

THE INFLUENCE OF BELT DIRECTION ON THE CONNECTION OF PRECAST COLUMN- BEAMS WITH CFRP SHEETS

Harmonis Rante

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia; ranteharmonis720@gmail.com

Abstract: *The precast beam-column connection method with CFRPs (Carbon Fiber Reinforced Polymer sheet) can be developed into an applicable splicing method and environmentally friendly, considering its achievement of 90.6% over monolith joints. The existing weaknesses need to be studied further for the improvement of this connection method. The use of belts with a perpendicular U-shape direction apparently causes the effect of edge stress (scissor force) which actually causes premature failure. This study aims to analyze the influence of belt direction on precast beam-column joints with CFRPs, namely attaching diagonal directional belts to the U-shape. Variations of specimens used are monolith connections (MN) as normal specimens, beltless connections (U1-B0), connections with one belt installed perpendicular to U-shape (U1-B1) and connections with one belt mounted diagonally to the U-shape (U1-DB1). The MN joint achieves a load capacity of 24 kN and deflection of 44.7 mm. U1-B0 reaches 21.75 kN or 90.6% with deflection of 31.36 mm or 70.2% against MN. The U1-B1 reaches 15 kN (62.5%) and deflection is 27.10 mm (60.6%). The U1-DB1 connection reached 26.25 kN (109.4%) with a deflection of 47.16 mm (105.5%) against MN. Changing the direction of the belt to diagonal has improved joint performance, increasing load capacity by 175% and deflection by 174% against U1-B1 and achieving more than monolith joints. With the use of diagonal belts, edge stress still occurs but the process is slower so that the U-shape can last longer. A thicker U-shape is needed to overcome edge stress and this is a part that needs further study.*

Keywords: CFRPs; monolith connection; U-shape; diagonal belt; edge stress; premature failure

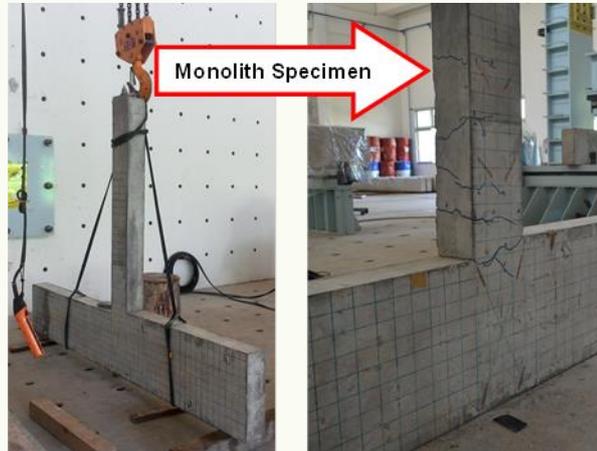
Abstrak: Metode sambungan balok-kolom *precast* dengan CFRPs dapat dikembangkan menjadi sebuah metode penyambungan yang aplikatif dan ramah lingkungan, mengingat pencapaiannya 90.6% terhadap sambungan monolit. Kelemahan-kelemahan yang ada perlu dikaji lebih lanjut untuk penyempurnaan metode sambungan ini. Penggunaan sabuk dengan arah tegak lurus U-shape rupanya menimbulkan efek gaya gunting (*edge stress*) yang justru menimbulkan kegagalan prematur. Studi ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh arah sabuk pada sambungan balok-kolom *precast* dengan CFRPs, yaitu memasang sabuk arah diagonal terhadap U-shape. Variasi benda uji yang digunakan adalah sambungan monolit (MN) sebagai benda uji normal, sambungan tanpa sabuk (U1-B0), sambungan dengan satu sabuk yang dipasang tegak lurus U-shape (U1-B1) dan sambungan dengan satu sabuk dipasang arah diagonal terhadap U-shape (U1-DB1). Sambungan MN mencapai kapasitas beban 24 kN dan lendutan 44.7 mm. U1-B0 mencapai 21.75 kN atau 90.6% dengan lendutan 31.36 mm atau 70.2% terhadap MN. U1-B1 mencapai 15 kN (62.5%) dan lendutannya 27.10 mm (60.6%). Sambungan U1-DB1 mencapai 26.25 kN (109.4%) dengan lendutan 47.16 mm (105.5%) terhadap MN. Merubah arah sabuk menjadi diagonal ternyata bisa memperbaiki performa sambungan yaitu meningkatkan kapasitas beban 175% dan lendutan 174% terhadap U1-B1 serta pencapaiannya telah melampaui sambungan monolit. Dengan penggunaan sabuk diagonal, gaya gunting tetap terjadi tetapi prosesnya lebih lambat sehingga U-shape dapat bertahan lebih lama. Dibutuhkan tebal U-shape yang lebih tebal lagi untuk mengatasi edge stress dan ini merupakan bagian yang perlu dikaji lebih lanjut.

Kata kunci: CFRPs; sambungan monolit; U-shape, sabuk diagonal; gaya gunting; kegagalan prematur

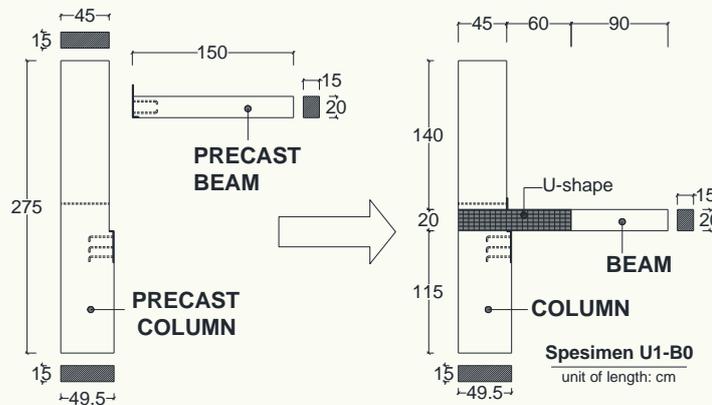
1. PENDAHULUAN

Metode pengembangan balok-kolom *precast* digunakan pada materi perkuliahan tehnik. Riset terdahulu menunjukkan bahwa metode penyambungan balok-kolom *precast* dengan

menggunakan CFRPs (Balasubramaniana, 2012., Djamaluddin, 2006., Rante, 2015), mampu mencapai 90.6% kekuatan sambungan monolit (Alcocer, 2000., SNI 2847:2013., European Commission JRC71599, 2012., SNI-03-2847-2002), pada Gambar 1, yaitu sambungan kolom-balok pracetak yang menggunakan satu lapis U-shape tanpa diberi sabuk pengikat (U1-B0), seperti ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Benda uji sambungan balok-kolom secara monolit



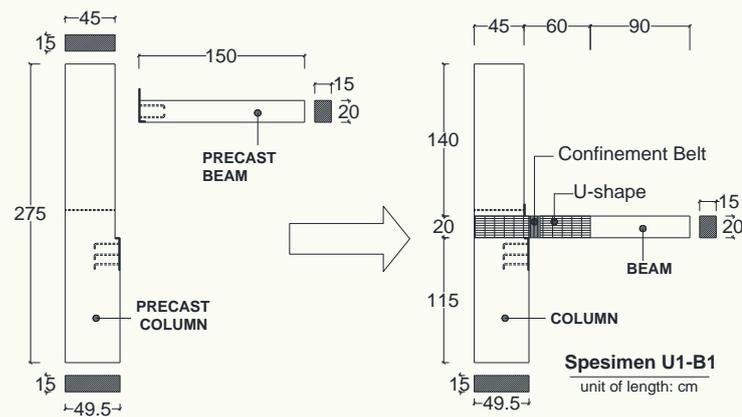
Gambar 2. Sambungan balok-kolom precast U1-B0

Gambar 2, menunjukkan balok pracetak dan kolom pracetak yang terhubung menggunakan *U-shape* CFRP. Sambungan U1-B0 tidak menggunakan sabuk pengikat, sehingga pemikul utamanya adalah *U-shape* sehingga momen yang terjadi pada sambungan akan sepenuhnya dipikul oleh *U-shape* (Rante,2015). Kegagalan U1-B0 disebabkan oleh *debonding*, yaitu lepasnya *U-shape* dari beton. *Debonding* dimulai dari titik sambungan, kemudian merambat perlahan menuju kolom dan ke arah balok (Faella, 2012., Mosallam, 2007., Nimse, 2014). Pada saat *debonding*, tidak hanya *U-shape* yang terlepas dari beton tetapi bagian dari permukaan beton juga rusak dalam arti bahwa tidak hanya epoksi yang terlepas tetapi juga beton yang terkelupas (Gambar 3) sebagai berikut:



Gambar 3. Lepasnya U-shape (*debonding*) pada U1-B0

Karena proses kegagalan U1-B0 yang disebabkan oleh *debonding* (Ravi, 2010., Rose, 2009., Sultan, 2015), sehingga dibutuhkan upaya untuk menahan *U-shape* agar tidak ter*debonding*. Salah satu yang bisa dilakukan adalah dengan menambahkan sabuk pengikat pada *U-shape* yang menahan *U-shape* ketika akan terlepas. Posisi sabuk pengikat ini dipasang pada titik sambungan dimana proses *debonding* mulai terjadi. Untuk memverifikasinya, maka dibuat benda uji dengan diberi satu sabuk pengikat (U1-B1) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Sambungan tipe U1-B1

Pengujian dilakukan dan diperoleh hasil yang tidak sesuai dengan yang diharapkan yaitu sambungan U1-B1 justru mengalami kegagalan prematur karena pemasangan sabuk pengikat menyebabkan munculnya gaya gunting (*edge stress*) yang keberadaannya memotong *U-shape*, seperti terlihat pada Gambar 5. Sehingga kegagalan sambungan disebabkan oleh putusya *U-shape* oleh sabuk pengikat. Sambungan cepat rusak dan tentu saja kapasitas beban berkurang. Kapasitas sambungan berkurang, yaitu hanya 15 kN atau 62,5% terhadap sambungan monolit.



Gambar 5. Kegagalan akibat gaya gunting pada U1-B1

Kegagalan pada U1-B1 dapat dipahami dengan analogi seperti ketika kita memotong kertas menggunakan penggaris. Kertas yang akan dipotong dipegang dengan penggaris yang ditekan di atasnya, kemudian kertas ditarik sehingga kertas akan mudah dipotong. Dalam hal ini batang akan dianalogikan dengan sabuk dan kertas dianalogikan dengan *U-shape*. Posisi penggaris yang tegak lurus terhadap arah tarikan kertas membuatnya lebih mudah untuk merobek kertas. Demikian juga, arah sabuk yang tegak lurus dengan *U-shape*, membuat *U-shape* mudah dipotong. Penambahan sabuk dengan cara yang telah dilakukan (U1-B1) tidak mampu meningkatkan kinerja sambungan, namun di sisi lain sabuk diperlukan untuk menahan laju *debonding*. Oleh karena itu, arah sabuk perlu diubah atau dengan menambah ketebalan *U-shape*. Penelitian ini dilakukan dengan mengubah arah sabuk pengikat, yaitu dengan memasang sabuk pengikat secara diagonal terhadap *U-shape* yaitu bersudut 45° .

2. METODE PENELITIAN

Penelitian lanjutan ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja sambungan yang telah diuji sebelumnya, yaitu U1-B0, U1-B1 dan MN sebagai benda uji pembanding. Pada dasarnya metode penyambungan yang dilakukan sama seperti sebelumnya, hanya saja pada penelitian ini arah sabuk diubah menjadi diagonal. Untuk memverifikasi hal tersebut, dibuat benda uji uji U1-DB1 yaitu sambungan kolom pracetak menggunakan *U-shape* dan diberi sabuk pengikat yang dipasang secara diagonal yaitu membentuk sudut 45° terhadap *U-shape*. Hasil pemeriksaan U1-DB1 akan dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, yaitu U1-B0, U1-B1, dan MN

BENDA UJI

Benda uji yang digunakan adalah balok dan kolom yang masing-masing dibuat pracetak. Dimensi kolom adalah 15x45 cm di bagian atas dan 15x49,5 cm di sisi bawah dengan panjang 275 cm. Sedang balok berukuran 15 x 20cm dengan panjang 150 cm. Sebagai benda uji



Gambar 7. Benda uji U1-DB1

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 2.

Table 2. Test result data

No	Benda uji	Beban Maksimum (kN)	Persentase (%)	Lendutan (mm)	Persentase (%)
1	Monolith	24	-	44.7	-
2	U1-B0	21.8	90.8	31.4	70.2
3	U1-B1	15	62.5	27.1	60.6
4	U1-DB1	26.25	109.4	47.2	105.5

Pemasangan sabuk secara diagonal dengan sudut 45° berfungsi untuk menggeser posisi tegangan tepi (gaya gunting) yang terjadi pada benda uji bersabuk tegak lurus dengan *U-shape*. Dengan demikian tegangan tepi yang terjadi pada titik sambungan dapat bergeser ke arah balok, yaitu 20 cm dari titik sambungan, sehingga distribusi tegangan tidak lagi sepenuhnya menuju kolom tetapi berjalan ke arah balok juga.

Hasil pengujian pada Tabel 1, menunjukkan bahwa pemasangan sabuk pengikat diagonal berhasil meningkatkan kapasitas beban sambungan menjadi 26,25 kN atau 109,4% terhadap sambungan monolit. Jika dibandingkan terhadap sambungan dengan sabuk tegak lurus *U-shape*, peningkatan kapasitas muatannya sangat besar yaitu 175%. Capaian U1-B1 yang hanya 15 kN dapat ditingkatkan dengan mengubah arah sabuk, menjadi 26,25kN, atau meningkat 11,25 kN (75%). Perubahan arah sabuk sangat mempengaruhi kemampuan sambungan karena dengan mengubah arah sabuk, tegangan tepi yang terjadi sangat cepat pada U1-B1 dapat diperlambat oleh sistem sabuk diagonal sehingga sambungan dapat berfungsi lebih lama dari U1-B1. Selain itu, kondisi ini juga meningkatkan lendutan menjadi 47,16 mm atau 105,5% terhadap MN dan 174% terhadap U1-B1. Gambar 8, menunjukkan bahwa dengan memasang sabuk secara diagonal (U1-DB1), sambungan kembali berperilaku elastis lagi pada awal pembebanan, terutama jika dibandingkan dengan Gambar 5 (U1-B1). Kemunculan kembali sifat elastis disebabkan karena tidak ada lagi tegangan tepi yang muncul dengan cepat sehingga beton dapat bekerja untuk menerima beban.



Gambar 8. Kegagalan benda uji U1-DB1

Gambar 8 menunjukkan mode keruntuhan pada U1-DB1, dimana kegagalan CFRP terjadi di sepanjang area yang dibatasi oleh sabuk yang terpasang secara diagonal, ini berarti kegagalan tersebut masih disebabkan oleh tegangan tepi karena kekuatan sabuk masih lebih besar daripada kekuatan *U-shape*. Tetapi tekanan tepi dapat diperlambat dibandingkan dengan sambungan U1-B1. Kegagalan yang diharapkan adalah diawali oleh lepasnya sabuk karena yang utama sebagai elemen penghubung disini adalah *U-shape* dan sabuk hanya sebagai penguat ikatan *U-shape* sehingga akan memperlambat *debonding*. Urutan kegagalan yang diharapkan pertama-tama didahului oleh lepasnya sabuk dan kemudian diikuti oleh *debonding U-shape*.

Kehadiran sabuk pengikat pada sambungan memberikan efek positif dan negatif. Efek positifnya adalah menjaga *U-shape* lepas dari beton. Sedangkan efek negatifnya adalah memotong atau mengiris *U-shape* sebagai konektor utama (*edge stress effect*). Dengan *U-shape* terpotong, maka itu akan segera diikuti oleh kegagalan sambungan. Oleh karena itu, perlu diupayakan untuk mempertahankan *U-shape* atau setidaknya memperlambat kerusakan *U-shape*. Beberapa hal yang perlu dilakukan adalah:

1. Menggunakan *U-shape* yang lebih kuat dari sabuk pengikat, misalnya dengan meningkatkan ketebalan *U-shape* menjadi 2 lapisan atau lebih.
2. Menggeser posisi sabuk dari titik pertemuan balok-kolom. Memasang sabuk tepat pada titik sambungan menyebabkan timbulnya gaya gunting atau tekanan tepi pada titik itu. Tetapi jika sabuk tidak dipasang, *debonding* prematur akan terjadi karena proses *debonding* dimulai tepat di titik pertemuan balok dan kolom, kemudian merambat perlahan saat beban meningkat ke arah balok dan kolom. Kondisi ini seperti yang terjadi pada sambungan U1-B0 yang hanya mencapai 90,6% kekuatan sambungan monolit. Jika dipasang pada jarak tertentu dari titik pertemuan balok-kolom, maka ada bagian dari balok tersebut, yaitu dari titik temu ke posisi sabuk yang akan mengalami *debonding* prematur. Sehingga pemasangan sabuk secara diagonal pada titik pertemuan balok-kolom dilakukan. Diharapkan kondisi ini

dapat memperlambat terjadinya *debonding* prematur karena pada sisi bawah balok terikat oleh sabuk dan pada sisi atas balok posisi sabuk jauh dari titik sambungan.

3. Pemasangan sabuk secara diagonal, ternyata efek tekanan tepi berkurang akibat posisi sabuk yang membentuk sudut dengan *U-shape* yang sudah tidak lurus lagi. Dalam penelitian ini, sabuk dipasang pada sudut 45° . Jadi efek *edge stress* berkurang dari 90° menjadi 45° atau 50%. Jadi pemasangan sabuk secara diagonal akan memperlambat terpotongnya *U-shape* dan pada saat itu beban maksimum meningkat. Dalam hal ini, terjadi penambahan kekuatan hingga 109,4%. Demikian juga dalam kasus defleksi. Sambungan U1-DB1 juga mampu menahan defleksi yang lebih besar sebesar 105,5% terhadap defleksi yang dapat ditanggung oleh sambungan monolit. Ini berarti bahwa kondisi koneksi U1-DB1 lebih elastis. Sambungan U1-B0 hanya mampu mencapai defleksi 70,2% dan U1-B1 hanya 60,6%, yang berarti sambungan putus lebih cepat daripada sambungan monolit.
- 4 Pemasangan sabuk harus diperhitungkan sebaik mungkin, dimana kekuatan *U-shape* harus lebih dominan terhadap sabuk. Seharusnya bukan sabuk yang dominan terhadap *U-shape*. Jika kekuatan sabuk dominan terhadap *U-shape* maka sabuk akan memotong *U-shape*.

4. SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Kapasitas sambungan dengan CFRP U1-DB1, mampu melebihi kapasitas sambungan monolit, yaitu 109,4% terhadap sambungan monolit. Metode penyambungan dengan CFRP *U-shape* dan sabuk diagonal dapat dikembangkan sebagai salah satu metode koneksi balok-kolom pracetak; Penggunaan sabuk dapat menahan laju *debonding* tetapi efek tegangan tepi akibat sabuk dapat mengakibatkan kegagalan premature; dan Ketebalan *U-shape* harus lebih tebal dari sabuk agar mampu mengatasi tekanan tepi sabuk (Gaya gunting).

SARAN

Untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja sambungan, perlu menggunakan *U-shape* yang lebih tebal untuk dapat mengatasi efek tegangan tepi. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan dua atau lebih *U-shape*; dalam hal penggunaan sabuk, posisi dan arahnya perlu disesuaikan sedemikian rupa untuk meminimalkan efek tegangan tepi yang ditimbulkannya; dan *U-shape* pada bagian kolom juga harus diberi penguatan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Graha Citra Anugerah Lestari atas bantuan dan kerjasamanya dalam penyediaan materi CFRP Sheet. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pengelola Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar atas bantuan dan kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcocer ,Sergio M.; Carranza, Rene.; Navarrete, David P. (2000). “Behaviour of a Precast Concrete Beam-Column Connection “. 12 WCEE 2000;
- Badan Standardisasi Nasional. “SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”. Jakarta 2013;
- Balasubramaniana, K.; Lakshmananb, N.; Jeyaseharc, Antony C.; Ramesha, G.; Bharatkumar, B.H. (2012). “Evaluation Of Performance Of Retrofitted Reinforced Concrete Beam Column Joints-A Simplified Model”. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing) vol. 13, no. 6 (2012) pages 783-803;
- Djamaluddin, R. (2006). “Analitical Study of The Radially Stress Due To Initial Tensile Force In Manufacturing of CFRP”. Media Komunikasi Teknik Sipil. Volume 14, No. 1, Edisi XXXIV Pebruari 2006. Pages 73-77;
- European Commission Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen. (2012). “Design Guidelines for Connections of Precast Structures under Seismic Actions”. JRC71599, EUR 25377 EN, ISBN 978-92-79-25250-1, ISSN 1831-9424, doi:10.2777/37605. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012;
- Faella, Ciro; Lima, Carmine; Napoli, Annalisa.; Realfonzo, Roberto.; Ruiz, Pinilla J. G. (2012). “Beam-Column Joints Strengthened With FRP Systems;
- Mosallam A.S. (2007). “Structural Upgrade of Reinforced Concrete Column-Tie Beam Assembly using FRP Composites”. SP-258-4. Pg 57-68;
- Nimse, Rohit B.; Joshi, Digesh D.; Patel, Paresh V. (12 November 2014). “Behavior of wet precast beam column connections under progressive collapse scenario: an experimental study”. Int J Adv Struct Eng (2014) 6:149–159. DOI 10.1007/s40091-014-0072-3;
- Rante, H., Djamaluddin, R., Parung, H., dan Sampebulu, V. (2015). Prosiding ICCEIE 2015 : 17th International Conference on Civil, Environmental and Infrastructure Engineering, Kyoto, Japan, 12-13 Nopember 2015, 1047 – 1053;
- Ravi, Robert S. (2010). “Experimental Investigation on Behavior of Reinforced Concrete Beam Column Joints Retrofitted with FRP Wrap Subjected to Static Load”;
- Rose, Leema A.; Suguna K.; Rangunath, P.N.; (2009). “Strengthening of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Beams with Glass Fiber Reinforced Polymer Laminates”. Journal of Computer Science 5 (6): 435-439, 2009. ISSN 1549-3636 © 2009 Science Publications. Pg 435-439;
- SNI-03-2847-2002. “Procedures for Calculating Concrete Structures for Building”. Desember 2002.
- Sultan, M.A. (2015). “Study of the Influence of the Tropical Marine Environment on the Characteristics of Reinforced Concrete Blocks reinforced with GFRP Sheet”.