

PEMBANDINGAN SIMPANGAN DAN CAPACITY RATIO PADA PEMODELAN GEDUNG DENGAN DAN TANPA INITIAL SWAY IMPERFECTION

Retno Ajeng Zulia Octavia¹, Tri Widya Swastika²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

² Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16424

e-mail : ajengzulkarnain@gmail.com

^{*)}Korespondensi: tri.widyaswastika@sipil.pnj.ac.id

ABSTRACT

Initial Sway Imperfection is one of the stability requirements for structural steel design structure, as explained in SNI 1729-2015 the specification of steel building. It was also mentioned that initial sway imperfection can be simulated by giving notional load on the structure of steel building model which is 0,002 of the gravity load on each floor. However, consultants and practitioners never apply initial sway imperfection in the calculation of stability, even though it is very important in buckling prediction, especially in column section. This research was compared drift and capacity ratio in column section, with and without initial sway imperfection using 3D model of 7 floors building. The method that we used is DAM (Direct Analysis Method). In the first model without notional load and the second model by applying notional load. The results shows that the biggest drift value in the X direction increase from 0,2 mm to 135,2 mm, and in the Y direction increase from 0,1 mm to 55,4 mm, the capacity ratio increase from 0,04% to 16,73%. The drift value with initial sway imperfection exceeds the limits allowed by SNI 1726-2012, therefore it needs to enlarge column section. At the same time, the capacity ratio with initial sway imperfection is within the limit which is less than 1.

Keywords: Initial Sway Imperfection, Notional Load, Deviation, Capacity Ratio

ABSTRAK

Initial Sway Imperfection adalah salah satu syarat stabilitas pada struktur, dijelaskan pada SNI 1729-2015 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Namun dalam pelaksanaannya, perencana maupun praktisi belum memperhitungkan adanya initial sway imperfection, padahal hal tersebut sangat penting dalam memprediksi terjadinya tekuk, terutama pada kolom yang merupakan batang tekan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan simpangan dan capacity ratio (rasio tegangan) pada penampang kolom, dengan dan tanpa adanya initial sway imperfection yang disimulasikan dengan memberikan beban notional terhadap pemodelan struktur gedung baja dimana besarnya adalah 0,002 dari beban gravitasi yang bekerja pada setiap lantai. Pemodelan menggunakan gedung 7 lantai secara 3 dimensi. Metode desain menggunakan DAM (Direct Analysis Method). Pemodelan pertama tanpa adanya beban notional dan pada pemodelan kedua sudah diaplikasikan beban notional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai simpangan terbesar terjadi pada arah x dimana mengalami kenaikan dari 0,2 mm menjadi 135,2 mm dan pada arah y terjadi kenaikan dari 0,1 mm menjadi 55,4 mm. Untuk nilai capacity ratio mengalami kenaikan yang bervariasi dari 0,04% sampai 16,73%. Nilai simpangan dengan initial sway imperfection, melebihi batas yang diijinkan oleh SNI 1726-2012 sehingga diperlukan memperbesar kapasitas penampang kolom. Sedangkan nilai capacity ratio dengan adanya initial sway imperfection masih aman karena nilai capacity ratio kurang dari 1.

Kata kunci: Initial Sway Imperfection, Beban Notional, Simpangan, Capacity Ratio

PENDAHULUAN

Dalam perencanaan struktur baja, stabilitas sangat penting dan harus ditinjau menyeluruh sebagai struktur global maupun local (tingkat elemen-elemen penyusun). Faktor-Faktor yang mempengaruhi dalam analisa stabilitas adalah deformasi elemen akibat gaya-gaya internal yang bekerja, pengaruh orde-2 atau *non linear geometry*, *geometry imperfection* (ketidak-sempurnaan geometri) akibat cacat bawaan dari elemen batang, reduksi penampang akibat kondisi elastis yang terjadi, dan adanya ketidakpastian kekuatan serta kekakuan pada perencanaan [1].

Untuk memperhitungkan stabilitas struktur, dalam memenuhi kondisi keseimbangan setelah pembebanan, yaitu setelah simpangan, berdasarkan anggapan bahwa perhitungan gaya-gaya batang diperoleh dari analisa struktur elastik orde-2. Ketidak-sempurnaan dari elemen struktur biasa terjadi akibat proses pabrikasi atau konsekuensi terhadap toleransi pelaksanaan lapangan, menghasilkan suatu ketidak-lurusan batang yang akan menghasilkan efek *destabilizing*. Ada dua cara dalam penyelesaian Efek *destabilizing* yang diakibatkan oleh adanya cacat bawaan (*initial imperfection*), yaitu pemodelan langsung cacat pada geometri model yang dianalisis, dan dengan memberikan beban *notional* (beban lateral ekuivalen) dari sebagian prosentasi beban gravitasi yang bekerja. Pemodelan langsung, dapat diberikan pada titik nodal batang yang digeser untuk sejumlah tertentu perpindahan, yang mana besarnya diambil dari toleransi maksimum yang diperbolehkan dalam perencanaan maupun pelaksanaan. Pola pergeseran titik nodal pada pemodelan langsung harus dibuat sedemikian rupa sehingga memberikan efek *destabilizing* terbesar. Pola yang dipilih dapat mengikuti pola lendutan hasil pembebanan atau pola

tekuk yang mungkin terjadi. Sedangkan beban *notional* adalah beban lateral yang diberikan pada titik nodal di semua level, berdasarkan persentase beban vertikal yang bekerja di level tersebut, dan diberikan pada sistem struktur penahan beban gravitasi melalui rangka atau kolom vertikal, atau dinding, sebagai simulasi pengaruh adanya cacat bawaan (*initial imperfection*) [2].

Didalam DIN 18800 part 2, *initial bow imperfection* merupakan cara pemodelan langsung cacat pada geometri model yang dianalisis. Sedangkan *initial sway imperfection* adalah cara pemberian beban *notional* (beban lateral ekuivalen) dari sebagian persentase beban gravitasi yang bekerja [3].

Dalam pelaksanaannya, perencana maupun praktisi belum memperhitungkan adanya *initial sway imperfection*, padahal itu sangat penting dalam memprediksi terjadinya tekuk, terutama pada kolom yang merupakan batang tekan, karena selama ini perilaku tekuk lebih kepada faktor kelangsingan. Oleh sebab itu *initial sway imperfection* diperlukan dalam perencanaan stabilitas struktur baja. Adanya dukungan kemajuan dibidang teknologi juga dapat memudahkan kita untuk melakukan analisis dengan cara DAM (*Direct Analysis Method*), yang akan mempertimbangkan *initial sway imperfection*.

Pada artikel ini dibahas analisis pengaruh *initial sway imperfection* dengan memberikan beban *notional* untuk membandingkan nilai simpangan, *capacity ratio* (rasio tegangan) pada penampang kolom menggunakan pemodelan tiga dimensi dari struktur gedung baja 7 lantai dengan dan tanpa *initial sway imperfection* menggunakan program bantu ETABS.

Imperfection

Dalam standar perencanaan DIN 18800 part 2, *imperfection* dibagi menjadi 2:

a. *Bow Imperfection*

Pada *individual members* dimodelkan langsung adanya cacat bawaan tersebut pada geometri struktur yang dianalisa. Nilai cacat bawaan pada struktur dengan memasukkan nilai *precamber*.

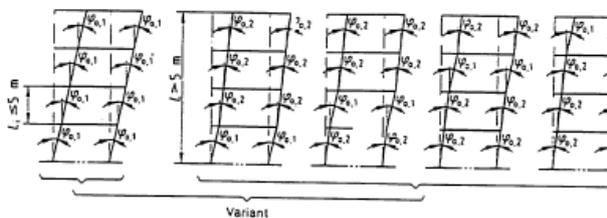


Gambar 1. *Bow Imperfection*

Sumber: DIN 18800 part 2

b. *Initial Sway Imperfection*

Dimodelkan dengan memberi beban notional atas beban lateral ekuivalen dari sebagian persentasi beban yang bekerja pada *individual members*.



Gambar 2. *Initial Sway Imperfection*

Sumber: DIN 18800 part 2

Initial Sway Imperfection merupakan cacat bawaan yang terjadi pada batang elemen penyusun pada struktur gedung baja akibat proses pabrikan atau proses pelaksanaan dilapangan yang mana cacat bawaan tersebut tidak kasat mata. Menurut SNI 1729-2015 *initial sway imperfection* dapat disimulasikan dengan memberikan beban notional diberikan pada joint disetiap lantai pada struktur gedung baja [4]. Beban notional dirumuskan dengan:

$$N_i = 0,002 \times Y_i$$

Dimana,

N_i = Beban *notional*

Y_i = Beban gravitasi yang bekerja di setiap lantai

Beban notional yang telah disebutkan sebelumnya pada pendahuluan, merupakan beban lateral khusus, bukan untuk gempa atau angin atau yang lainnya, sebagaimana umumnya digunakan untuk analisa stabilitas [5].

METODE PENELITIAN

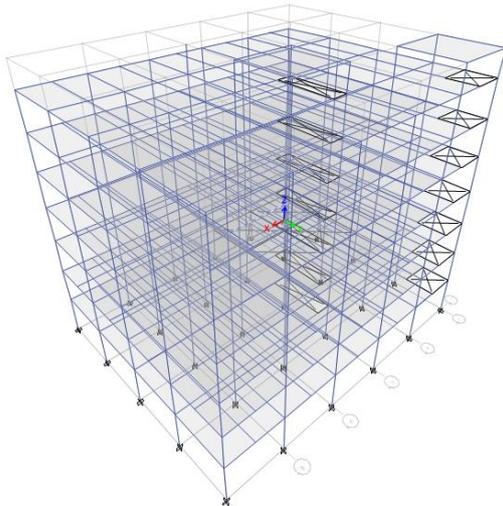
Pada penelitian ini, terdapat 2 tahapan, yaitu proses pemodelan dan proses analisa. Pada pemodelan, diasumsikan gedung dengan struktur baja, yang memiliki 7 lantai (tipikal) dengan ketinggian tiap lantai 3,6 m. Metode desain yang digunakan adalah metode DAM.

Model gedung beraturan, dimana jumlah bentang arah-x adalah 6 buah dan arah-y adalah 5 buah dengan jarak bentang antar as kolom adalah 5 m.

Zona Wilayah gempa D (Malang, Jawa Timur) serta fungsi bangunan untuk perkantoran.

Mutu baja yang digunakan adalah BJ-41. Adapun profil yang digunakan pada pemodelan ini menggunakan profil Gunung Garuda sebagai berikut [6]:

- Kolom Lt. 1-7 *King Cross* 400x200x8x13,
- Balok memanjang IWF 400x300x10x16 Balok melintang IWF 300x200x9x14
- Balok anak IWF 250x125x6x9
- Plat Lantai (*deck+slab*) 130 mm.
- *Floordeck* menggunakan *Super Floordeck* dengan ketebelan deck 1 mm [7].

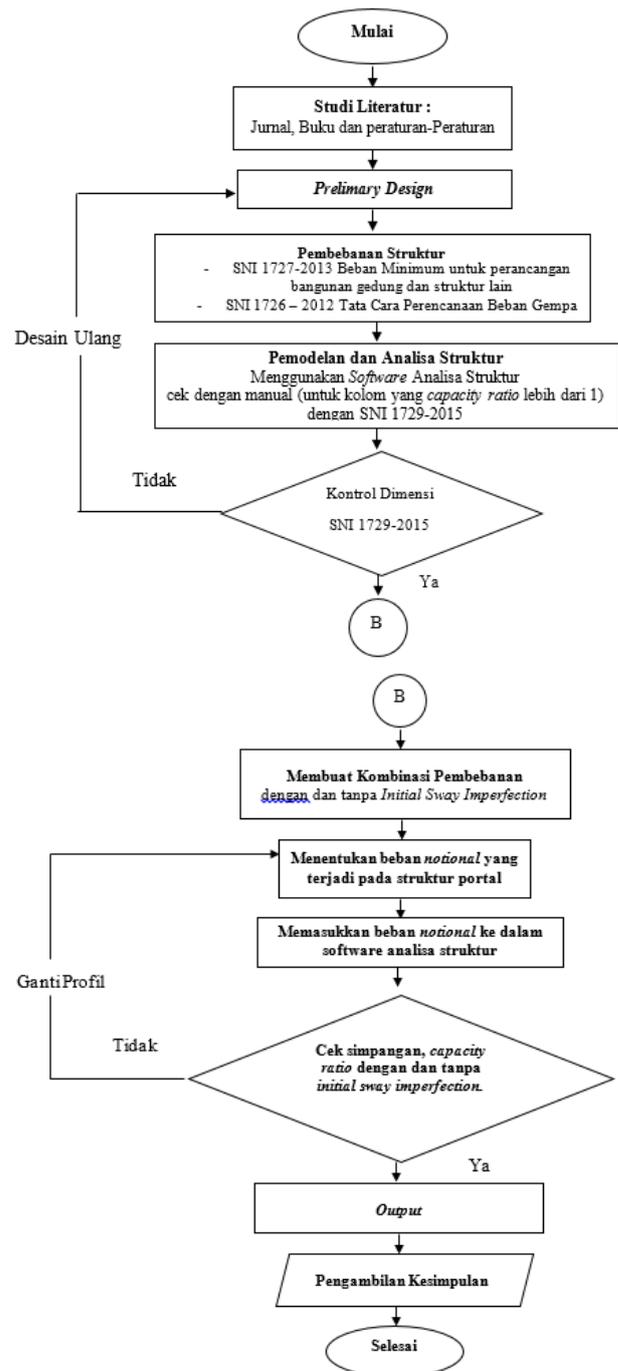


Gambar 3. Bentuk Bangunan yang Dianalisis.

Pada pemodelan ini memperhitungkan beban mati (*dead load*), beban mati tambahan (*super dead load*), beban hidup (*live load*), beban hujan (*rain load*), beban angin (*wind load*), dan beban gempa dengan kombinasi pembebanan menggunakan kombinasi pada SNI 1727-2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain [8].

Beban gempa menggunakan analisa respons spektrum yang berpedoman pada SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung [9].

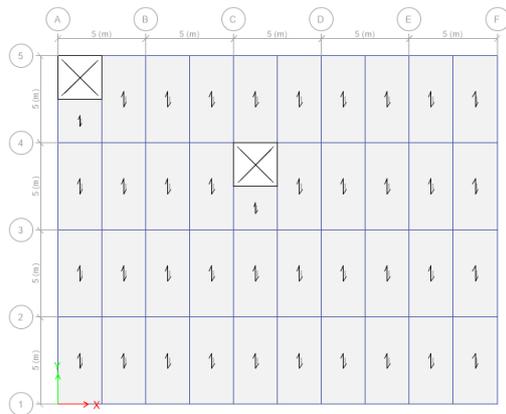
Tahapan penelitian disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini menggunakan denah pemodelan seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Denah Bangunan

Beban *Notional* dapat dihitung dengan mengalikan 0,002 dengan beban gravitasi yang terjadi ada setiap lantai. Beban gravitasi didapatkan dari hasil analisa *software* ETABS.

Tabel 1. Beban Gravitasi

Lantai ke-	DL (kN)	LL (kN)	SDL (kN)
7	1693,094	1462,5	388,2
6	1693,094	1462,5	1244,79
5	1693,094	1462,5	1244,79
4	1693,094	1462,5	1244,79
3	1693,094	1462,5	1244,79
2	1693,094	1462,5	1244,79
1	1693,094	1462,5	1244,79

Beban *Notional* Lantai 7

$$\begin{aligned} \text{Notional DL} &= 0,002 \cdot Y_i \\ &= 0,002 \cdot 1693,094 \\ &= 3 \text{ 386 kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Notional LL} &= 0,002 \cdot Y_i \\ &= 0,002 \cdot 1462,5 \\ &= 2,925 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Notional SDL} &= 0,002 \cdot Y_i \\ &= 0,002 \cdot 388,2 \\ &= 0,7764 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Notional Lantai 1-6} \\ \text{Notional DL} &= 0,002 \cdot Y_i \\ &= 0,002 \cdot 1693,094 \\ &= 3,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Notional LL} &= 0,002 \cdot Y_i \\ &= 0,002 \cdot 1462,5 \\ &= 2,89 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Notional SDL} &= 0,002 \cdot Y_i \\ &= 0,002 \cdot 1244,79 \\ &= 2,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

Simpangan

Simpangan yang terjadi pada struktur bangunan gedung dihitung menggunakan analisa *software* diambil nilai terbesar dengan output simpangan yang akan di kontrol menggunakan SNI 03-1726-2012. Simpangan antar lantai yang diizinkan untuk bangunan gedung dengan kriteria resiko I adalah $\Delta a = 0,02 \times H$. Untuk melakukan kontrol simpangan, diperlukan data C_d yaitu faktor pembesaran momen, I_e yang merupakan faktor keutamaan gempa, dan faktor reduksi untuk gedung dengan KDS D. Nilai C_d menurut SNI adalah 5,5, nilai I_e sebesar 1, dan faktor reduksi sebesar 1,3. Setelah memperhitungkan faktor-faktor tersebut didapatkan nilai simpangan maksimum sesuai dengan SNI 1726-2012 sebesar 72 mm.

Hasil simpangan antar lantai dengan dan tanpa *initial sway imperfection* disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Simpangan Arah X dan Y dengan dan tanpa *initial sway imperfection*

Lantai	Simpangan Arah X (tanpa <i>Initial Sway Imperfection</i>) mm	Simpangan Arah X (dengan <i>Initial Sway Imperfection</i>) mm	Simpangan Arah Y (tanpa <i>Initial Sway Imperfection</i>) mm	Simpangan Arah Y (dengan <i>Initial Sway Imperfection</i>) mm
7	0,42	14,77	0,00	4,92
6	0,00	33,58	0,00	10,46
5	0,00	59,08	0,42	16,62
4	0,2	78,15	0,2	23,38
3	0,06	89,85	0,06	31,08
2	0,7	88,00	0,07	39,38
1	0,7	50,77	0,07	44,62

Dari tabel 2, didapatkan bahwa simpangan terbesar arah X dengan *initial sway imperfection* pada lantai 2 sebesar 88,00 mm, lantai 3 sebesar 89,85 mm, dan lantai 4 sebesar 78,15 mm, ketiganya melebihi batas simpangan maksimum yang ditentukan SNI sebesar 72 mm. Sedangkan simpangan terbesar arah Y dengan *initial sway imperfection* terjadi pada lantai 1 dimana mengalami kenaikan dari 0,07 mm menjadi sebesar 44,62 mm.



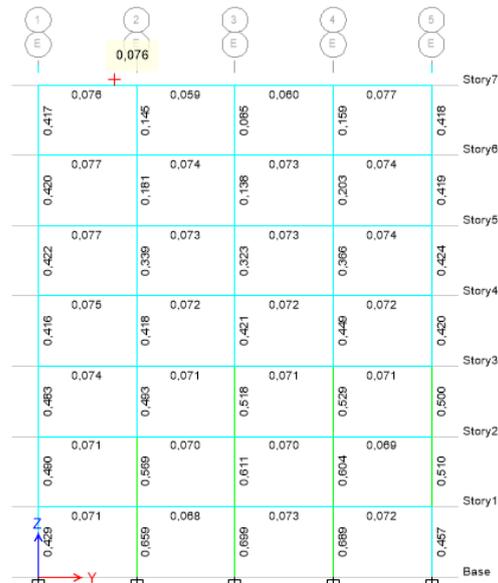
Gambar 6. Grafik Pembedangan Simpangan Setiap Lantai untuk Arah X dan Y

Cacat pada batang, bengkok, maupun ketidaksempurnaan pada proses pabrikasi profil baja menyebabkan kekuatan penampang menurun. Untuk memperhitungkan kondisi kecacatan ini, pada pemodelan struktur dengan menambahkan beban *notional*. Adanya beban *notional* ini ternyata menyebabkan simpangan maksimum pada struktur mengalami kenaikan baik simpangan pada arah X dan arah Y.

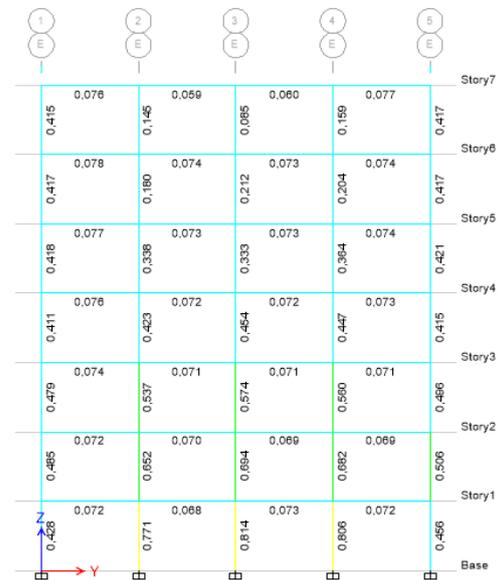
Untuk mengantisipasi simpangan maksimum pada struktur yang tidak memenuhi syarat, dilakukan dengan memperbesar penampang kolom semula profil *King Cross* 400x200x8x13 menjadi *King Cross* 600x200x11x17. Hal ini berarti adanya *imperfection* membutuhkan penampang kolom yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi penampang tidak cacat.

Capacity Ratio (Rasio Tegangan)

Nilai *capacity ratio* yang terjadi pada kolom disajikan pada gambar 7 dan 8. Nilai rasio tegangan kolom yang ditampilkan merupakan nilai rasio terbesar dari berbagai kombinasi pembebanan dan elevasi pemodelan.



Gambar 7. Nilai *Capacity Ratio* tanpa *Initial Sway Imperfection*



Gambar 8. Nilai *Capacity Ratio* dengan *Initial Sway Imperfection*

Dari gambar 7 dan 8 terlihat bahwa nilai *capacity ratio* kolom dengan *initial sway imperfection* mengalami kenaikan yang bervariasi dari 0,04%-16,73%.

Nilai *capacity ratio* pada pemodelan dengan *initial sway imperfection* dapat dikatakan aman karena kurang dari 1. Jika nilai $R < 1$ atau paling tidak $R = 1$ maka dianggap bahwa suatu struktur telah memenuhi persyaratan kekuatan. Hal tersebut dijamin hukumnya karena didukung oleh pernyataan pada *code* perencanaan [10].

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan analisa serta hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan antara lain:

1. Pemodelan dengan *initial sway imperfection* nilai simpangan menjadi tidak memenuhi batas ijin yang telah ditentukan SNI 1726-2012 sebesar 72 mm ($0,02 H_x$) yang terjadi pada lantai 2, 3, dan 4. (lantai 2 sebesar 88,0 mm, lantai 3 sebesar 89,85 mm, lantai 4 sebesar 78,15 mm).
2. Nilai *capacity ratio* dengan dan tanpa *initial sway imperfection* mengalami kenaikan yang bervariasi dari 0,04% sampai 16,73%, yang mana dengan *initial sway imperfection* pada kasus ini, nilai *capacity ratio* masih kurang dari 1 (aman).
3. Setelah disimulasikan *notional load* pada pemodelan, diperlukan kapasitas penampang kolom yang lebih besar dimana awalnya menggunakan profil *King Cross* 400x200x8x13 menjadi *King Cross* 600x200x11x17.

Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan, penulis menyarankan dimasa mendatang perlu dilakukan hal-hal berikut:

1. Melakukan analisis lebih lanjut pada struktur bangunan denah yang lain (lebih kompleks, atau pada gedung tidak beraturan, atau dengan jumlah lantai yang lebih dari 7 lantai, dsb)
2. Pembandingan juga dapat dilakukan dengan menggunakan software

analisis struktur terbaru dan mengacu pada referensi desain baja terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Institute of Steel Construction. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*, Chicago: AISC
- [2] Dewobroto, Wiryanto (2014) *Pentingnya Peraturan Perencanaan (Code/Standard) bagi Perkembangan Pembelajaran Rekayasa dan Mutu Pelaksanaan Konstruksi di Indonesia*, Tangerang: Universitas Pelita Harapan
- [3] DIN 18800 (1995), *Structural Steelwork Safety Against Buckling of Plates*.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. (2015) *SNI 1729-2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Jakarta: BSN
- [5] Dewobroto, Wiryanto (2016) *Struktur Baja Perilaku Analisa & Desain – AISC 2010* Jakarta: Lumina Press
- [6] PT. Gunung Garuda (2017). *Product Catalogue*, Bekasi: Steel Indonesia.
- [7] PT. Super Steel Indah (2008). *Super Floordeck*, Cakung: Steel Indonesia.
- [8] Badan Standarisasi Nasional (2013) *SNI 1727-2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta: BSN
- [9] Badan Standarisasi Nasional (2012) *SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Jakarta: BSN
- [10] Dewobroto, Wiryanto, “Capacity Ratio lebih dari 1, boleh pak?”, The Work of Wiryanto Dewobroto, 21 Februari 2014. Tersedia: <https://wiryanto.blog/2014/02/21/capacity-ratio-lebih-dari-1-boleh-pak/> [Diakses: 13 Juli 2019]