

BAB 7

PENUTUP

7.1. Simpulan

Berdasarkan dari pengujian yang dilakukan, diperoleh beberapa kelompok simpulan sebagai berikut

7.1.1. Simpulan Kalibrasi Model

Simpulan yang diperoleh dari hasil kalibrasi model adalah sebagai berikut

1. Versi program ANSYS yang digunakan adalah ANSYS 19.2. Kebutuhan minimum untuk mempermudah solusi elemen kontak adalah menggunakan ANSYS 18.2. Pada ANSYS 18.2 terdapat perubahan formulasi solusi kontak menggunakan fitur *small sliding*. Small sliding menjaga akurasi, sambil mengurangi biaya komputasi.
2. Tipe plastisitas material yang digunakan adalah *Bilinear Kinematic Hardening*. Masukan pada kurva plastisitasnya adalah modulus elastisitas, tegangan leleh, dan modulus tangensial. Masukan material dapat dilihat pada **Tabel 3. 2**.
3. Elemen kontak antara pelat-ujung dan baut menggunakan tipe *frictional*. Elemen kontak antara lubang dengan badan baut menggunakan tipe *frictionless*. Kedua kontak ini menggunakan formulasi solusi *small sliding*. Masukan pengaturan model elemen kontak ditunjukkan oleh **Tabel 3. 6**.
4. Model kontak kepala baut dengan pelat-ujung bentuk disesuaikan menjadi bonded. Penyesuaian ini bertujuan untuk mengurangi biaya komputasi.

5. Pengaturan mesh perlu diperhitungkan agar ukuran model tidak menjadi terlalu besar. Jumlah nodal dan elemen perlu disesuaikan dengan kapasitas dari perangkat komputer.
6. Kalibrasi bentuk aktuator dilakukan dalam rangka kalibrasi penyederhanaan biaya komputasi dan penyesuaian terhadap kapasitas momen puncak.

7.1.2. Simpulan Analisis Elemen Hingga

Simpulan yang diperoleh dari hasil analisis elemen hingga adalah sebagai berikut:

1. Model elemen hingga konfigurasi sambungan pelat-ujung dengan beban siklik, sensitif dengan masalah konvergensi. Baut dan pelat belum mencapai tegangan putus, namun iterasi sudah tidak dapat dilakukan. Sehingga, analisis elemen hingga memiliki hasil yang konservatif terhadap kegagalan akhir dari pembebanan.
2. Konfigurasi pengaku diagonal DS-n mampu menjaga balok hingga tahan dapat menyelesaikan seluruh siklus pembebanan. Sedangkan, balok dengan konfigurasi pengaku HS-n tidak mampu menahan seluruh siklus pembebanan.
3. Pola garis leleh momen positif dan negatif pada konfigurasi DS-n, memiliki bentuk yang simetris. Sehingga desain sambungan dapat dilakukan tipikal untuk momen positif dan negatif.
4. Simpulan analisis model Sambungan MRS 2/1
 - a. Model sambungan MRS 2/1 – IWF500 dan IWF600 memiliki akurasi yang baik dengan hasil yang konservatif. Kapasitas

sambungan berada pada rentang -3.90% s.d. 12.98% dengan outlier 20.99% dan 20.53% dari perhitungan.

- b. Berdasarkan model MRS 2/1 kapasitas puncak sambungan dengan hauns terbatas hanya berkisar 39.35% s.d. 48.96% dari momen plastis balok.
- c. Pola garis leleh sambungan MRS 2/1 hasil analisis elemen hingga sesuai dengan prediksi pola garis leleh.

5. Simpulan analisis model Sambungan MRS 2/2

- a. Model sambungan MRS 2/2 – IWF500 dan IWF600 memiliki akurasi yang baik dengan hasil yang konservatif. Hanya ada dua kapasitas sambungan yang berada dibawah -5% dibawah perhitungan, yakni -2.86% dan -3.72% dari hasil perhitungan.
- b. Pola garis leleh sambungan MRS 2/2 hasil analisis elemen hingga sesuai dengan prediksi pola garis leleh.

6. Simpulan analisis model Sambungan MRS 3/1

- a. Model sambungan MRS 3/1 – IWF500 dan IWF600 memiliki akurasi yang baik. Rentang perbedaan kapasitas sambungan berkisar diantara -11.44% s.d. 10.15% dari hasil perhitungan.
- b. Selain model MRS 3/1 – 20 – M20, terlihat kapasitas puncak sambungan dengan hauns terbatas hanya bertambah 35.61% s.d. 56.06% dari momen plastis balok.
- c. Pola garis leleh sambungan MRS 3/1 hasil analisis elemen hingga sesuai dengan prediksi pola garis leleh.

7. Seluruh tipe sambungan, yakni MRS 2/1, MRS 2/2, dan MRS 3/1 memiliki perbedaan antara momen positif dan negatif. Perbedaan antara momen negatif dan positif berada pada rentang -3.18% s.d. -7.09%. Sehingga dalam desain perlu adanya faktor koreksi untuk kapasitas momen.

7.2. Saran

Berdasarkan dari hasil studi yang dilakukan sudah dapat menyimpulkan parameter garis leleh dan kapasitas sambungan dari sambungan pelat-ujung dengan haunh. Namun, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar sambungan dapat terpraktualifikasi. Dari hasil studi diperoleh beberapa saran sebagai berikut:

1. Agar biaya komputasi rendah, pastikan faktorisasi matriks berada pada *in-core memory*. Pada ANSYS *Spaceclaim* terdapat *bug* pembuatan geometri. Saat melubangi pelat atau membuat *body* yang rumit, terkadang *body* menjadi rusak. Pelubangan lebih baik dilakukan menggunakan perintah “Combine”. Jika rasio nodal dan *hardware* masih masuk dalam batas namun faktorisasi matriks berada pada *out-core memory*, sebaiknya dilakukan pengecekan kembali pada *body* yang sulit.
2. Dalam menghitung parameter garis leleh, sebaiknya digambarkan dahulu prediksi pola defleksi pelat akibat beban peralihan virtual. Setelah itu, baru lah menghitung rotasi dan energi tersimpan pada masing-masing panel pelat.

3. Jarak baut harus diperhatikan dalam mendesain sambungan pelat-ujung dengan hauns. Terutama pada *pitch* baut dengan hauns, ada kemungkinan tidak dapat dikencangkan jika jarak *pitch* terlalu kecil.
4. Analisis elemen hingga dalam studi ini dikalibrasi berdasarkan proses uji eksperimental oleh Gang Shi, dkk (2006). Pengujian eksperimental ini memiliki potensi ketidak akuratan, dikarenakan kondisi batas aktuator mempengaruhi kekuatan dan kekakuan sambungan. Kondisi batas aktuator tidak bisa berperilaku sendi sempurna. Maka dari itu, diperlukan adanya pengujian eksperimental dan uji numerikal lain untuk memverifikasi model ini.
5. Perlu kajian kembali dengan analisis elemen hingga yang lebih lanjut atau verifikasi dengan uji eksperimental. Analisis elemen hingga yang dilakukan masih belum mempertimbangkan *non-linear buckling*, *damage*, dan *fracture*.
6. Perlu kajian kembali mengenai prosedur desain yang diusulkan, terutama verifikasi dengan uji eksperimental. Uji eksperimental diperlukan untuk verifikasi terhadap hasil dari proses pengelasan.
7. Kekuatan sambungan dari hasil analisis lebih besar hingga 150% dari kapasitas momen plastis balok. Jikalau sudah dilakukan pengujian eksperimental sambungan, mungkin nilai momen



Daftar Pustaka

Abel, M. S. M., 1993. *Four-Bolt Extended Unstiffened Moment End-Plate Connections*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

AISC 341-16, 2016. *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

AISC 358-16, 2016. *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

AISC 360-16, 2016. *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

AISC Design Guide 16, 2002. *Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections*. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

AISC Design Guide 4, 2003. *Extended End-Plate Moment Connections*. Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction.

ANSYS Documentation, 2013. *Ansys Product Documentation Set*. Canonsburg, Pennsylvania: ANSYS.

Aurel Stratan, C. M. C. V. D. D. C. N., 2016. *Prequalification Tests on Bolted Beam-To-Column Joints with Haunches*. Chicago, Illinois, American Institute of Steel Construction, pp. 569-578.

AWS D1.1/D1.1M, 2015. *Structural Welding Code - Steel*. United States: American Welding Society. American National Standards Institute.

AWS D1.8/D.18M, 2016. *Structural Welding Code - Seismic Supplement*. United States: American Welding Society. American National Standards Institute.

Blandon, C. A., 2004. *Equivalent Viscous Damping Equations for Direct Displacement Based Design*. Pavia, Italy: Thesis (Master). ROSE School. European School of Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk..

Blumenbaum, S. E., 2004. *Response of Cyclically Loaded Extended End-Plate Moment Connections When Used with Welded Built-Up Sections*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Doctoral). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Bond, D. E., 1989. *Analytical and Experimental Investigation of a Flush Moment End-Plate Connection with Six Bolts at the Tension Flange*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Borgsmiller, J. T., 1995. *Simplified Method for Design of Moment End-Plate Connections*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Dominisse, K. R., 2004. *Strength and Stiffness of Weak-Axis Moment End-Plate Connections*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Gang Shi, Y. S. Y. W., 2006. Behaviour of End-Plate Moment Connections Under Earthquake Loading. *ScienceDirect*, Volume Engineering Structures 29, pp. 703-716.

Hendric, D. M., 1985. *Unification of Flush End-Plate Design Procedures*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Italiano, V. M., 2001. *Behavior of Diagonal Knee Moment End-Plate Connections*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Jain, N., 2015. *Developing and Validating New Bolted End-Plate Moment Connection Configurations*. Blacksburg(Virginia): Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

John C. Ryan, J., 1999. *Evaluation of Extended End-Plate Moment Connections Under Seismic Loading*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Junling Chen, W. S. J. L., 2017. Constitutive Model of Q345 Steel at Different Intermediate Strain Rates. *Springer, Volume International Journal of Steel Structures* 17, pp. 127-137.

Kukreti, A. R., 1984. *Finite Element Analysis of Two Tension Bolt Flush End-Plate Connection*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Meng, R. L., 1996. *Design of Moment End-Plate Connections for Seismic Loading*. Blacksburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Sumner, E. A., 2001. *Experimental Investigation of the Multiple Row Extended 1/2 End-Plate Moment Connection*. Blackburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.

Sumner, E. A., 2003. *Unified Design of Extended End-Plate Moment Connections Subject to Cyclic Loading*. Blackburg, Virginia: Thesis (Doctoral). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Sumner, E. A., Mays, T. W. & Murray, T. M., 2001. End-Plate Moment Connections: Test Result and Finite Element Method Validation. *Department of Civil and Environmental Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University*, pp. 82-93.

Szabo, T. A., 2017. *Development and Validation of A Twelve Bolt Extended Stiffened End-Plate Moment Connection*. Blackburg, Virginia: Thesis (Master). Virginia Polytechnic Institute and State University.

Wang, M., 2013. Numerical Study On Seismic Behaviors of Steel Frame End-Plate Connections. *Elsevier, Volume Journal of Constructional Steel Research* 90, pp. 140-152.



