

PIAGAM PENGHARGAAN

Diberikan kepada

Andy Prabowo, Ph.D.

Sebagai ucapan terima kasih atas bantuannya dalam menulis tata cara:
“Perancangan Struktur Baja Canai-Dingin Bermutu Tinggi Menggunakan Model Diagram
Tegangan-Regangan Efektif”



Dr. Ir. Usman Wijaya, S.T., M.T.
Direktur PT. DeltaKoni

13-03-2024

**PERANCANGAN STRUKTUR BAJA CANAI-DINGIN BERMUTU TINGGI
MENGUNAKAN MODEL DIAGRAM TEGANGAN-REGANGAN
EFEKTIF**

Disusun oleh:
Andy Prabowo, S.T., M.T., Ph.D.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TARUMANAGARA
Maret 2024**

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penampang baja canai-dingin memiliki keunggulan akibat dari proses fabrikasi [1] apabila dibandingkan dengan baja gilas panas, seperti adanya peningkatan kekuatan akibat dari proses canai-dingin. Peningkatan kekuatan ini dapat ditemukan pada penampang *square/rectangular hollow* (SHS/RHS) [2], menjadikan penampang ini lebih atraktif dari pada penampang baja canai-dingin terbuka. Penampang SHS/RHS tidak mengalami kegagalan torsi apabila dikenakan gaya tekan baik akibat gaya aksial maupun akibat aksi lentur.

Penelitian mengenai perilaku penampang SHS/RHS khususnya yang terbuat dari proses canai-dingin berkembang cukup pesat dalam 1 dekade terakhir seperti yang diungkap oleh Gardner dan Yun [3] ketika melakukan pengumpulan seluruh data penelitian mengenai baja canai-dingin untuk merumuskan hubungan konstitutif material tarik. Beberapa penelitian sejenis lainnya [4-6] juga sudah menginvestigasi kekuatan baja canai-dingin mutu tinggi dengan *grade* minimal S700. Namun demikian, perhitungan kekuatan penampang baja canai-dingin mutu tinggi (lebih tinggi dari S700) belum diatur secara jelas pada beberapa *code* internasional seperti, AISC-360 [7], AISI [8], and EC3 [9]. Maka dari itu, penulis melihat masih adanya kemungkinan mengusulkan metode desain yang praktis untuk digunakan oleh para insinyur struktur.

Berdasarkan hasil penelitian Prabowo et al. [10], metode desain alternatif yang dapat digunakan untuk mendesain struktur baja canai-dingin mutu tinggi (*Cold-formed High Strength Steel/CFHSS*) yaitu dengan memanfaatkan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method/DAM*) [7]. Metode ini merupakan metode desain yang terintegrasi dengan metode analisis struktur sehingga tidak memerlukan perhitungan kekuatan penampang secara terpisah. Syarat dari metode ini yaitu efek ketidaksempurnaan (*imperfection*) baik geometri maupun material dari struktur diperhitungkan/dimodelkan langsung saat analisis.

Untuk struktur CFHSS, ketidaksempurnaan material dapat dimodelkan dengan membuat model konstitutif material yang mengakomodir perilaku tarik dan tekan seperti yang dimiliki oleh model “tegangan-regangan efektif”. Penjelasan singkat mengenai model tersebut dapat dilihat pada Bab II. Efek ketidaksempurnaan geometri pada DAM dapat dimodelkan secara terintegrasi dengan memberikan suatu nilai, misal $1/500 \cdot L$ atau $1/1000 \cdot L$ dengan L merupakan panjang/bentang dari struktur. Nilai ketidaksempurnaan telah diatur pada peraturan AISC-360 [7].

1.2. Tujuan

Laporan prototipe ini bertujuan untuk menyampaikan hasil penelitian Prabowo et al. [10] mengenai model tegangan-regangan efektif yang dapat dipakai untuk mendesain kekuatan struktur CFHSS.

1.3. Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dari dibuatnya dokumen TTG ini adalah agar para perancang struktur lebih mengenal metode perhitungan kekuatan menggunakan DAM yang mengakomodir model tegangan-regangan efektif.

BAB II TEGANGAN-REGANGAN EFEKTIF (*EFFECTIVE STRESS-STRAIN*)

Model hubungan tegangan-regangan efektif (TRE) pertama dikenalkan oleh Lai dan Varma [11] pada penelitian struktur komposit baja-beton dimana penampakan bajanya termasuk pada kategori non kompak dan langsing menurut AISC-360 [7]. Model TRE yang diusulkan tersebut memperhitungkan efek *imperfection*, tegangan sisa, *strain hardening*, dan efek pengekanan. Hubungan TRE yang diperoleh dihasilkan berdasarkan studi parametrik menggunakan model elemen hingga berbasis element *shell*. Model TRE yang dihasilkan kemudian dipadukan dengan *fiber sectioning method* untuk menghitung kekuatan struktur komposit.

Pengembangan metode *fiber sectioning* selanjutnya ditemukan pada penelitian Du et al. [12] yang memperkenalkan DAM untuk struktur komposit baja-beton yang termasuk dalam *concrete filled tube* (CFT). Metode analisis Du et al. [12] dibakukan pada *software* NIDA [13] yang dapat dijadikan *platform* oleh insinyur struktur untuk melakukan analisis dan desain struktur menggunakan prinsip DAM. Penelitian mengenai model TRE lainnya dilakukan oleh Abdelrahman, et al. [14] pada penampang siku guna memperhitungkan efek perilaku torsi secara langsung pada hubungan TRE. Model hubungan TRE yang dihasilkan diaplikasikan pada analisis struktur berbasis elemen garis untuk menganalisis dan mendesain struktur yang terbuat dari penampang siku, seperti pada rangka kuda-kuda dan jembatan.

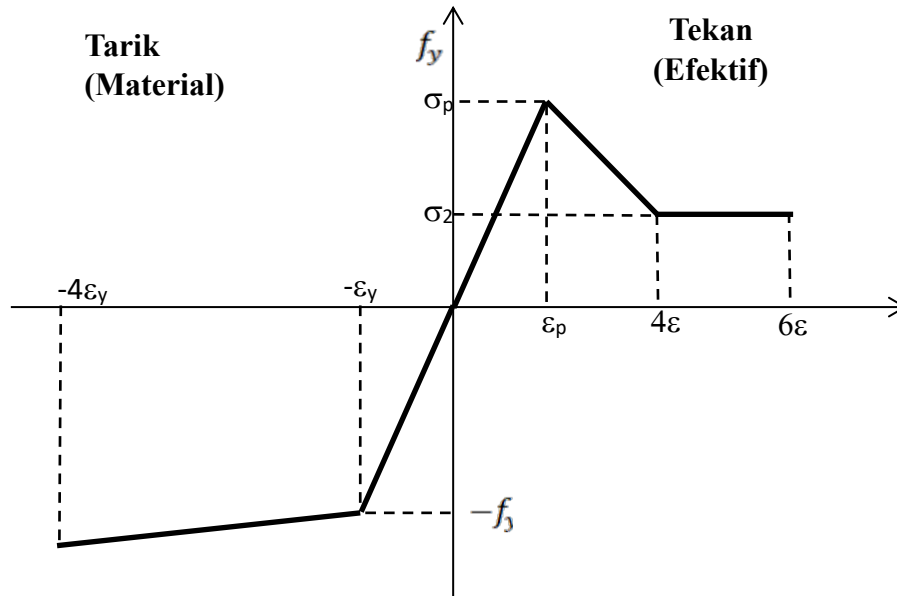
Model TRE yang dihasilkan oleh studi Prabowo et al. [10] untuk struktur CFHSS telah memperhitungkan efek-efek berikut:

- Proses canai-dingin yang menghasilkan peningkatan kekuatan
- Tegangan sisa
- Tekuk lokal elastik dan inelastik
- Efek nonlinearitas material dan geometri

Model TRE Prabowo et al. [10] dapat digunakan pada analisis struktur berbasis elemen hingga tipe balok-kolom, seperti yang dikembangkan oleh Du et al. [15].

Seperti penelitian terhadulu [12, 13], model TRE Prabowo et al. [10] juga dihasilkan dari analisis elemen hingga berbasis elemen *shell* (dalam hal ini elemen S4R). Model TRE pada sisi tekan berasal dari penyederhanaan kurva gaya versus perpendekan (*shortening*) yang diperoleh dari analisis struktur kolom pendek (*stub column*). Untuk sisi tarik, hubungan TRE menggunakan model kurva bilinear seperti yang dicantumkan pada peraturan EC3. Detail pembuatan model TRE dapat dibaca lebih lanjut pada artikel Prabowo et al. [10]. Model TRE yang dihasilkan ditampilkan pada Bab III.

BAB III MODEL KONSTITUTIF MATERIAL BAJA CANAI-DINGIN MUTU TINGGI



Gambar 1. Model Tegangan-Regangan Efektif CFHSS

Definisi dari variabel pada Gambar 1 sebagai berikut:

$$\frac{\sigma_p}{f_y} = 1.19 (\lambda_n^{-0.75}) \leq 1.0 \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_p}{f_y} = 1.09 (\lambda_n^{-0.67}) \left[\frac{H}{B} \right]^{0.35} \leq 1.0 \quad (2)$$

$$\frac{E_p}{E_s} = 0.94 (\lambda_n^{-0.78}) \quad (3)$$

$$\frac{E_p}{E_s} = 0.86 (\lambda_n^{-0.68}) \left[\frac{H}{B} \right]^{0.35} \quad (4)$$

$$\frac{\sigma_2}{f_y} = 0.83 (\lambda_n^{-0.75}) \leq 1.0 \quad (5)$$

$$\frac{\sigma_2}{f_y} = 0.93 (\lambda_n^{-0.8}) \left[\frac{H}{B} \right]^{0.3} \leq 1.0 \quad (6)$$

BAB IV PENUTUP

Dokumen ini memberikan petunjuk pembuatan model konstitutif material dari penampang baja canai-dingin mutu tinggi. Model tersebut dapat digunakan untuk melakukan analisis dan desain struktur berdasarkan prinsip *Direct Analysis Method* (DAM). Dengan metode ini, perencanaan struktur menjadi lebih konsisten karena seluruh efek *imperfection* diperhitungkan saat analisis dan kekuatan yang dihasilkan telah direduksi akibat adanya efek tersebut. Model konstitutif yang dihasilkan diperoleh dari penelitian Prabowo et al. [10] memperhitungkan seluruh pengaruh proses canai-dingin, seperti peningkatan kekuatan dan perubahan tegangan sisa.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Tarumanagara yang telah memberikan hibah penelitian berjudul *Direct Analysis Method For Slender Structures Fabricated From Cold-Formed Ultra-High Strength Steel* sehingga dokumen ini bisa dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Afshan, B. Rossi, and L. Gardner, "Strength enhancements in cold-formed structural sections-Part I: Material testing," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 83, pp. 177-188, 2013.
- [2] B. Rossi, S. Afshan, and L. Gardner, "Strength enhancements in cold-formed structural sections—Part II: Predictive models," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 83, pp. 189-196, 2013.
- [3] L. Gardner and X. Yun, "Description of stress-strain curves for cold-formed steels," *Construction and Building Materials*, vol. 189, pp. 527-538, 2018.
- [4] J.L. Ma, T.M. Chan, and B. Young, "Material properties and residual stresses of cold-formed high strength steel hollow sections," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 109, pp. 152-165, 2015.
- [5] B. Somodi and B. Kövesdi, "Residual stress measurements on cold-formed HSS hollow section columns," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 128, pp. 706-720, 2017.
- [6] J. Wang, S. Afshan, N. Schillo, M. Theofanous, M. Feldmann, and L. Gardner, "Material properties and compressive local buckling response of high strength steel square and rectangular hollow sections," *Engineering Structures*, vol. 130, pp. 297-315, 2017.
- [7] AISC-360, *Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-16)*. Chicago: American Institute of Steel Construction, 2016.
- [8] AISI, *North American Specification for the design of cold-formed steel structural members*. AISI S100-16. Washington D.C., USA: American Iron and Steel Institute, 2016.
- [9] EC3, *Design of steel structures - Part 1.1: General rules and rules for buildings*. BS EN 1993-1-1:2005+A1:2014. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization, 2014.
- [10] A. Prabowo, A. H. A. Abdelrahman, Y. Y. Ding, Y. P. Liu, "Stability Design of Cold-Formed High and Ultra-High Strength Steel Thin-Walled Box Sections using Effective Stress-Strain Model", *Structures*, In press.
- [11] Z. Lai and A. H. Varma, "Effective stress-strain relationships for analysis of noncompact and slender filled composite (CFT) members," *Engineering Structures*, vol. 124, pp. 457-472, 2016.
- [12] Z. L. Du, Y. P. Liu, J. W. He, and S. L. Chan, "Direct analysis method for noncompact and slender concrete-filled steel tube members," *Thin-Walled Structures*, vol. 135, pp. 173-184, 2019.
- [13] S. L. Chan, "*NIDA Ultimate*," 10.0.0.281 ed. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2019.
- [14] A. H. A. Abdelrahman, Z. L. Du, Y. P. Liu, and S. L. Chan, "Stability design of single angle member using effective stress-strain method," *Structures*, vol. 20, pp. 298-308, 2019.
- [15] Z. L. Du, Y. P. Liu, and S. L. Chan, "A second-order flexibility-based beam-column element with member imperfection," *Engineering Structures*, vol. 143, pp. 410-426, 2017.