

PERMODELAN KERUNTUHAN GESER STRUKTUR KOMPOSIT BAJA – BETON DENGAN VARIASI PANJANG DAN DIAMETER STUD MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Rahma Nindya Ayu Hapsari
Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Semarang
Email : rahmanindyaayuhapsari@gmail.com

Abstract

Composite structures of concrete slabs and steel beams require shear connectors to transfer shear force between steel beams and concrete slabs. The strength of stud shear connector specified on SNI 03-1729-2013 only considers the effect of stud diameter, however the length of a stud may influence its behavior and strength. So that this study will examine the effect of stud length and diameter on the strength and failure mechanism of the composite structure. The research was conducted by numerical analysis using ANSYS, software with finite element method. The test specimens observed in this research were concrete and steel composites, composing IWF 350x175x11x14 mm and concrete blocks of size 450x225x160 mm. The studs were made of steel reinforcements with diameter (d) of 10, 16 and 22 mm. The length of studs for each stud diameter were $4d$, $5d$, and $6d$. The results indicate that the increase in stud diameter will increase the load capacity of stud. The length of studs effect its load capacity. A slim stud experiences large bending moment at the base of the shear connector. The results show that the highest value of load capacity is measured at specimens with l/d ratio of 5.

Keywords: *Composite structure, shear connector, ratio l/d*

Abstrak

Struktur komposit antara pelat beton dan balok baja membutuhkan shear connector untuk mentransfer gaya geser antara baja dan plat beton. Persamaan nilai kuat nominal stud yang ditentukan pada SNI 03-1729-2013 hanya didasarkan pada diameter stud, sedangkan panjang suatu material dapat mempengaruhi perilaku dan kekuatannya. Sehingga dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh panjang dan diameter stud terhadap kekuatan dan mekanisme kegagalan dari struktur komposit. Penelitian dilakukan dengan analisis numerik menggunakan ANSYS, software dengan metode elemen hingga. Benda uji yang diamati pada penelitian ini adalah komposit antara baja profil WF 350x175x11x14 mm dan beton berdimensi 450x225x160 mm. Stud terbuat dari baja tulangan polos dengan diameter 10, 16 dan 22 mm. Variasi panjang stud yang digunakan adalah $4d$, $5d$, dan $6d$ untuk masing-masing diameter stud. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan ukuran diameter shear connector berpengaruh pada kenaikan nilai kapasitas beban. Panjang shear connector dapat mempengaruhi kelangsingan batang yang menyebabkan shear connector mengalami momen lentur yang besar di pangkal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kapasitas beban tertinggi ada pada benda uji dengan rasio l/d 5.

Kata kunci : *Struktur komposit, shear connector, rasio l/d*

Pendahuluan

Struktur komposit mengasumsi bahwa baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain profil/elemen yang lebih ekonomis. Struktur komposit antara pelat beton dan balok baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan. Kelebihannya adalah beton kuat

terhadap tekan, dan baja kuat terhadap tarik. Agar struktur komposit baja – beton dapat bekerja dengan baik, diperlukan *shear connector* yang menyatukan balok baja dan pelat beton agar tidak mengalami pergeseran.

Struktur komposit merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih yang memiliki sifat yang berbeda dan membentuk suatu kesatuan struktur yang lebih baik (Pujianto, As'at. 2013). Dalam struktur beton

bertulang, struktur komposit diasumsikan bahwa beton dan baja bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain profil/elemen yang lebih ekonomis. Disamping itu, struktur komposit memiliki beberapa kelebihan, diantaranya struktur komposit lebih kuat (*stronger*) dan lebih kaku (*stiffer*) daripada struktur non-komposit. Beton memiliki kekuatan terhadap tekan yang cukup besar namun lemah terhadap gaya tarik, sehingga membutuhkan baja yang memiliki kekuatan tekan dan tarik yang sangat baik. Salah satu contoh struktur komposit adalah struktur beton dengan balok baja yang disambung menggunakan penghubung geser (*shear connector*).

Shear connector (shear connector) berfungsi untuk menahan geser horizontal yang terjadi selama pembebanan. Untuk mendapatkan penampang yang sepenuhnya komposit, *shear connector* harus cukup kaku sehingga dapat menahan geseran yang terjadi pada bidang pertemuan antara beton dan balok baja. (Sugupta, 1999).

Salah satu tipe *shear connector* yang banyak digunakan adalah tipe stud. Penggunaan stud *shear connector* diatur dalam SNI 03-1729-2013 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. Pada SNI 03-1729-2013 tersebut, kekuatan stud *shear connector* ditentukan oleh luas permukaannya, seperti dinyatakan pada persamaan 1.1. berikut ini:

$$Q_n = 0,5A_{sc}\sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot f_u \dots\dots (1.1)$$

Dimana:

- Q_n : kekuatan nominal satu stud (N)
 - A_{sc} : luas penampang *shear connector stud* berkepala (mm²)
 - E_c : modulus elastisitas beton
 - F'_c : kekuatan tekan beton (MPa)
 - F_u : tegangan putus *shear connector* (MPa)
- (sumber : SNI 03 – 1729 – 2013)

Dimana persamaan untuk mencari luas penampang *shear connector (A_{sc})* adalah

$$A_{sc} = \frac{\pi}{4} x d^2 \dots\dots\dots (1.2)$$

Pada Persamaan (1.1) dan (1.2) tersebut, dinyatakan bahwa luas bidang kontak berpengaruh pada kuat nominal *shear connector*, luas bidang kontak atau luas permukaan selama ini hanya didasarkan pada diameter stud,

sedangkan secara teotiris, panjang suatu material akan mempengaruhi faktor kelangsingan dan elastisitas dari material itu sendiri, sehingga dimungkinkan mempengaruhi perilaku dan kekuatannya. Sehingga dalam penelitian ini akan diamati pengaruh panjang dari stud terhadap kekuatan *shear connector*, dan faktor rasio perbandingan panjang dan diameter (*l/d*) dari stud *shear connector* terhadap perilaku dan kekuatan stud *shear connector*.

Dalam SNI 03-1729-2013, persamaan untuk mencari kuat nominal stud, menyatakan bahwa luas bidang kontak berpengaruh pada kuat nominal *shear connector*, luas bidang kontak atau luas permukaan selama ini hanya didasarkan pada diameter stud, sedangkan secara teotiris, panjang suatu material, yang dalam hal ini adalah *shear connector*, akan mempengaruhi faktor kelangsingan dan elastisitas dari material itu sendiri, sehingga dimungkinkan mempengaruhi perilaku dan kekuatannya. Sehingga dalam penelitian ini akan diamati pengaruh panjang dari stud terhadap kekuatan *shear connector*, dan faktor rasio perbandingan panjang dan diameter (*l/d*) dari stud *shear connector* terhadap perilaku dan kekuatan stud *shear connector*. Pada penelitian Liu, *et al.* (2008) pun dinyatakan bahwa spesimen dengan stud yang lebih panjang memiliki kekuatan tarik dan daktilitas yang lebih baik daripada spesimen dengan stud yang lebih pendek. Dan pada penelitian Shariati, *et al.* (2012) juga dinyatakan bahwa spesimen dengan *shear connector* yang lebih panjang menunjukkan fleksibilitas yang lebih tinggi dan dapat memikul beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan *shear connector* yang lebih pendek.

Pada penelitian ini akan digunakan tiga variasi panjang per diameter (*l/d*) dengan tujuan untuk mengamati rasio perbandingan panjang dan diameter (*l/d*) terhadap perilaku dan kekuatan stud *shear connector*. Pada penelitian terdahulu, milik Pavlovic, (2013) dengan beberapa variasi rasio (*l/d*), rasio (*l/d*) yang rendah meningkatkan kegagalan slip pada beton, yang mengarah pada sifat ulet dari *shear connector*.

ANSYS merupakan software berbasis *finite element analysis (FEA)* metode elemen hingga. Dari sudut pandang engineering, metode elemen hingga adalah

sebuah metode yang menyatukan elemen-elemen struktur yang dapat dianalisis secara terpisah ke dalam sebuah persamaan kesetimbangan global struktur. (Dill, 2011).

Prosedur elemen hingga mengurangi *variable* yang tidak diketahui menjadi sejumlah berhingga dengan membagi daerah penyelesaian menjadi bagian kecil yang disebut elemen dan dinyatakan sebagai *variable* medan yang tidak diketahui dalam istilah dianggap sebagai fungsi pendekatan dalam setiap elemen. (Bhavikatti, 2005).

Fungsi ini (juga disebut interpolasi) yang didefinisikan dalam bentuk nilai dan *variable* lapangan pada titik tertentu, disebut sebagai node. Node biasanya terletak di sepanjang batas elemen, dan menghubungkan elemen yang berdekatan. (Ibrahim, et al. 2015).

Kemampuan untuk mendiskritisasi domain tidak beraturan dengan elemen hingga membuat metode ini menjadi alat analisis yang berharga dan praktis untuk solusi masalah terhadap keadaan batas, kondisi awal (*initial condition*) dan masalah *eigenvalue* yang timbul dalam berbagai disiplin ilmu teknik. (Ibrahim, et al. 2015).

Secara singkat dapat dikatakan bahwa metode elemen hingga dapat mengubah suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya lebih sederhana. Dalam beberapa hal, metode ini merupakan metode *computer oriented* yang harus dilengkapi dengan program-program digital yang lengkap, yang dalam penelitian ini digunakan program ANSYS versi 15.0.

Software ANSYS merupakan software berbasis elemen hingga (*finite element Method/FEM*). Penggunaan software ini mencakup bidang struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnet. Software ini beroperasi dengan menampilkan simulasi dari hasil pembebanan yang telah dipasang. Software ANSYS ditemukan pada tahun 1970 oleh ANSYS, Inc. yang berbasis di Amerika dan dikembangkan lebih dari 3.000 orang profesional yang terdiri dari tingkat M.S. dan Ph.D. dalam analisis elemen hingga, dinamika fluida, elektronika, semikonduktor, dan lain-lain.

Penelitian ini menggunakan ANSYS 15.0 yang akan menghasilkan output berupa nilai beban, perpindahan,

dan regangan. Simulasi yang dipakai menggunakan metode Static Structural dengan material Non-Linier baik untuk material baja dan juga beton. Karakteristik material berupa kuat leleh baja dan kuat tekan beton yang digunakan dalam studi numerik ini disesuaikan dengan hasil pengujian material uji tarik baja dan uji tekan beton.

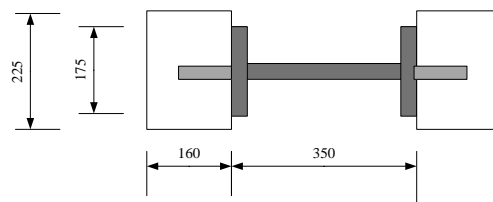
Metode Penelitian

Perencanaan Dimensi Benda Uji

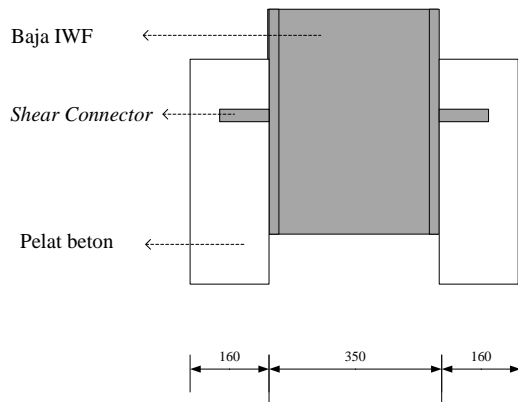
Di awal tahun 1930, *push out test* digunakan sebagai alat untuk menentukan kapasitas penghubung geser spiral. Pada pengembangan selanjutnya, uji *push out* digunakan secara luas untuk mempelajari jenis *shear connector* lain. Meskipun kondisi tegangan yang terjadi tidak menunjukkan kondisi tegangan yang terjadi pada balok komposit sebenarnya, *push out test* digunakan untuk mengetahui /karakteristik beban-slip pada kondisi pembebanan statis (Giuliani, et al. 2001).

Desain dan perencanaan spesimen untuk menentukan kekuatan karakteristik *shear connector* melalui *push out test* dibuat berdasarkan AS 2327, Part 1-2003. Pengujian *push out* dilakukan dengan menggunakan spesimen berupa dua buah pelat beton yang dihubungkan pada tiap flens (sayap) pada balok baja WF dengan menggunakan *shear connector*. Untuk rencana dimensi benda uji penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Push out test dilakukan terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari dengan cara menekan baja dan pelat beton yang merupakan struktur komposit. Langkah-langkah pengujian ini antara lain dengan benda uji diletakkan pada mesin, dengan posisi vertikal pada bagian memanjang, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. *Dial gauge* diletakkan diatas badan dan sayap baja. Beban diaplikasikan pada penghubung geser dan diberikan secara konstan dengan penambahan secara bertahap.

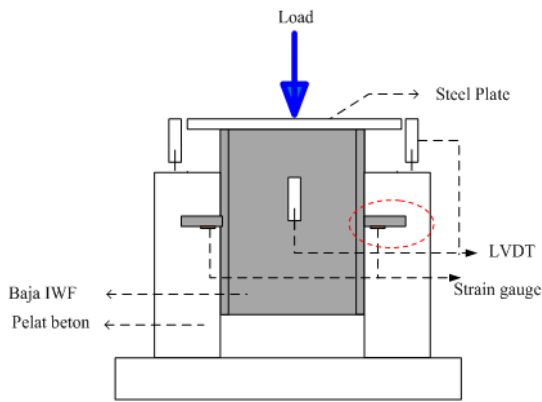


Benda uji tampak atas



Benda uji tampak depan

Gambar 1. Rencana Dimensi Benda Uji



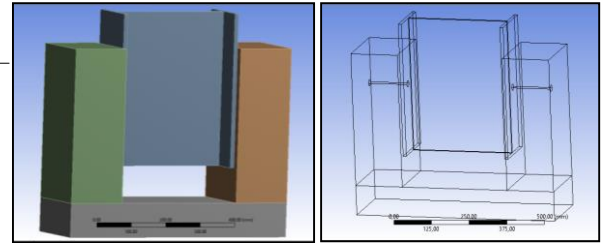
Gambar 2. Gambaran *Push Out Test* dan tampilan dalam benda uji

a. Geometri

Permodelan ini dibuat sesuai dengan kondisi asli dari benda uji, yang mana terdiri dari baja IWF, beton, dan *shear connector*. Ukuran skala pada permodelan pun dibuat sesuai dengan ukuran asli yaitu:

- IWF : 350 x 175 x 11 x 14 mm dengan tinggi 450 mm
- Beton : 22 x 160 x 450 mm
- *Shear connector* : d10, d16, dan d22 dengan panjang sesuai variasi l/d .

Pada permodelan ini, digunakan tambahan *frame* tumpuan pada perletakkan benda uji karena disesuaikan dengan posisi pada pengujian eksperimental yang mana benda uji diletakkan diatas *loading frame*, tanpa ditambahkan perletakkan dan kondisi batas apapun.

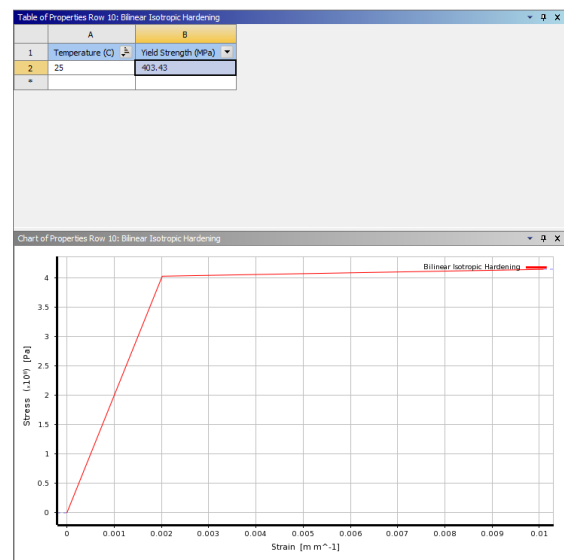


Gambar 3. Tampilan Geometri Benda Uji *Push Out Test*

b. Material Properties

Material properties yang diinputkan dalam proses simulasi numerik ini berupa data- data tegangan leleh material IWF, *shear connector*, dan *frame* tumpuan, serta data tegangan-regangan material beton.

Untuk menggambarkan kondisi plastisitas dari material baja, akan digunakan model plastisitas berupa *bilinear isotropic hardening*. Model plastisitas bilinear *isotropic* dideskripsikan oleh kurva regangan *bilinear*. Dimana slope awal dari kurva tersebut merupakan nilai modulus elastisitas pada material. Melewati nilai awal tegangan leleh, regangan plastis semakin naik dan kurva tegangan – regangan berlanjut sepanjang garis, bersamaan dengan slope yang didefinisikan sebagai nilai *tangent modulus* (E_T). Nilai *tangent modulus* tidak dapat kurang dari 0 atau melebihi modulus elastisitas. (Besseling, 1958)



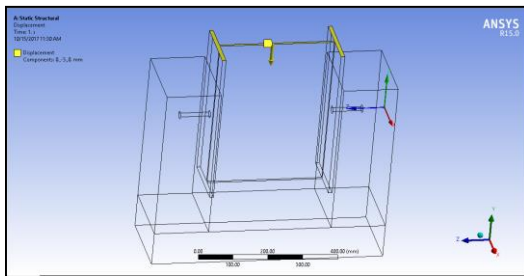
Gambar 4. Kurva *Bilinear Isotropic Hardening*

Gambar 7. Meshing geometri

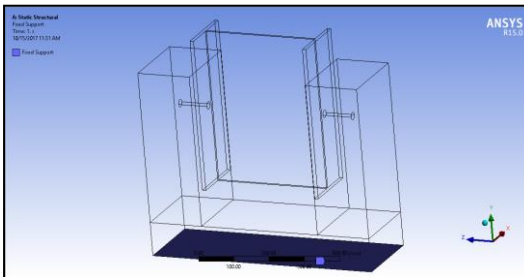
e. Metode Pembebanan

1. Metode pembebanan yang diberikan menggunakan *displacement control*, dimulai dari nilai yang kecil kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit hingga mencapai nilai beban batas, yaitu ketika *software* sudah *error* dan memunculkan pesan bahwa beban sudah melebihi kapasitas yang dapat diterima oleh struktur.

2. Untuk *frame* tumpuan diberikan perletakkan *fixed support* pada bagian dasar struktur.



(a)



(b)

Gambar 8. Penentuan *Boundary Conditions* (a) *Displacement Control* (b) Perletakkan *Fixed Support*

f. Contact Region

Contact region digunakan untuk memodelkan hubungan antar part dalam suatu geometri.

1. Untuk pertemuan antara bidang beton dan baja (IWF dan *shear connector*) ditentukan berupa *contact frictional* dengan koefisien friksi sebesar 0,4. (*German Standard DN 4421*)
2. Untuk pertemuan antara part IWF dan *shear connector* dianggap las sempurna sehingga digunakan *contact bonded* agar tidak terjadi pemisahan antar part.
3. Untuk pertemuan antara bidang beton dan *frame* tumpuan, ditentukan berupa *contact frictional*

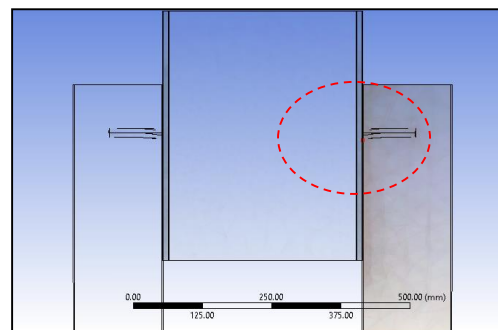
dengan koefisien friksi sebesar 0,1. (*British Standard BS 5975:1996*)

4. Untuk pertemuan antara bidang IWF dan beton, ditentukan berupa *contact frictional* dengan koefisien friksi sebesar 0,1. (*British Standard BS 5975:1996*)

Terdapat perbedaan nilai koefisien friksi antara bidang IWF terhadap beton atau *loading frame* terhadap beton dan *stud* terhadap beton, karena pada bidang kontak IWF terhadap beton atau *loading frame* terhadap beton merupakan bidang kontak permukaan, sedangkan pada bidang kontak *stud* terhadap beton, *stud* tertanam dalam beton (*embedded*) sehingga ada pengaruh dari *adhesi* antara kedua material.

g. Titik tinjau

Untuk meninjau tegangan dan regangan pada titik tertentu, pada software ANSYS digunakan menu *name selection*. Untuk part *shear connector* dipilih titik dengan posisi sesuai dengan posisi *Strain Gauge* pada eksperimen, sedangkan untuk part beton, nodal dengan tegangan terbesar berarti pada posisi tersebut lah letak peristiwa *crack* terjadi.

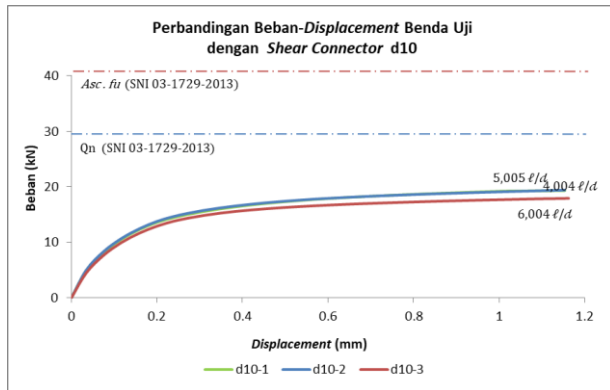


Gambar 9. Posisi nodal pada baja yang dikaji regangan dan *displacement* nya

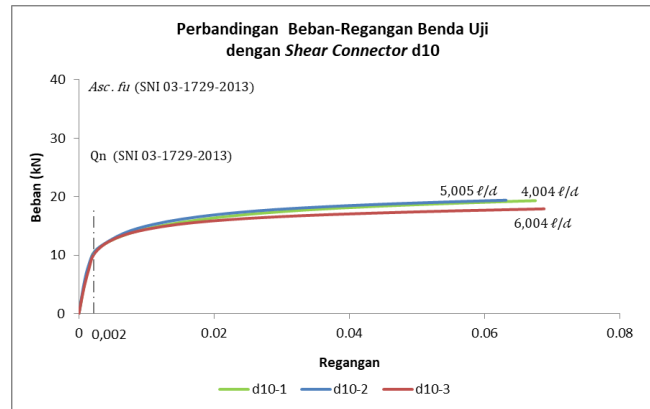
Parameter yang dikaji pada studi numerik ini disesuaikan dengan kajian eksperimen yaitu beban-regangan, dan beban-*displacement*. Dengan besar pembebanan yang digunakan diambil besaran yang kurang-lebih setara dengan pengujian eksperimen untuk melihat perbandingan perilaku strukturnya.

Hasil dan Pembahasan

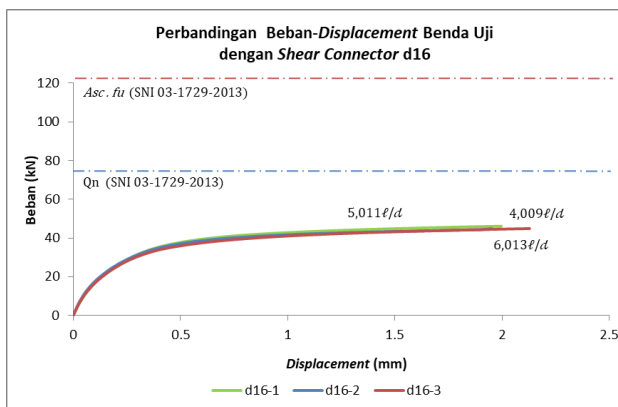
a. Beban – *Displacement* Hasil Studi Numerik ANSYS



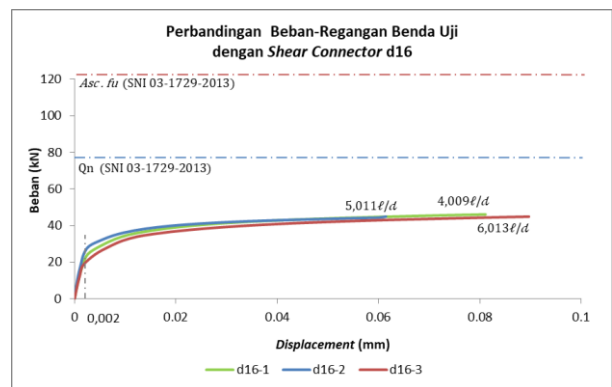
Gambar 10. Output ANSYS Grafik Beban-Displacement Benda Uji dengan shear connector diameter 10 mm



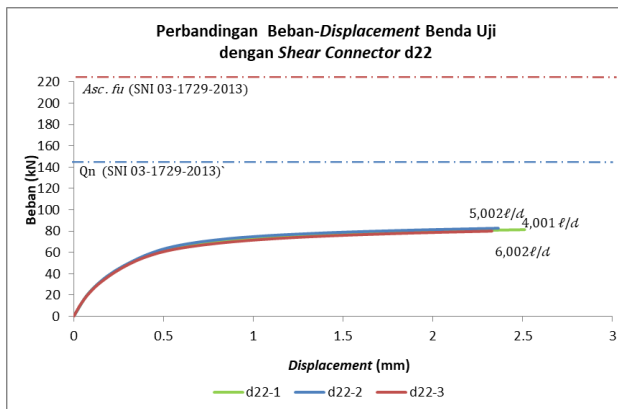
Gambar 13. Output ANSYS Grafik Beban-Regangan Benda Uji dengan shear connector diameter 10 mm



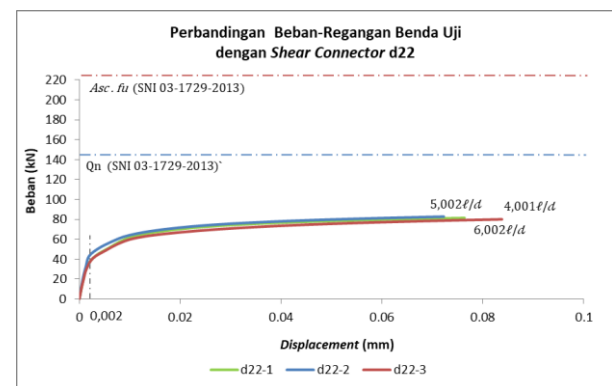
Gambar 11. Output ANSYS Grafik Beban- Displacement Benda Uji dengan shear connector diameter 16 mm



Gambar 14. Output ANSYS Grafik Beban-Regangan Benda Uji dengan shear connector diameter 16 mm



Gambar 12. Output ANSYS Grafik Beban- Displacement Benda Uji dengan shear connector diameter 22 mm



Gambar 15. Output ANSYS Grafik Beban-Regangan Benda Uji dengan shear connector diameter 22 mm

b. Beban – Regangan Hasil Studi Numerik ANSYS

Berdasarkan hasil studi numeric diatas, didapatkan hasil akhir dengan nilai kapasitas beban tertinggi ada pada benda uji dengan rasio ℓ/d 5, dan nilai kapasitas beban justru kembali mengalami penurunan pada benda uji dengan rasio ℓ/d 6.

Pada kelangsingan kolom baja, yang dimaksud sebagai kelangsingan batang adalah rasio antara panjang dan jari-jari inersia batang. Dalam hal ini, dapat diasumsikan pengaruh rasio panjang dibandingkan dengan diameter (ℓ/d) pada *shear connector* dapat mempengaruhi kelangsingan batang *shear connector*. Semakin kecil angka kelangsingan suatu batang, akan semakin *rigid* atau kaku batang tersebut. Sebaliknya, semakin besar angka kelangsingannya, batang tersebut akan mudah melentur. Batang yang terlalu langsing juga menyebabkan defleksi terlalu besar.

Dengan mengansumsikan bahwa material bersifat *elastis-plastis* ideal, distribusi tegangan akan tetap merata sampai tegangan leleh tercapai, dan peningkatan beban lebih lanjut dapat dilakukan, namun bagian ujung *shear connector* yang paling jauh dari tumpuannya (las) akan melendut keluar dari bidang asalnya. Defleksi keluar dari bidang ini akan menyebabkan distribusi tegangan menjadi tidak merata. Hal inilah yang mengakibatkan *shear connector* dengan rasio (ℓ/d) yang tinggi justru mengalami penurunan kapasitas beban.

Selain itu, seperti yang telah dibahas sebelumnya, walaupun dengan rasio ℓ/d yang sama, *shear connector* belum tentu menunjukkan perilaku yang sama. Hal ini dimungkinkan karena sifat elastisitas *shear connector* bukan hanya dilihat dari panjang terhadap diameternya saja, namun juga harus dilihat dari panjang per diameter terhadap struktur keseluruhan. Serta dimungkinkan juga karena pengaruh volume beton yang menyelimuti *shear connector* turut pula membantu dalam menahan beban.

Kesimpulan

Berdasarkan seluruh pengujian, analisis data, dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kenaikan ukuran diameter *shear connector* berpengaruh pada kenaikan nilai kapasitas beban yang dapat ditahan oleh *shear connector*.
2. Panjang *shear connector* dapat mempengaruhi kelangsingan batang *shear connector*. Semakin kecil angka kelangsingan suatu batang, akan semakin *rigid* atau kaku batang tersebut. Sebaliknya, semakin besar angka kelangsingannya, batang tersebut akan mudah

melentur. Batang yang terlalu langsing juga menyebabkan defleksi terlalu besar.

3. Hasil studi numerik dengan software ANSYS 15.0 bersesuaian dengan hasil studi eksperimental, didapatkan hasil akhir yang bersesuaian, yaitu nilai kapasitas beban tertinggi ada pada benda uji dengan rasio ℓ/d 5, 4, dan kemudian 6.

Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini kiranya perlu dilakukan beberapa koreksi yang diperlukan agar penelitian-penelitian selanjutnya dapat lebih baik. Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan pada rasio ℓ/d yang lebih detail dan lebih bervariasi.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba menggunakan diameter tulangan yang lebih bervariasi.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat dipertimbangkan menggunakan tulangan ulir sebagai material *shear connector*.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba membuat permodelan numerik dengan memodelkan las sudut seperti halnya studi eksperimental.

Daftar Pustaka

ANSYS Help. 2016

Besseling. 1958. A Theory Of Elastic, Plastic, And Creep Deformations Of An Inially Isotropic Material Showing Anisotropic Strain Hardening, Creep, And Recovery, And Secondary Creep. *Journal Of Applied Mechanics*.

Bhavikati. 2005. *Element of Civil Engineering*.
Gattesco & Giuliani. (2001). *Experimental Study on Stud Shear Connector Subjected to Cyclic Loading. Journal of Contructional Steel Research*, University of Trieste, Italy.

Dill, 2011. *The Finite Element Method for Mechanics of Solid with ANSYS Applications*. CRC Press.

Ibrahim, et al. 2007. *The Finite Element Method and Application in Engineering using ANSYS*. Springer. US

Liu, et al. (2008). Numerical and Experimental Study On Pull-out Behaviour of Stud Shear Connector Embedded in Concrete, *Dissertation*, Tongji University, China: Department of Bridge Engineering.

Nn. (1980). *AS 2327 (Part I)*. Australia: Australian Standard.

Nn. (2013). SNI 03-1729-2013, *Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung*, Indonesia.

Pavlovic. (2013). Resistance of Bolted Shear Connectors In Prefabricated Steel-Concrete Composite Decks, *Doctoral Dissertation*, Serbia: Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade,

Pujianto. Struktur Komposit dengan Metode LRFD (Load Resistance Factor Design).

Shariati, et al. (2012). *Behaviour of C-shaped angle shear connectors under monotonic and fully reversed cyclic loading: An experimental study*. Conference Paper. Department of Civil Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia.

Sugupta, et. al 2012. Studi Eksperimen atas Kekuatan Penghubung Geser Tipe Lekatan dari Tulangan Baja Lunak Berbentuk Spiral. Universitas Udayana. Denpasar