

ANALISIS STABILITAS PERANCAH BERTINGKAT dengan *ADVANCE ANALYSIS* dan D.A.M

Wiryanto Dewobroto¹ dan Hendra Marianto²

¹Jurusan Teknik Sipil, FaST, Universitas Pelita Harapan, Lippo Karawaci, Tangerang
Email: wiryanto.dewobroto@uph.edu

² Alumni, Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara
Email: hendramarianto@yahoo.com

ABSTRAK

Sistem perancah sederhana umumnya terdiri dari kolom-kolom pipa baja yang disatukan dengan *bracing* menyilang. Untuk desainnya, dapat dimodelkan sebagai struktur rangka tidak bergoyang, dimana kapasitas kolomnya dihitung sebagai kolom pipa tunggal yang tinggi efektifnya $KL=1$ atau tinggi tingkat itu sendiri (tinggi kolom yang terikat oleh *bracing*). Untuk keperluan elevasi tinggi tertentu, sistem perancah perlu dibuat bertingkat, yang disusun dari beberapa tumpuk perancah yang ada. Jika susunan tingkat relatif langsing, maka perhitungan kapasitas dengan cara pendekatan dengan $KL=1$ untuk tinggi setiap tingkatnya, tidak bisa dilakukan. Maklum karena dengan cara tersebut, perancah 1 tingkat dan 3 tingkat mempunyai kapasitas yang sama. Tinggi tingkat tidak berpengaruh, itu benar bilamana berat sendiri diabaikan. Kondisi itu tentu tidak bisa diaplikasikan pada kasus nyata, maklum permasalahan stabilitas belum diperhitungkan secara real. Solusi yang terdapat pada Chapter C - AISC (2010) diantaranya adalah DAM (*Direct Analysis Method*) dan *Advance Analysis*. Untuk menunjukkan efektifitas ke dua cara tersebut, maka pada makalah akan disampaikan aplikasinya dengan program SeismoStruct dan SAP2000. Hasilnya menunjukkan bahwa pengaruh tinggi tingkat dapat diperhitungkan, kapasitas dukung perancah bertingkat banyak akan lebih kecil jika dibanding memakai cara pendekatan dengan $KL=1$. Itu menunjukkan bahwa masalah stabilitas pada perancah bertingkat relatif dapat diperkirakan dengan baik, sehingga dapat direncanakan scaffolding yang lebih aman.

Kata kunci: Analisis Stabilitas, Advance Analysis, Direct Analysis Method, Struktur Perancah

1. PENDAHULUAN

Sistem perancah baja pada umumnya terdiri dari kolom-kolom pipa baja yang disatukan dengan *bracing* atau batang silang. Untuk desainnya maka struktur perancah dapat dimodelkan sebagai sistem struktur rangka tidak bergoyang, selanjutnya kapasitas kolom dihitung sebagai kolom pipa tunggal yang mempunyai panjang efektif $KL = 1$.

Untuk keperluan tinggi perancah yang tertentu, perlu dibuat bertingkat dengan cara menyusun beberapa tumpukan perancah yang ada. Jika susunan tingkat relatif langsing, cara perhitungan dengan $KL=1$ untuk tiap tingkat tidak bisa dilakukan lagi. Maklum, dengan cara tersebut sistem perancah 1 tingkat dan 3 tingkat, jika berat sendiri dapat diabaikan maka kapasitas keduanya adalah sama. Itu dikarenakan faktor stabilitas tidak dapat diperhitungkan dengan baik. Solusi yang disarankan oleh AISC (2010) pada **Chapter C – Design for Stability** adalah cara DAM (*Direct Analysis Method*) dan *Advance Analysis*. Pada kedua cara tersebut, pengaruh stabilitas diperhitungkan dalam proses analisis struktur. Ini tentu berbeda dari prosedur perencanaan struktur baja yang biasanya, yaitu cara panjang efektif atau faktor K, dimana faktor stabilitas baru diperhitungkan pada tahap desain. Oleh sebab cara ini belum biasa digunakan pada perencanaan struktur baja, maka keduanya akan diaplikasikan pada penelitian ini. Untuk itu diperlukan program komputer yang khusus, yaitu Seismostruct V.7 dan SAP2000.

2. STRATEGI ANALISIS DAN KALIBRASINYA

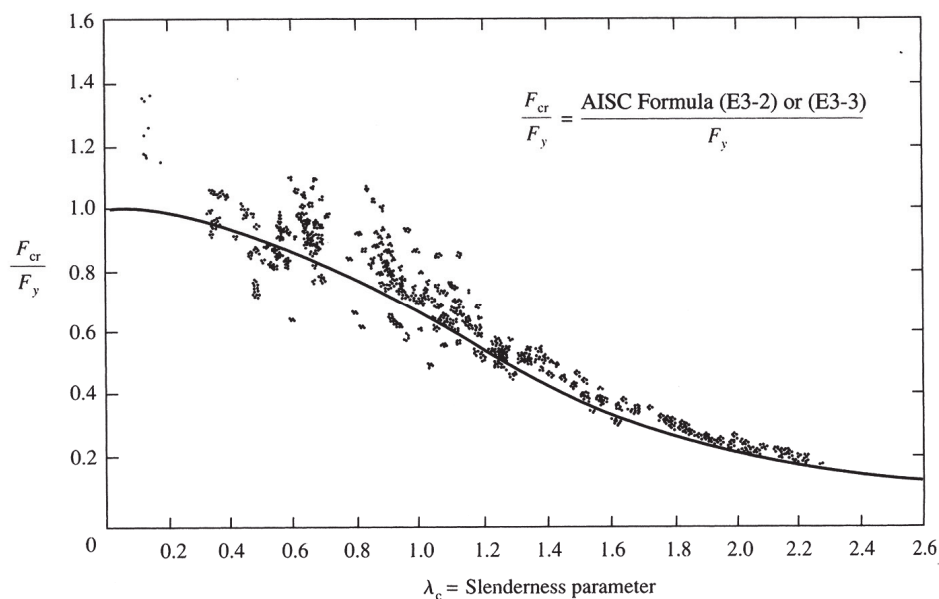
2.1 Umum

Analisis stabilitas dengan cara DAM dan *Advance Analysis* (AISC 2010) sangat ditentukan oleh program komputer yang digunakan. Cara DAM memerlukan program komputer analisis struktur dengan opsi P- Δ , yaitu jenis analisis struktur elastis non-linier. Program seperti ini relatif mudah dijumpai, program SAP2000 Student Version v 7.40 (release tahun 2000) sudah mendukungnya. Hanya saja permasalahan stabilitas menyangkut problem inelastis (non linier material) dan P- Δ juga, dimana masalah inelastis cara DAM didekati dengan cara reduksi kekakuan, sebagai hasilnya cara ini hanya cocok untuk perencanaan, dan tidak bisa memprediksi perilaku keruntuhan dengan baik.

Cara *Advance Analysis* perlu program komputer lebih canggih, dimana perilaku inelastis tidak lagi diatasi dengan cara pendekatan, seperti DAM, tetapi akan diperhitungkan secara langsung oleh program. Itu berarti programnya harus mampu melakukan analisis inelastis non-linier sekaligus, dan tidak setiap program komputer analisis struktur mempunyainya. Setelah mempelajari beberapa spesifikasi dari program yang tersedia, ada dua program komputer yang memenuhi, yaitu Seismostruct V.7 (www.seismosoft.com) dan SAP2000 V.15 (www.csiamerica.com). Tentu saja menjadi pertanyaan, apa betul kedua program tersebut dapat digunakan sesuai dengan harapan AISC (2010). Oleh sebab itu, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah verifikasi program terhadap kapasitas kolom yang dianggap sebagai referensi. Kolom dibuat dari profil H-150x150x7x10 dalam berbagai kelangsingan.

2.2 Kapasitas Kolom Referensi (Formula E3 - AISC 2010)

Untuk mengetahui apakah program komputer yang digunakan mampu melakukan analisis stabilitas atau tidak, maka diperlukan suatu referensi sebagai pembanding. Untuk itu dipilih rumus AISC (2010) untuk menghitung kapasitas kolom tunggal yang dianggap telah mewakili kapasitas kolom real untuk berbagai kelangsingan, lihat Gambar 1.

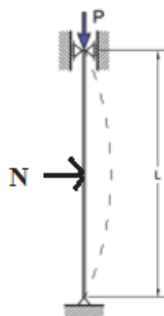


Gambar 1. Kurva kapasitas kolom AISC terhadap kapasitas kolom empiris (Salmon et.al 2009)

Gambar 1 memperlihatkan kurva kapasitas kolom berdasarkan rumus E3-2 dan E3-3 (AISC 2010) untuk berbagai kondisi kelangsingan, untuk dibandingkan dengan kapasitas kolom-kolom berdasarkan hasil uji empiris, yang besarnya ternyata sangat bervariasi. Kurva yang dihasilkan dari rumus AISC (2010) itu tentunya telah diolah berdasarkan kaidah statistik, sehingga dapat dianggap telah mewakili kolom secara umum. Selanjutnya dengan mengambil sampel batang tekan profil H-150x150x7x10 akan ditinjau berbagai kondisi kelangsingan akan dilakukan evaluasi berdasarkan rumus AISC (2010), dan analisis stabilitas dengan cara DAM dan *Advance Analysis*.

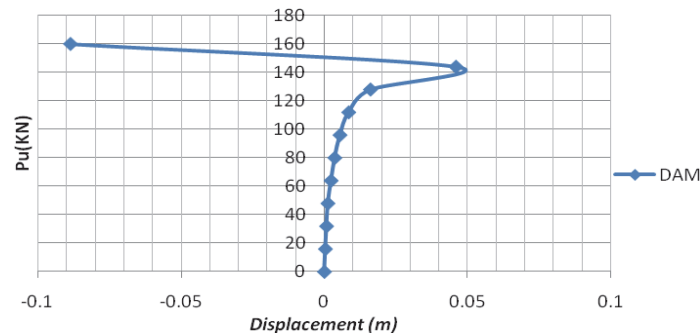
2.3 Analisis Stabilitas berdasarkan cara *Direct Analysis Method (DAM)*

Analisis kapasitas kolom cara *Direct Analysis Method* dikerjakan dengan SAP2000, dimana untuk pemodelannya perlu ditambahkan beban notional load sebesar $N_i = 0.002Y_i$ dimana N_i adalah beban notional di level i , dan Y_i adalah beban gravitasi di level i hasil beban kombinasi LRFD (kondisi ultimate).



Gambar 2. Pemodelan kolom H-150x150x7x10 dengan beban P dan Notional (beban N)

Sampel kolom yang ditinjau adalah profil H-150x150x7x10 selanjutnya kolom diberikan beban aksial P dan beban Notional (beban N), sebagai representasi efek *geometry imperfection* kolom. Kondisi inelastis kolom diperhitungkan oleh program analisis struktur elastis dengan cara manipulasi data, yaitu reduksi inersia sesuai petunjuk AISC (2010). Untuk mendapatkan besarnya kapasitas kolom, maka beban diberikan secara bertahap, mulai dari kondisi elastis sampai tahapan beban yang menyebabkan kondisi instabilitas (tekuk). Tekuk dalam hal ini adalah terjadinya deformasi yang relatif besar untuk suatu tahapan beban yang relatif kecil. Untuk itu maka cara terbaik adalah diungkapkan dalam bentuk kurva tahapan beban P vs deformasi, sebagaimana terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva kapasitas kolom terhadap deformasi lateral cara D.A.M

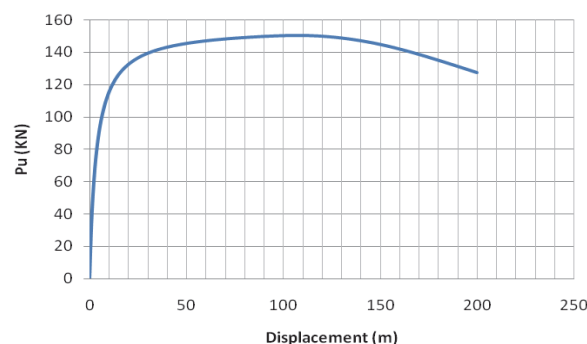
Kondisi besarnya beban yang diberikan sesaat sebelum terjadinya instabilitas (deformasi menjadi besar sekali) dianggap sebagai besarnya kapasitas kolom yang ditinjau. Kurva pada Gambar 3 merupakan hasil analisis kolom untuk suatu kelangsingan tertentu. Selanjutnya proses analisis dilakukan dengan memvariasikan panjangnya yaitu untuk mengevaluasi kolom dengan berbagai angka kelangsingan.

Pada kurva Gambar 3 terlihat bahwa pada saat tahapan beban yang relatif kecil terjadi deformasi yang besar (tanda terjadinya tekuk atau kapasitas kolom tercapai) tetapi ketika beban tetap ditambahkan tidak terjadi penurunan kekuatan (drop) tetapi tetap terus meningkat. Kondisi ini tentu saja tidak terjadi pada kolom real. Ini dapat dimaklumi karena analisis stabilitas tersebut didasarkan pada analisis struktur elastis, dimana kondisi inelastis yang terjadi pada kolom hanya disimulasi dengan cara reduksi kekakuan. Oleh sebab itu, kenaikan kapasitas setelah terjadi deformasi yang besar tidak bisa digunakan atau harus diabaikan karena tidak mewakili kondisi yang real (kelemahan DAM).

2.4 Analisis Stabilitas berdasarkan cara *Advance Analysis*

Selanjutnya untuk kondisi kolom yang sama, yaitu profil H 150x150x7x10 akan dilakukan analisis stabilitas sesuai *Appendix 1* (AISC 2010), yaitu *Advance Analysis*. Pemodelan struktur kolomnya adalah sama seperti jika digunakan cara DAM, perbedaan yang terjadi adalah program analisis struktur yang digunakan, yaitu Seismostruct V.7. Pada program tersebut selain mempunyai opsi $P-\Delta$ sebagaimana terdapat pada program SAP2000, maka program juga mampu memasukkan perilaku inelastis material secara langsung. Sehingga untuk itu perlu dimasukkan perilaku material yang bersifat non-linier dari elemen penampang yang digunakan.

Untuk memodelkan adanya *geometry imperfection* tetap digunakan beban *notional*, yaitu sebesar $N_i = 0.002Y_i$. Posisi beban notional diberikan sesuai prediksi tekuk yang terjadi, karena bentuk kolomnya adalah dianggap sendi-sendi atau kolom yang tertambat, sehingga tekuk terjadi pada tengah kolom, maka beban *notional* juga diberikan di sana. Selanjutnya analisis diberikan untuk setiap tahapan beban, yang dapat dilakukan secara otomatis oleh program, sehingga dapat dihasilkan kurva perilaku kolom yang terdiri dari beban dan deformasi lateral pada titik yang dianggap terjadinya tekuk, yaitu ditengah-tengah kolom, di lapangan.



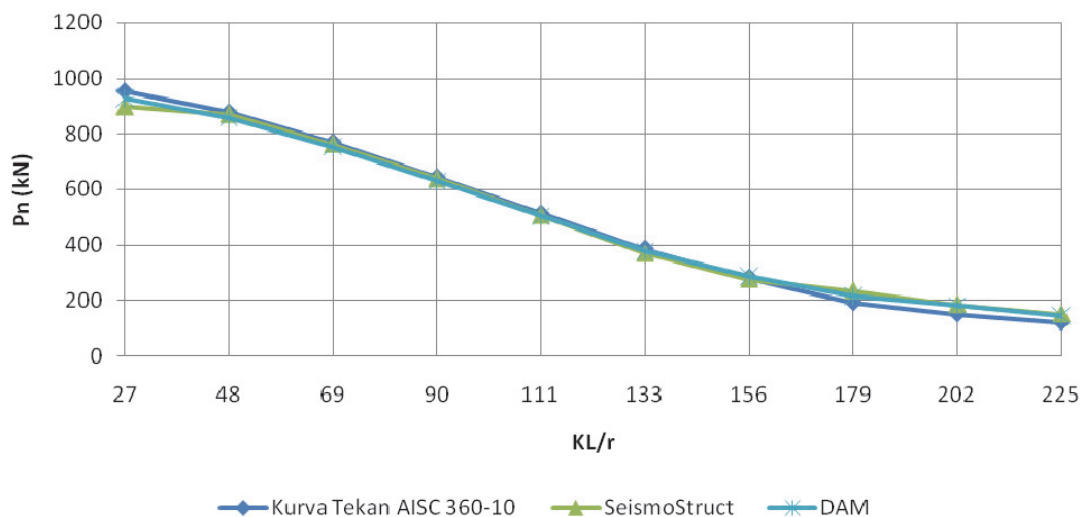
Gambar 4. Kurva kapasitas kolom terhadap deformasi lateral cara *Advance Analysis*

Kurva perilaku beban-deformasi sampai runtuh yang dihitung berdasarkan analisis *Advance Analysis* (AISC 2010) berbeda dibanding kurva yang dihasilkan dengan analisis cara DAM (AISC 2010). Kurva perilaku *Advance Analysis* seperti yang dihasilkan oleh kolom real, yaitu ketika kondisi ultimate tercapai maka terjadi penurunan kekuatan (drop). Meskipun besarnya beban ultimate dari kedua cara tersebut bisa sama, tetapi perilaku individunya berbeda, cara *Advance Analysis* bisa digunakan baik untuk analisis maupun desain Adapun cara DAM hanya cocok digunakan untuk desain, dimana beban rencana yang diberikan dapat ditentukan.

2.5 Kalibrasi analisis DAM & *Advance Analysis* dengan kapasitas kolom AISC (2010)

Gambar 3 dan 4 menunjukkan kurva perilaku kolom untuk suatu kelangsingan tertentu. Selanjutnya dibuat berbagai kurva untuk berbagai kelangsingan yang mungkin terjadi, khususnya untuk menangkap perilaku tekuk inelastis dan tekuk elastis. Ini penting untuk mengevaluasi apakah program dan cara pakainya sudah memenuhi kriteria analisis stabilitas sebagaimana ditetapkan dalam AISC (2010).

Masing-masing kapasitas kolom untuk berbagai kelangsingan tersebut selanjutnya disusun dalam suatu kurva, baik yang diperoleh dengan cara DAM maupun cara *Advance Analysis*, dan dibandingkan dengan kurva yang dihasilkan oleh rumus E dari AISC (2010) yang dianggap sebagai referensi yang dapat diakui. Hasilnya adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Perbandingan kapasitas tekan kolom H150x150x7x10

Jika kurva tekan AISC 360-10 yang disusun berdasarkan rumus E3-2 dan E3-3 (lihat Gambar 1), dapat dianggap sebagai acuan kapasitas kolom yang sebenarnya, dan jika kemudian hasil analisis stabilitas berdasarkan cara DAM dan *Advance Analysis* dapat memberikan hasil yang mendekati (ketiga kurva saling berhimpit) maka dapat dinyatakan juga bahwa kedua analisis yang dilakukan telah memenuhi syarat yang ada.

3. ANALISIS STABILITAS SCAFFOLDING

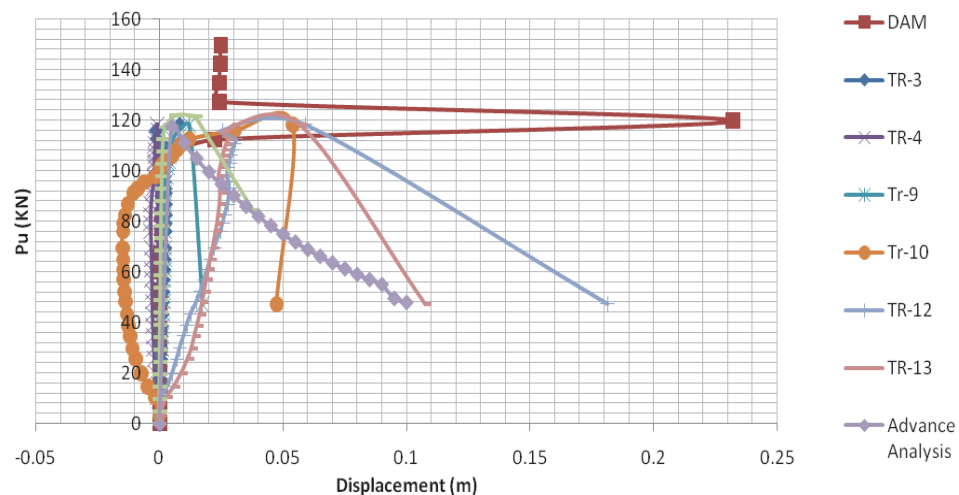
3.1 Scaffolding 1-Tingkat dan Kalibrasinya

Program komputer dan strategi analisis stabilitas cara DAM dan *Advance Analysis* untuk kolom H 150x150x7x10 telah dikalibrasikan dan hasilnya cukup memuaskan. Selanjutnya cara yang sama akan diaplikasikan pada struktur *scaffolding*, produksi PT. Putra Jayasentosa tipe H2000-L2000-W2000. Kebetulan untuk *scaffolding* 1 tingkat jenis tersebut telah dilakukan uji eksperimental (Dewobroto 2013) sehingga hasilnya dapat dijadikan tolok ukur atau verifikasi terhadap analisis yang akan dilakukan. Jika untuk satu tingkat hasil verifikasinya memuaskan maka akan dikembangkan untuk jumlah tingkat yang lebih banyak.

Perencanaan *Direct Analysis Method* dilakukan sama seperti perencanaan sebelumnya pada kolom H-150x150x7x10 yaitu dengan program SAP2000. Analisis stabilitas cara DAM telah memperhitungkan efek *imperfection geometry* dan *residual stress*, yaitu dengan adanya beban *notional* dan diberikan reduksi kekakuan sebesar 0.8EA atau 0.8EI.

Perencanaan *Advance Analysis* juga sama seperti cara DAM hanya digunakan program Seismostruct. Beban *notional* diberikan untuk mensimulasi efek *geometry imperfection* dan adapun *residual stress* diberikan sebagai input pada program dan dihitung sesuai dengan tegangan yang terjadi kapan berperilaku elastis dan kapan sudah mencapai kondisi inelastis.

Selanjutnya hasil analisis stabilitas dengan cara DAM dan *Advance Analysis* akan dibandingkan dengan hasil uji beban eksperimental (Dewobroto 2013), ternyata besarnya beban ultimate yang menunjukkan kapasitas maksimum daya dukung *scaffolding* hampir mirip satu dengan lainnya sebagaimana terlihat pada kurva berikut.



Gambar 6. Perilaku Tekan *Scaffolding* 1- tingkat antara hasil Simulasi Numerik vs Empiris

Dari kurva perilaku tekan (Gambar 6) jika dilihat beban ultimate-nya maka analisis stabilitas cara DAM dan juga *Advance Analysis* yang diusulkan AISC (2010) memberikan besaran yang mendekati hasil uji ekperimental yang dilakukan (Marianto 2015).

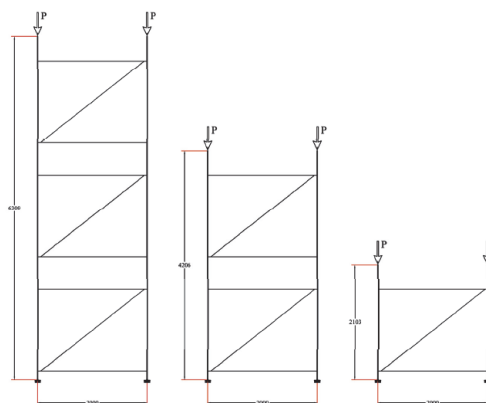
Tabel 1. Hasil Simulasi Numerik vs Empiris

	Uji Empiris	D.A.M (SAP2000)	Advance Analysis
Beban ultimate (Pu)	118.225 kN	119.870 kN	117.388 kN
%	100%	101.4%	99.3%

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa besaran beban ultimate cara DAM dan *Advance Analysis* memberi hasil yang mirip dengan hasil eksperimental. Itu berarti cara analisis numerik tersebut dapat memprediksi stabilitas struktur secara lebih real yang umumnya dipengaruhi oleh perilaku *inelastic* material dan *geometry imperfection*.

3.2 Scaffolding Bertingkat Banyak

Jika digunakan cara *Effective Length Method*, maka nilai KL akan sama untuk setiap tingkatnya, yaitu panjang elemen yang tertambat oleh *bracing*. Oleh sebab itu kapasitas *scaffolding* bertingkat, antara 1-tingkat, 2-tingkat atau 3-tingkat (Gambar 7) adalah sama satu dengan lainnya, yaitu 120 kN. Itu dapat dimaklumi, meskipun cara *Effective Length Method* juga memakai kapasitas tekan berdasarkan rumus E (AISC 2010), tetapi pengaruh stabilitas global belum dapat dihitung secara teliti. Umumnya pada cara *Effective Length Method*, pengaruh stabilitas global masuk dalam parameter K. Untuk perhitungannya *scaffolding* bertingkat dianggap sebagai “portal tidak bergoyang” maka $K=1$, karena tidak ada acuan lain yang menunjukkan berapa besar nilai K yang harus diambil selain nilai tersebut.



Gambar 7. Model *Scaffolding* bertingkat yang dievaluasi

Penentuan nilai K yang tepat untuk diaplikasikan berdasarkan rumus E (AISC 2010) memang tidak diperlukan jika digunakan analisis stabilitas cara DAM maupun cara *Advance Analysis*. Pada cara keduanya nilainya diset $K=1$, dan pengaruh stabilitas dan inelastis diperhitungkan langsung dari analisis struktur yang dikerjakan. Keraguan untuk menggunakan kedua cara tersebut sudah tidak ada lagi karena telah dilakukan prosedur kalibrasi dan hasilnya cukup memuaskan. Selanjutnya dua cara tersebut dipakai untuk mengevaluasi kapasitas dukung *scaffolding* bertingkat.

Evaluasi stabilitas dengan cara numerik antara *scaffolding* 1 tingkat dan banyak tingkat tidak memiliki kekhususan. Pada kasus ini yang perlu diperhatikan adalah peletakan beban *notional* yang diberikan sesuai dengan arah tekuk yang mungkin terjadi. Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Kapasitas dukung *Scaffolding* Tingkat (kN)

Tingkat	ELM	DAM	Advance Analysis
1	120 (100%)	119.9 (100%)	117.4 (98%)
2	120 (100%)	106.0 (88%)	109.6 (91%)
3	120 (100%)	103.3 (86%)	108.6 (90%)

3.2 Bahasan Kapasitas *Scaffolding*

Karena hasil eksperimental dianggap sebagai acuan maka nilai daya dukung berdasarkan cara ELM perlu dikalibrasikan terlebih dahulu dengan mengatur besarnya F_y . Itu yang menyebabkan daya dukung untuk *scaffolding* 1-tingkat mempunyai besaran yang mirip satu sama lain. Tetapi ketika cara analisis yang sama diterapkan untuk kondisi tingkat yang berbeda, maka dijumpai perbedaan.

Pada cara ELM daya dukung tingkat tidak berpengaruh, maklum panjang KL yang diambil untuk tingkat 1, 2 atau 3 adalah sama saja, yaitu panjang kolom yang tertambat *bracing*. Jadi pengaruh tingkat tidak bisa diakses secara mudah, perlu *engineering judgement* untuk menentukannya, dan itu tidak mudah.

Adapun panjang KL tidak berpengaruh untuk analisis stabilitas cara DAM maupun *Advance Analysis*, maklum meskipun ke dua cara tersebut masih memanfaatkan rumus E3-2 dan E3-3 dari AISC (2010) yang sama tetapi hasil analisis yang menyebabkan timbul juga momen mengharuskan elemen kolom dievaluasi sebagai tegangan gabungan atau Chapter H dari AISC (2010). Karena program yang digunakan sudah khusus, dan juga telah memasukkan efek *inelastis* maupun *geometry imperfection* dengan beban *notional*-nya maka pada cara ini pengaruh stabilitas global dari struktur *scaffolding* dapat diperhitungkan secara seksama. Hasilnya, jumlah tingkat *scaffolding* mempengaruhi daya dukung *scaffolding* itu sendiri. Hasil kondisinya lebih konservatif (aman) dari hasil cara ELM.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan terbukti bahwa perencanaan dengan cara lama, yaitu *Effective Length Method* belum tentu lebih aman dibanding analisis cara baru, yaitu *Direct Analysis Method* dan *Advance Analysis* yang diusulkan oleh AISC (2010). Itu terjadi karena cara analisis yang baru telah memperhitungkan pengaruh *geometry imperfection* dan *residual stress* secara global yang ada pada rangka *scaffolding* bertingkat.

Jadi adanya keunggulan, yaitu mampu menganalisis stabilitas struktur secara global, inilah yang menyebabkan mengapa ke dua cara tersebut (DAM dan *Advance Analysis*) dipakai sebagai cara utama di Chapter C AISC (2010) menggantikan cara lama ELM (*Effective Length Method*) yang kemudian telah dipindahkan menjadi cara alternatif di Appendix. Hanya saja kelemahan cara baru dibanding cara lama bahwa untuk aplikasinya harus memakai program komputer khusus. Untuk itu program Seismostruct V.7 dan SAP2000 V.15 terbukti dapat digunakan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Salmon, C.G., John E. Johnson dan Faris A. Malhas.(2009). “*Steel Structures : Design and Behavior – Emphasizing Load and Resistance Factor Design 5th Ed.*”, Pearson Education, Inc.
- Seismosoft (2013). “*SeismoStruct v6.5 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures*”, available from <http://www.seismosoft.com> <<akses 7 April 2015>>
- Dewobroto, W.(2013). “*Simulasi Uji Stabilitas Scaffolding PT. Putra Jayasentosa*”, Laporan Akhir PT. Gistama Intisemesta, Jakarta (unpublished)
- Dewobroto, W.(2015). “*Struktur Baja – Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010*”, Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH, Lippo Karawaci
- Marianto, H., (2015), “*Analisis Stabilitas Rangka Baja dengan Advance Analysis & DAM Studi Kasus Scaffolding Tipe H2000-L2000-W2000*”, Tesis Magister Teknik Sipil UNTAR, Jakarta, Maret 2015