton hancur terlebih dahulu tidak sesuai dengan rencana. Pada Gambar 5. *shear connector* terlihat miring pada bentang luar dan tetap lurus seperti sediakala pada bentang tengah.



Gambar 5. Tampak atas dan detail *shear connector*

### Perbandingan Pola Retak dan Keruntuhan Balok Normal dan Balok Galvalum

Balok normal I dan balok normal II memiliki pola keruntuhan yang relatif sama., yaitu retak bergerak dari bawah ke atas sampai garis netral seiring dengan bertambahnya beban kemudian membesar dan tersebar pada daerah di antara dua beban serta memiliki arah tegak lurus balok.

Tidak ada retak arah diagonal menunjukkan balok runtuh akibat lentur murni tanpa pengaruh geser sesuai dengan rencana. Pada saat beban mencapai maksimum bagian atas balok hancur, hal ini menandakan bahwa kuat tekan beton sudah tidak mampu menahan beban yang diberikan pada balok dan terjadi pemusatan tegangan pada bentang tengah bagian atas balok normal sehingga beton tekan hancur pada posisi diantara dua beban (Gambar 6.)



Gambar 6. Pola Retak dan Keruntuhan Balok Normal

Pada balok galvalum terjadinya retak awal tidak dapat terlihat karena balok tertutup bekisting galvalum. Pola keruntuhan yang terjadi pada balok galvalum sedikit berbeda dengan pola keruntuhan pada balok normal. Pada Gambar 7. Terlihat retak pada balok galvalum terpusat di bawah perletakan beban dengan retak terbesar terletak tegak lurus dengan balok, hal ini merupakan pengaruh dari penggunaan bekisting galvalum bergelombang pada bagian bawah balok beton. Pada balok normal ketika balok terbebani, seluruh bagian bawah balok mengalami tarik secara merata. Dengan adanya penambahan pembebanan, retak akan muncul pada daerah diantara dua beban yang mengalami tegangan tarik terbesar. Berbeda dengan balok galvalum, ketika balok terbebani galvalum pada bagian bawah akan menahan pengaruh tarik terlebih dahulu. Hal ini mengakibatkan bagian tengah bentang lebih berkontribusi dalam menahan pengaruh pembebanan dibandingkan dengan bagian samping karena pengaruh momen positif pada tengah bentang yang besar, sehingga retak yang terjadi pada balok galvalum terpusat di bawah perletakan beban. Selain itu terlihat pula retak diagonal di sekitar daerah beban terbebani. Hal ini menandakan adanya interaksi antara gaya geser dan gaya momen yang mengakibatkan retak diagonal.



Gambar 7. Pola Retak dan Keruntuhan Balok Galvalum

**Perbandingan Aspek Biaya**

Perbandingan aspek biaya yang dilakukan menggunakan dasar Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Gedung kota Semarang dan daerah sekitar edisi September 2015 yang dikeluarkan oleh Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Provinsi Jawa Tengah. Analisa harga satuan balok galvalum dan balok normal ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisa Harga Satuan Balok Galvalum dan Balok Normal

Analisa Harga Satuan					
A.	Pengecoran 1 m3 Beton 1 : 2 : 3				
A.1	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
No.	Bahan				
1	Semen Portland	Kg	371	Rp 1.300	Rp 482.300
2	Pasir Beton	Kg	698	Rp 192,86	Rp 134.616
3	Kerikil	Kg	1047	Rp 192,59	Rp 201.642
4	Air	Liter	215	Rp 15	Rp 3.225
Total					Rp 821.783
B.	Pembesian 10kg dengan Besi Polos				
B.1	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
No.	Bahan				
1	Besi	Kg	10.5	Rp 12.500	Rp 131.250
2	Kawat	Kg	0.15	Rp 14.500	Rp 2.175
Total					Rp 133.425
C.	Pemasangan 1 m2 Bekisting untuk Balok				
C.1	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
No.	Bahan				
1	Kayu Kelas III	m3	0.04	Rp 2.000.000	Rp 80.000
2	Paku 5-12 cm	Kg	0.4	Rp 13.000	Rp 5.200
3	Minyak Bekisting	Liter	0.2	Rp 9.000	Rp 1.800
4	Balok Kayu Kelas II	m3	0.015	Rp 4.800.000	Rp 72.000
5	Plywood Tebal 9mm	Lbr	0.35	Rp 125.000	Rp 43.750
6	Dolken Kayu Ø8-10, Panjang 4m	batang	2	Rp 18.000	Rp 36.000
Total					Rp 238.750
D.	Pemasangan 1 buah Bekisting untuk Galvalum				
D.1	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
No.	Bahan				
1.	Pelat galvanis	m2	2,84	Rp 134.408	Rp 381.719
2.	Self drilling screw	bh	25	Rp 250	Rp 6.250
3.	Tekuk Plat	set	1	Rp 67.500	Rp 67.500
Total					Rp 455.469

Pembuatan balok galvalum dan balok normal memiliki biaya yang berbeda. Rekapitulasi perbandingan biaya balok galvalum dan balok normal ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Biaya Balok Galvalum dan Balok Normal

A.	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
A.1	Balok Galvalum (2 buah)				
a.	Beton 1:2:3	0,277	m3	Rp 821.783,00	Rp 227.633,19
b.	Besi Ø 12	2,129	kg	Rp 13.342,50	Rp 28.415,26
c.	Besi Ø 8	0,947	kg	Rp 13.342,50	Rp 12.628,94
d.	Bekisting Galvalum	2	bh	Rp 455.469,00	Rp 910.938,00
Total					Rp 1.179.615,39

B.		Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
B.1		Balok Normal (2 buah)				
	a.	Beton 1:2:3	0,277	m <sup>3</sup>	Rp 821.783,00	Rp 227.633,19
	b.	Besi Ø 12	2,129	kg	Rp 13.342,50	Rp 28.415,26
	c.	Besi Ø 8	0,947	kg	Rp 13.342,50	Rp 12.628,94
	d.	Bekisting Kayu	3,975	m <sup>2</sup>	Rp 238.750,00	Rp 949.031,25
Total						Rp 1.217.708,64

Dari Tabel 4 terlihat adanya perbedaan harga untuk pembuatan dua buah balok balok galvalum dan balok normal sebesar Rp 38.093,25 atau sebesar Rp 137.520,00/m<sup>3</sup> beton. Hal ini menunjukkan pembuatan balok galvalum lebih hemat dibanding dengan balok normal. Biaya pembuatan balok normal tersebut belum termasuk biaya penggunaan perancah dan biaya upah tenaga kerja tambahan untuk memasang dan membongkar perancah tersebut. Umumnya perancah digunakan selama ±1 minggu.

Dengan peningkatan kapasitas balok galvalum sebesar 140% dibandingkan balok normal, pembuatan balok galvalum memberikan keuntungan sebesar 140% dari segi kekuatan, oleh karena itu penghematan biaya dapat dilakukan dengan cara memperkecil dimensi balok agar mendapatkan kapasitas balok yang sama dengan balok normal namun dengan biaya yang jauh lebih ekonomis. Dapat disimpulkan bahwa pembuatan balok galvalum memerlukan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan pembuatan balok normal.

## KESIMPULAN

1. Balok beton normal dapat menopang beban *ultimate* rerata sebesar 49,1 kN sedangkan balok beton galvalum dapat menahan beban *ultimate* rerata sebesar 117,8 kN. Balok beton dengan menggunakan *platform* galvalum bergelombang mengalami peningkatan beban *ultimate* sebesar rata-rata 140% yang merupakan hasil kontribusi *platform* galvalum bergelombang sebesar 60% dalam menahan beban yang terjadi. Penghematan biaya dapat dilakukan dengan cara memperkecil dimensi balok agar mendapatkan kapasitas balok yang sama dengan balok normal namun dengan biaya yang jauh lebih ekonomis.
2. Pola retak dan keruntuhan menunjukkan kesesuaian perencanaan dan pelaksanaan penelitian karena balok normal mengalami keruntuhan lentur murni sedangkan pada balok galvalum terjadi interaksi antara gaya geser dan lentur sehingga kurang sesuai dengan rencana. Berbeda dengan balok normal yang mengalami pecah pada serat tekan tercapai di antara dua beban, balok galvalum mengalami pecah pada lokasi tumpuan pembebanan karena adanya pelat galvalum bergelombang di dasar balok yang bekerja menahan tarik akibat pembebanan di bagian tengah bentang sehingga mengakibatkan adanya pemusatan tegangan yang mengakibatkan adanya pemusatan keretakan pada lokasi tersebut.
3. Penggunaan galvalum bergelombang untuk bekisting dan tulangan eksternal pada balok beton memberikan penghematan biaya sebesar Rp 137.520,00/m<sup>3</sup> beton dengan mutu beton dan tulangan yang sama. Selain itu dengan menggunakan bekisting galvalum bergelombang penggunaan perancah tidak diperlukan, sehingga selain menghemat waktu dan biaya, efektifitas kerja meningkat karena dalam masa konstruksi ruang di bawahnya dapat difungsikan terlebih dahulu tanpa harus menunggu konstruksi selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 4431-2011 *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. SNI 1729-2015 *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta.

- Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Provinsi Jawa Tengah. 2015. *Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Gedung Kota Semarang dan Daerah Sekitar*.
- Gai, X., Darby, A., Ibell, T., and Evernden, M. (2011). "Permanent Participating FRP Formwork for Concrete Floor Slabs". In: *10<sup>th</sup> International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-10) April 2<sup>nd</sup> - 4<sup>th</sup>, 2011*
- Nge, F.L., Pah, J.J.S., dan Sir, T.M.W. (2016). "Komponen Struktur Beton Dengan Perkuatan Eksternal". *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. V, 53-66
- Pangestuti, E.K., dan Budiwirawan, A. (2010). "Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Plate* Sebagai Bahan Komposit Eksternal Pada Struktur Balok Beton Bertulang". *Saintekno*, Vol.8, 106-114
- Pangestuti, E.K., dan Handayani, F.S. (2009). "Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Plate* Sebagai Tulangan Eksternal Pada Struktur Balok Beton". *Media Teknik Sipil*, Vol. IX, 107-115