

# BAB 6

## PENUTUP

### 6.1 Simpulan

Berdasarkan dari seluruh hasil tinjauan yang dilakukan, maka dapat diperoleh simpulan untuk model kalibrasi adalah:

- Untuk membentuk suatu model yang dapat merepresentasikan model eksperimental, maka perlu dilakukan kalibrasi terhadap *meshing*, *geometry imperfection*, sistem (kekakuan), kontak, dan material.
- Sambungan memerlukan pemodelan *geometry imperfection* untuk dapat memodelkan moda tekuk yang sesuai jika dibandingkan dengan model eksperimental.
- Ketidaktepatan kondisi pembebanan dapat memberikan kekakuan tambahan pada model. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan luasan pembebanan.
- Kontak MPC-Bonded direkomendasikan pada satu elemen yang sama sehingga tidak ada *slip* yang dapat terjadi.
- Model material seharusnya menggunakan kurva tegangan-regangan yang sesungguhnya, namun dalam studi ini akurasi dari ketiga model material yang dikalibrasi masih memiliki akurasi yang cukup baik (perbedaan <10% pada tiap model material) sehingga ketiga jenis material dapat digunakan. Dalam kasus ini, model material yang paling dapat mewakili studi kasus yang digunakan adalah dengan menggunakan model material *Ramberg-Osgood*.

Model pengembangan dilakukan dengan meninjau efek biaksial pada sambungan. Untuk simpulan dari seluruh hasil tinjauan perilaku sambungan akibat beban biaksial adalah sebagai berikut:

- Beban biaksial yang paling berbahaya bagi kolom adalah dengan beban simetris 100% ditambah dengan beban aksial, di mana dapat berpotensi mengurangi kekuatan sambungan hingga 8.18%.
- Beban biaksial tidak terlalu berpengaruh pada kekuatan dan perilaku sambungan apabila panel dan kolom memiliki kekuatan yang cukup. Maka dari itu, untuk memastikan kekuatan panel dan kolom, SC/WB perlu dicek terhadap biaksial.
- Beban biaksial penting digunakan untuk sambungan yang memang ditujukan untuk menahan beban lentur biaksial, karena degradasi kekuatan pada model dengan beban biaksial dapat terjadi lebih cepat dan cenderung memperbesar degradasi kekuatan pada sambungan. Selain itu, tegangan yang terjadi pada kolom dan panel akan lebih besar. Maka dari itu, dalam pengujian sambungan secara eksperimental, maka perlu diaplikasikan pembebanan biaksial.

Maka dari itu, dapat diambil rekomendasi prosedur desain yang dapat diambil kembali kesimpulannya adalah sebagai berikut ini.

- Pengecekan SC/WB pada sambungan ini dapat dilakukan dengan menggunakan perumusan SC/WB biaksial pada sambungan ConXL dengan menggunakan  $C_{pr} = 1.1$ . Nilai SC/WB biaksial dapat memperlemah kekuatan sambungan hingga 0.67 kalinya, namun dengan perkuatan akibat balok maka reduksi ini dapat berkurang hingga 0.7-0.8 kalinya, di mana besaran reduksi

akan berkurang dengan semakin kuatnya balok jika dibandingkan dengan kolomnya.

- Perhitungan menggunakan rekomendasi desain yang diusulkan apabila dicek dengan pembebanan monotonik  $M_{pr}$  cukup sesuai secara kontur tegangan terhadap kuat panel dan SC/WB pada sistem biaksial. Maka dari itu, dapat dikatakan bahwa rekomendasi prosedur desain sudah cukup konservatif.

## 6.2 Saran

Studi yang dilakukan terhadap sambungan ini dapat menyimpulkan efek dari pembebanan biaksial pada perilaku sambungan dengan dan tanpa perkuatan pada panel dan kolom. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut agar dapat menggunakan sambungan ini sebagai sambungan terpraktualifikasi pada AISC.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut ini:

- Rekomendasi prosedur desain yang dihasilkan masih memerlukan kajian lebih lanjut, seperti lebih banyak model eksperimental dan model elemen hingga agar metode ini dapat diaplikasikan.
- Model elemen hingga dalam studi ini dikalibrasi berdasarkan pengujian berdasarkan uji eksperimental Yamazaki et al. (2010), di mana pengujian eksperimental juga memiliki potensi ketidakakuratan. Dalam studi ini, ada kemungkinan kekakuan metode pembebanan mempengaruhi kekuatan sambungan. Maka dari itu, idealnya perlu digunakan beberapa model eksperimental lainnya untuk memverifikasi model ini.
- Material yang digunakan dalam sambungan ini masih menggunakan material JIS, sehingga perlu diuji terhadap material ASTM juga. Selain itu, standard pengelasan pada sambungan berdasarkan AWS juga masih perlu diuji, karena

sambungan ini masih baru teruji dengan material dan metode pengelasan Jepang.

- Penebalan pada daerah panel dapat memperkuat perilaku sambungan, walaupun kelangsingan kolom tidak mengalami perubahan. Hal ini mengindikasikan kemungkinan bahwa rasio lebar per ketebalan kolom HSS dapat dikurangi apabila panel memiliki ketebalan yang cukup. Namun, masih perlu studi lebih lanjut mengenai hal tersebut.
- *Damage* dan *fraktur* masih belum dimodelkan, sehingga masih diperlukan verifikasi dan penelitian lebih lanjut mengenai hal tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- AIJ (2012). "AIJ Recommendations for Design of Connections in Steel Structures". Architectural Institute of Japan. Japan.
- AISC 341-16. (2016), "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", *American Institute of Steel Construction, Inc.* Chicago, Illinois, United States.
- AISC 358-16. (2016), "Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications", *American Institute of Steel Construction, Inc.* Chicago, Illinois, United States.
- AISC 360-16. (2016), "Specification for Structural Steel Buildings", *American Institute of Steel Construction, Inc.* Chicago, Illinois, United States.
- AISC Supplement 358-16. (2017), "Supplement No.1 to AISC 358-16: Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications", *American Institute of Steel Construction, Inc.* Chicago, Illinois, United States.
- ANSYS Documentation (2013). "ANSYS Product Documentation Set". *Analysis System.* Canonsburg, Pennsylvania, United States.
- AWS D1.1/D1.1M (2015). "Structural Welding Code – Steel", *American Welding Society.* American National Standards Institute. United States.
- AWS D1.8/D1.8M (2016). "Structural Welding Code – Seismic Supplement", *American Welding Society.* American National Standards Institute. United States.
- Blandon, C. A. (2004). "Equivalent Viscous Damping Equations for Direct Displacement Based Design". *Master Thesis*, European School of Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk.
- Elkady, A. and D. G. Lignos (2017). "Development of Bidirectional Cyclic Lateral Loading Protocols for Experimental Testing of Steel Wide-Flange Columns", *3<sup>rd</sup> Huixian International Forum on Earthquake Engineering for Young Researchers*, August 11-12, University of Illinois, Urbana-Champaign, United States.
- Fadden, Matthew Floyd (2013). "Cyclic Bending Behavior of Hollow Structural Sections and their Application in Seismic Moment Frame Systems", PhD Thesis, University of Michigan. Michigan. United States.
- FEMA 350 (2000). "Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings". *Program to Reduce the Earthquake Hazards of Steel Moment-Frame Structures.* SAC Joint Venture. United States.

- Futamura, Hirotaka (2013). "Seismic Structural Design with Jumbo Size Cold Formed Hollow Structural Section Column", *Steel Innovations Conference*, Christchurch, New Zealand.
- Gkantou, M., Theofanous, M., and Baniotopoulos, C. (2017). "Structural Response of High Strength Steel Hollow Sections under Combined Biaxial Bending and Compression", *EUROSTEEL 2017, Copenhagen, Denmark*.
- Guglielmo, E., Martin, SE. (2014). "Seismic Applications of HSS in Moment Resisting Frames", Steel Tube Institute.
- Kato, K. and Ikarashi, K. (2016). "Effect of Initial Imperfection on Local Buckling Behavior of Square Hollow Section Member". *Journal of Structural and Construction Engineering*. Vol. 81, No. 723, 893-903.
- Kindmann, R. and Kraus, M. (2011). "Steel Structures Design using Finite Element Method". *Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften GmbH & Co. KG*, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany.
- Kurniawan, R. (2015). "Perilaku Hubungan Pelat-Kolom Reactive Powder Concrete Terhadap Beban Gravitasi dan Lateral Siklis". *Doktoral Tesis*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Kurobane, Y. (2002). "Connections in Tubular Structures", *Progress in Structural Engineering and Materials*, 4:35-45. John Wiley & Sons, Ltd.
- Kurobane, Y. et al. (2004). "Design Guide 9: For Structural Hollow Section Column Connections". CIDECT, TÜV-Verlag GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln, Germany.
- MacDonald, M, Rhodes, J., and Taylor, G. T. (2000). "Mechanical Properties of Stainless Steel Lipped Channels", *15<sup>th</sup> International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*. Missouri University of Science and Technology.
- McCormick, J., Fadden, M., and Buisson, J. (2010). "Cyclic Testing of Hollow Structural Sections for Seismic Applications in Low to Mid-Rise Moment Frames". *Tubular Structures XIII – You*, The University of Hong Kong, ISBN 978-0-415-5.
- McCormick, J. (2014) "Width-Thickness Requirement for Square and Rectangular HSS Subject to Flexure", Steel Tube Institute.
- Packer, J.A. (2015). "Transverse Plate-to-Square/Rectangular HSS Connections", *Technical Paper 01-2015*, Steel Tube Institute.

- Sannei, Z., Ghassemieh, M., Mazroi, A. (2013). "WUF-W Connection Performance to Box Column Subjected to Uniaxial and Biaxial Loading", *Journal of Constructional Steel Research*. 88, 90-108.
- Sato, Atsushi (2017). "Structural Design Procedure of Steel Structure in Japan – Commentary", *Lecture at Czech Technical University*. Prague. Czech.
- Shiiba, H., Koetaka, Y., and Sato, Y. (2013). "Mechanical Behavior of Non-Diaphragm Type Beam-to-Column Connection using Thick Square Hollow Section", *Steel Structural Proceedings*. Vol. 20, No.80.
- SNI 1729:2015. (2015). "Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural", *Badan Standarisasi Nasional*, Jakarta, Indonesia.
- SNI 7860:2015. (2015). "Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung", *Badan Standarisasi Nasional*, Jakarta, Indonesia.
- SNI 7972:2013. (2013). "Sambungan Terprakualifikasi untuk Rangka Momen Khusus dan Menengah Baja pada Aplikasi Seismik", *Badan Standarisasi Nasional*, Jakarta, Indonesia.
- Sullivan, T. , Calvi, G., and Priestley, M. (2004). "Initial Stiffness Versus Secant Stiffness in Displacement Based Design". *13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 2888, Vancouver, B.C., Canada.
- Wardenier, J. et al. (2010). "Hollow Sections in Structural Applications". CIDECT, Geneva, Switzerland.
- Yamazaki, M., Koetaka, Y., and Matsuo, S. (2010). "Experimental Study on Comparison of Plastic Deformation Capacity of Steel Beam-to-Column Connections", *Steel Structural Proceedings*. Vol. 17, No.68.
- Yun, X. and Gardner, L. (2017). "Stress-Strain Curves for Hot-Rolled Steels", *Journal of Constructional Steel Research*. 133, 36-46.

