



TESIS - RC 142501

**STUDI LEBAR EFEKTIF PELAT PADA STRUKTUR  
*FLAT PLATE* DENGAN *HOLLOW* DUA ARAH  
DI BAWAH BEBAN GEMPA**

NOERMAN ADI PRASETYA  
NRP 3113 202 006

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. TAVIO, ST, MT, PhD  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK STRUKTUR  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA  
SURABAYA 2016**



---

THESES - RC 142501

**STUDY OF PLATE EFFECTIVE WIDTH OF FLAT  
PLATE STRUCTURE WITH TWO-WAYS HOLLOW  
UNDER QUAKE LOAD**

NOERMAN ADI PRASETYA  
NRP 3113 202 006

ACADEMIC SUPERVISOR  
Prof. TAVIO, ST, MT, PhD  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA

**MAGISTER PROGRAM  
EXPERTISE OF STRUCTURE ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2016**

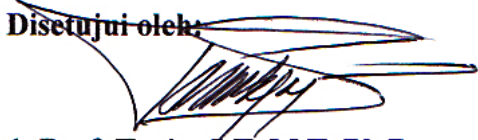
**STUDI LEBAR EFEKTIF PELAT PADA STRUKTUR *FLAT PLATE*  
DENGAN *HOLLOW* DUA-ARAH DIBAWAH BEBAN GEMPA**


**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**


**Oleh :  
NOERMAN ADI PRASETYA  
NRP : 3113202006**

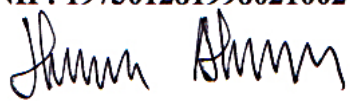
**Tanggal Ujian : 15 Juni 2016  
Periode Wisuda : September 2016**

Disetujui oleh:

  
**1. Prof. Tavio, S.T. M.T. Ph.D  
NIP: 197003271997021001**

  
**2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
NIP: 195004031976031003**

  
**3. Budi Suswanto, S.T. M.T. Ph.D  
NIP: 197301281998021002**

  
**4. Harun Alrasvid, S.T. M.T. Ph.D  
NIP: 198308082008121005**



# STUDI LEBAR EFEKTIF STRUKTUR *FLAT PLATE* DENGAN *HOLLOW* - DUA ARAH DIBAWAH BEBAN GEMPA

Nama : Noerman Adi Prasetya  
NRP : 3113 202 006  
Pembimbing 1 : Prof. Tavio, ST, MT, PhD  
Pembimbing 2 : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

## ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh beberapa kelemahan pada struktur *flat plate* dalam menahan beban lateral akibat gempa yang disebabkan rendahnya kekakuan transversal sehingga deformasi menjadi besar, cara yang paling mudah mengatasi hal tersebut adalah dengan meningkatkan tebal pelat, namun hal ini memiliki resiko pada peningkatan berat sendiri struktur. Untuk itu, cara agar hal tersebut dapat menjadi solusi adalah dengan menempatkan rongga-rongga pada daerah yang memiliki tegangan kerja yang relatif kecil, teknologi ini umumnya bernama *biaxial hollow slab* atau pelat berongga secara dua arah.

Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan lebar efektif pelat dari struktur *biaxial hollow slab* yang terbebani gempa. Lebar efektif pada studi ini diperoleh dengan cara menyamakan simpangan model struktur *flat plate* ber- *hollow* dua arah dari analisa 3-dimensi dengan analisa struktur *flat plate* ber- *hollow* dua arah yang dimodelkan sebagai rangka kolom-balok dari analisa 2-dimensi. Hasil penelitian ini adalah berupa rumus praktis lebar efektif struktur *biaxial hollow slab* yang terbebani gempa, yaitu lebar efektif *exterior frame*,  $b_{ef} (ext) = 55.427 + 0.098L_1 - 0.009L_2 + 0.116c_1 + 0.024b_s - 0.857s - 0.802H$  dan *interior frame*,  $b_{ef} (int) = 49.850 + 0.14L_1 - 0.004L_2 + 0.058c_1 + 0.025b_s$ , parameter yang paling berpengaruh terhadap lebar efektifnya ( $b_{ef}$ ) adalah bentang sejajar arah beban lateral ( $L_1$ ) dengan nilai korelasi 93.5% untuk *exterior frame* dan 97.0% untuk *interior frame*.

**Kata kunci:** lajur kolom, lebar efektif, redistribusi momen

# STUDY OF EFFECTIVE WIDTH OF FLAT PLATE STRUCTURE WITH TWO-WAYS HOLLOW UNDER QUAKE LOAD

Nama : Noerman Adi Prasetya  
NRP : 3113 202 006  
Supervisor : Prof. Tavio, ST, MT, PhD  
Co-supervisor : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

## ABSTRACT

This research is motivated by some weakness in the structure of the flat plate to resistance lateral loads caused by the earthquake that caused the low stiffness transverse to the deformation becomes large, the easiest way to overcome this is by increasing the slab thickness, but this has a risk of an increase in weight of its own structure. For that, the way that it can be a solution is to place the cavities in areas that have a relatively small stress, this technology is commonly called biaxial hollow slab or hollow plate in both directions.

The purpose of this study is to find an effective width of plate biaxial hollow slab structure encumbered earthquake. Width effective in this study was obtained by comparing of drift between three-dimensional structural analysis of flat plate structure with two-ways hollow with two-ways hollow was modeled as a two-way column-beam framework of two-dimensional analysis. The results of this study are in the form of a practical formula effective width of biaxial hollow slab structure burdened earthquake, the effective width of the exterior frame,  $b_{ef} (ext) = 55.427 + 0.098L_1 - 0.009L_2 + 0.116c_1 + 0.024b_s - 0.857s - 0.802H$  and interior frame,  $b_{ef} (int) = 49.850 + 0.14L_1 - 0.004L_2 + 0.058c_1 + 0.025b_s$ , the parameters that most influence on the effective width (bef) is parallel to the load direction lateral span (L1) with a correlation value of 93.5% for the exterior frame and 97.0% for the interior frame.

**Word key:** column strip, effective width, moment redistribution

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Umum .....	6
2.2 Metode Lebar Efektif Balok .....	6
2.3 Rumusan Usulan Lebar Efektif Struktur <i>Flat Slab</i> .....	8
2.4 Struktur <i>Hollow Slab</i> dua Arah .....	14
2.4.1. Umum .....	14
2.4.2. Produk – produk <i>Hollow Slab</i> .....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Umum .....	20
3.2 Pemodelan Struktur .....	21
3.3 Pembebanan Lateral .....	28
3.4 Analisis struktur .....	28

3.5	Hasil Analisis Struktur .....	28
3.6	Evaluasi Lebar Efektif Pelat .....	29
3.7	Studi Parameter Rumus Lebar Efektif Pelat .....	29
3.8	Kesimpulan .....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		30
4.1	Hasil Analisis Struktur .....	30
4.1.1.	Hasil Analisa 3 - Dimensi .....	31
4.1.2.	Hasil Analisa 2 – Dimensi .....	34
4.2	Hasil Penentuan Lebar Efektif Pelat .....	60
4.3	Hasil Korelasi Parameter – parameter dengan Lebar Efektif Pelat .....	65
4.4	Hasil Perumusan Lebar Efektif Pelat .....	68
4.5	Pembahasan .....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		72
5.1	Umum .....	72
5.2	Kesimpulan .....	72
5.3	Saran .....	73

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

2.1	<i>Concept of Effective beam width 1</i> .....	7
2.2	<i>Concept of Effective beam width 2</i> .....	7
2.3	<i>Concept of Effective beam width with model</i> .....	9
2.4	<i>Equivalent of beam in term of column slope</i> .....	10
2.5	<i>Effective beam width by Banchik using Finite Element 1</i> .....	12
2.6	<i>Effective beam width by Banchik using Finite Element 2</i> .....	13
2.7	Model produk cobiax .....	17
2.8	Aplikasi di lapangan sistem cobiax 1.....	17
2.9	Aplikasi di lapangan sistem cobiax 2.....	18
2.10	Aplikasi U-Boot pada bangunan industri.....	19
2.11	Aplikasi U-boot pada bangunan rumah sakit.....	19
3.1	Diagram alir penelitian .....	20
3.2	Model <i>finite element</i> untuk mencari reduksi kekakuan lentur <i>slab</i> .....	24
3.3	Elevasi model struktur <i>flat plate</i> ber- <i>hollow</i> dua arah .....	25
3.4	Denah Lantai .....	26
3.5	Potongan A .....	26
3.6	Geometri rongga dan variabel pembentuknya .....	26
3.7	Model <i>finite element</i> struktur <i>flat plate</i> dengan <i>hollow</i> dua-arah .....	27
4.1	Grafik Simpangan Struktur 3-D untuk arah-X .....	32
4.2	Grafik Simpangan Struktur 3-D untuk arah-Y.....	33
4.3	Grafik Simpangan Struktur S1-2-D untuk arah-X .....	36
4.4	Grafik Simpangan Struktur S2-2-D untuk arah-X .....	37
4.5	Grafik Simpangan Struktur S3-2-D untuk arah-X .....	38
4.6	Grafik Simpangan Struktur S4-2-D untuk arah-X .....	40
4.7	Grafik Simpangan Struktur S5-2-D untuk arah-X .....	41
4.8	Grafik Simpangan Struktur S6-2-D untuk arah-X .....	43
4.9	Grafik Simpangan Struktur S7-2-D untuk arah-X .....	44



4.10	Grafik Simpangan Struktur S8-2-D untuk arah-X .....	46
4.11	Grafik Simpangan Struktur S1-2-D untuk arah-Y .....	48
4.12	Grafik Simpangan Struktur S2-2-D untuk arah-Y .....	49
4.13	Grafik Simpangan Struktur S3-2-D untuk arah-Y .....	51
4.14	Grafik Simpangan Struktur S4-2-D untuk arah-Y .....	52
4.15	Grafik Simpangan Struktur S5-2-D untuk arah-Y .....	54
4.16	Grafik Simpangan Struktur S6-2-D untuk arah-Y .....	55
4.17	Grafik Simpangan Struktur S7-2-D untuk arah-Y .....	57
4.18	Grafik Simpangan Struktur S8-2-D untuk arah-Y .....	58
4.19	Grafik hasil lebar efektif rangka eksterior arah -X .....	61
4.20	Grafik hasil lebar efektif rangka eksterior arah -Y .....	62
4.21	Grafik hasil lebar efektif rangka interior arah -X .....	63
4.22	Grafik hasil lebar efektif rangka interior arah -Y .....	64
4.23	<i>Normal P-P plot of regrassion standartized residual exterior frame</i> .....	69
4.24	<i>Normal P-P plot of regrassion standartized residual interior frame</i> .....	70
6.1	Tampak rangka arah panjang .....	90
6.2	Tampak rangka arah pendek .....	91
6.3	Geometri denah lantai .....	91
6.4	Kontur distribusi momen aktual <i>slab</i> untuk lantai 1 .....	92
6.5	Potongan A-A distribusi momen.....	93
6.6	Lokasi join yang ditinjau .....	94
6.7	Diagram interaksi kolom yang ditinjau.....	96
6.8	Detail Tulangan lentur tumpuan .....	97
6.9	Detail tulangan lentul lapangan.....	98
6.10	<i>Section – A</i> .....	99

## DAFTAR TABEL

2.1	Koefisien lebar efektif dengan beban lateral <i>equivalent frame</i> .....	11
2.2	Variasi produk <i>biaxial hollow slab</i> dua arah .....	16
3.1	Data geometri pemodelan struktur BHS (bentang & dimensi kolom) ...	22
3.2	Data <i>properties</i> pemodelan struktur BHS .....	23
3.3	Data-data material dan beban pada pemodelan struktur BHS .....	25
3.4	Variasi rongga yang digunakan dalam pemodelan .....	28
4.1	Korelasi antar parameter terhadap lebar efektif ( $b_{ef}$ ) <i>exterior frame</i> .....	66
4.2	Korelasi antar parameter terhadap lebar efektif ( $b_{ef}$ ) <i>interior frame</i> .....	67
4.3	Koefisien antar parameter terhadap lebar efektif ( $b_{ef}$ ) <i>exterior frame</i> ...	68
4.4	Koefisien antar parameter terhadap lebar efektif ( $b_{ef}$ ) <i>interior frame</i> .....	70
6.1	Kebutuhan tulangan struktur BHS per lebar <i>strip</i> .....	95

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada umumnya, penggunaan sistem struktur *flat slab* maupun *flat plate* populer di beberapa negara tertentu karena sistem ini menjadikan kapasitas hunian menjadi lebih banyak (Qian dan Li, 2013). Akan tetapi sistem struktur *flat slab* sangat rentan terhadap beban lateral, sehingga apabila struktur ini terletak di wilayah gempa sedang atau tinggi harus dikombinasikan dengan sistem penahan gaya lateral (Dovich dan Wight, 2005). Kelemahan yang dominan pada struktur *flat plate* terletak pada hubungan pelat-kolom (*slab-column connection*), struktur *flat plate* yang diberi beban lateral siklik akan terjadi kerusakan pada daerah hubungan pelat-kolom akibat akumulasi tegangan lentur dan geser dikarenakan transfer momen yang tak seimbang (*unbalanced moment*) antara pelat dan kolom (Robertson dkk, 2002), akumulasi tegangan tersebut mengakibatkan struktur memiliki daktilitas rendah dan dapat memicu keruntuhan struktur yang getas (Pan dan Moehle, 1989). Selain itu, akumulasi dari tegangan geser itu juga akan berdampak pada keruntuhan yang bersifat progresif (Dovich dan Wight, 2005).

Berdasarkan kelemahan yang dimiliki struktur *flat plate*, maka SNI 03-1726-2012 membatasi penggunaan struktur jenis ini lebih spesifik, yaitu struktur diklasifikasikan sebagai SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) dan jika digunakan sebagai sistem tunggal, maka kategori desain gempa yang sesuai adalah B dan C tidak dibatasi dan D, E dan F tidak diijinkan. Di samping itu, jika digunakan dengan dinding geser khusus, maka kategori desain gempa yang sesuai adalah B dan C tidak dibatasi, D dibatasi dengan tinggi maksimum 48m, dan E dan F dibatasi tinggi maksimum 30m. Berdasarkan hal tersebut, penelitian lebih lanjut pada struktur *flat plate* sangat perlu dikembangkan sebagai upaya peningkatan perilaku struktur *flat plate* dalam menahan kombinasi beban gravitasi dan beban gempa. Salah satu alternatifnya adalah dengan meringankan berat sendiri pelat melalui pembuatan rongga-rongga pada badan pelat dimana lokasinya berada di

daerah yang memiliki gaya-gaya dalam yang terbilang tidak signifikan, teknologi ini populer dengan nama struktur *hollow slab* dua arah atau *biaxial hollow slab* yang mana model struktur ini sangat mirip dengan *waffle slab*.

Perbedaan mendasar antara *waffle slab* dengan sistem struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah yaitu pertama dari bentuk potongan penampangnya, kalau *waffle slab* berbentuk balok T tanpa sayap bagian bawah, sedangkan struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah berbentuk I dengan sayap bagian atas dan bawah, dari perbedaan yang pertama ini diketahui bahwa untuk ketebalan *slab* bersih yang sama momen inersia penampang struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah menjadi lebih besar, perbedaan kedua dari penempatan tulangan lapangan, kalau *waffle slab* tulangan lapangan diletakkan di balok, sedangkan struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah tulangan lapangan diletakkan di bagian *slab cover*, dari kedua perbedaan mendasar tersebut dapat diketahui bahwa posisi garis netral antara tegangan tekan dan tegangan tarik per segmen penampang struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah lebih mendekati tengah.

Struktur *hollow slab* dua arah atau *biaxial hollow slab* (BHS) adalah jenis struktur yang termasuk dalam tipe struktur *flat plate* yakni sistem struktur gedung dengan elemen utama berupa kolom dan pelat tanpa menggunakan balok. Sistem BHS juga merupakan inovasi terbaru dari pengembangan sistem pelat beton dengan keunggulan mampu mereduksi pemakaian beton hingga 30 persen lebih (Taskin dan Peker, 2014). Sistem BHS merupakan evolusi dari gabungan sistem *waffle slab* (pelat rusuk) dan *hollow slab* satu arah. Terdapat bermacam-macam bentuk geometri dari rongga sistem BHS, seperti pada penelitian Chung dkk (2010) yang menguji pengaruh bentuk rongga terhadap kekuatan pelat, penelitian ini menguji 8 macam bentuk rongga dan menyimpulkan bahwa jenis rongga yang bekerja paling efektif menahan beban adalah dengan bentuk *smooth rectangular donuts* (kotak bersudut tumpul dengan lubang donat), penelitian lain dilakukan oleh Lai (2009) menunjukkan bahwa besarnya momen maksimum, gaya geser, dan tegangan permukaan dari struktur BHS berkurang 30 – 40% dibandingkan dengan *solid slab* dengan ketebalan yang sama.

Dalam perancangan struktur dengan tipe *flat plate*, metoda perancangan yang umum digunakan untuk memodelkan respon beban lateral pada rangka pelat-

kolom menggunakan metoda rangka ekuivalen dan metoda lebar efektif balok. Untuk metode rangka ekuivalen, tahap pentingnya adalah mendefinisikan kekakuan torsi pelat yang berdekatan sambungan pelat – kolom, lalu kekakuan torsi pelat dikombinasikan dengan kekakuan kolom untuk menentukan perilaku rangka ekuivalen. Umumnya untuk mendefinisikan kekakuan pada hubungan pelat – kolom sehingga gaya-gaya dalam menjadi seragam untuk rangka ekuivalen sangat rumit, dan beberapa studi menunjukkan metoda rangka ekuivalen hanya dapat digunakan untuk perencanaan struktur *flat plate* akibat pengaruh beban gravitasi, sedangkan untuk pengaruh beban lateral masih perlu dilakukan studi lebih lanjut (Grossman, 1997 dalam Hemawan 2009). Dan pada saat ini, metoda yang populer untuk kasus tersebut adalah metode lebar efektif balok, dimana metode ini mampu memodelkan rangka pelat-kolom lebih sederhana dan akurat (Kang & Wallace, 2005).

Dalam metode lebar efektif balok ini struktur tiga dimensi dimodelkan dalam suatu rangka dua dimensi yang mana distribusi pembebanannya berasal dari pembebanan struktur 3-dimensi sehingga dapat mensimulasikan perilaku aktual dari analisis 3 dimensi, dimana rangka dua dimensi terbentuk dari lebar efektif pelat ( $b_{ef}$ ) dan kolom konvensional (Hwang, 1990). Untuk struktur *flat plate* konvensional terdapat beberapa perumusan untuk menentukan lebar efektif pelat ( $b_{ef}$ ) yang diusulkan beberapa peneliti, diantaranya Allen & Darval (1977), Banchik dalam Hemawan (2009), Hwang (2000), dan Hemawan (2009), tetapi perumusan lebar efektif untuk struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah dibawah beban gempa masih tergolong baru dan belum dilakukan pada saat sekarang ini, sedangkan besar lebar efektif struktur *flat plate* konvensional yang diperoleh dari peneliti-peneliti sebelumnya dapat dijadikan gambaran perbedaan atau selisih besaran lebar efektif dengan struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah dibawah beban gempa.

Hasil penelitian-penelitian sebelumnya memberi peluang untuk struktur bertipe *flat plate* memenuhi klasifikasi kategori yang disyaratkan oleh kategori desain gempa D atau bahkan E dan F untuk bangunan tinggi dengan menggunakan perhitungan-perhitungan yang lebih sederhana, praktis, dan efisien. Untuk itu dapat diusulkan penelitian untuk mencari lebar efektif dari struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah dibawah beban gempa.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang di atas dapat diuraikan beberapa permasalahan yang diharapkan dapat ditemukan solusinya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mencari lebar efektif untuk masing-masing model struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah dibawah beban gempa?
2. Bagaimana mencari persamaan untuk menentukan lebar efektif *exterior frame* struktur *hollow* dua arah dibawah beban gempa?
3. Bagaimana mencari persamaan untuk menentukan lebar efektif *interior frame* struktur *hollow* dua arah dibawah beban gempa?
4. Bagaimana korelasi parameter-parameter bebas terhadap parameter lebar efektif struktur *hollow* dua arah dibawah beban gempa?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Mencari lebar efektif untuk struktur *flat plate* dengan *hollow slab* dua arah dibawah beban gempa?
2. Mencari persamaan untuk menentukan lebar efektif *exterior frame* struktur *hollow slab* dua arah dibawah beban gempa?
3. Mencari persamaan untuk menentukan lebar efektif *interior frame* struktur *hollow slab* dua arah dibawah beban gempa?
4. Mencari korelasi parameter-parameter bebas terhadap parameter lebar efektif struktur *hollow slab* dua arah dibawah beban gempa?

## 1.4 Batasan Penelitian

Adapun beberapa batasan dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pengujian bukan dengan eksperimen
2. Analisa struktur yang digunakan adalah analisa elastis
3. Gaya dalam yang ditinjau adalah momen
4. Software struktur yang digunakan adalah SAP2000 v.15 & SAFE v.12
5. Software statistik yang digunakan adalah SPSS v.16

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Dan pada akhirnya setelah diperoleh desain struktur *hollow slab* yang efektif dan efisien dari segi kekuatan melawan beban gravitasi dan lateral siklik, diharapkan membawa manfaat sebagai berikut:

1. Untuk mahasiswa, memperoleh tambahan masukan materi perkuliahan khususnya tentang struktur pelat beton bertulang
2. Untuk praktisi bangunan, memperoleh informasi desain struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah yang efektif dan efisien untuk daerah rawan gempa.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Tumpuan yang kekakuannya terbatas (tumpuan yang fleksibel) seperti balok dan kolom, atau pelat datar yang ditumpu oleh *grid* atau kolom harus ditinjau secara khusus. Distribusi momen dalam arah yang pendek maupun dalam arah yang panjang sangat rumit. Kerumitan ini diakibatkan oleh fakta bahwa derajat kekakuan tumpuan yang sangat fleksibel menentukan intensitas kecuraman kontur kelengkungan pada suatu panel pelat dan tentu akan mempengaruhi redistribusi momen.

Perbandingan antara kekakuan balok dengan kekakuan pelat dapat mengakibatkan kelengkungan dan momen pada arah yang panjang lebih besar daripada arah yang pendek, hal ini juga terjadi pada pelat lantai yang ditumpu di atas *grid* atau kolom tanpa balok.

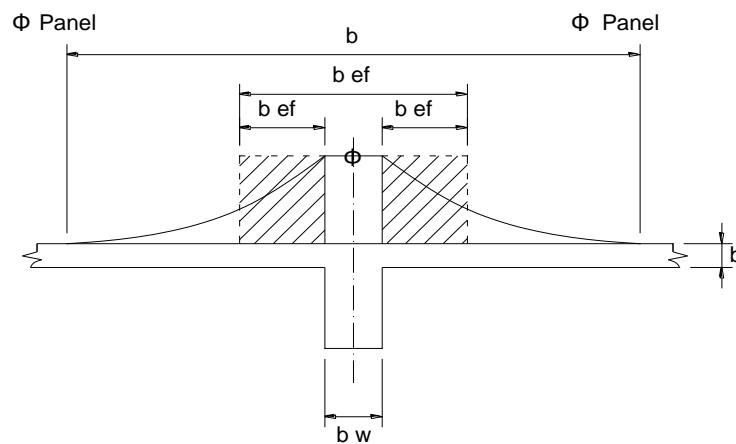
Secara ringkas, karena pelat bersifat sangat fleksibel dan sangat *under-reinforced*, maka redistribusi momen dalam arah panjang maupun pendek akan sangat bergantung pada kekakuan relatif tumpuan terhadap pelat yang ditumpunya. Kelebihan tegangan pada suatu daerah dapat berkurang dengan adanya redistribusi momen ke daerah yang tegangannya lebih kecil, dengan demikian bentang yang lebih pendek dari suatu panel yang terletak di atas tumpuan yang kaku sekali akan mengalami momen yang lebih besar.

#### **2.2. Metode Lebar Efektif Balok**

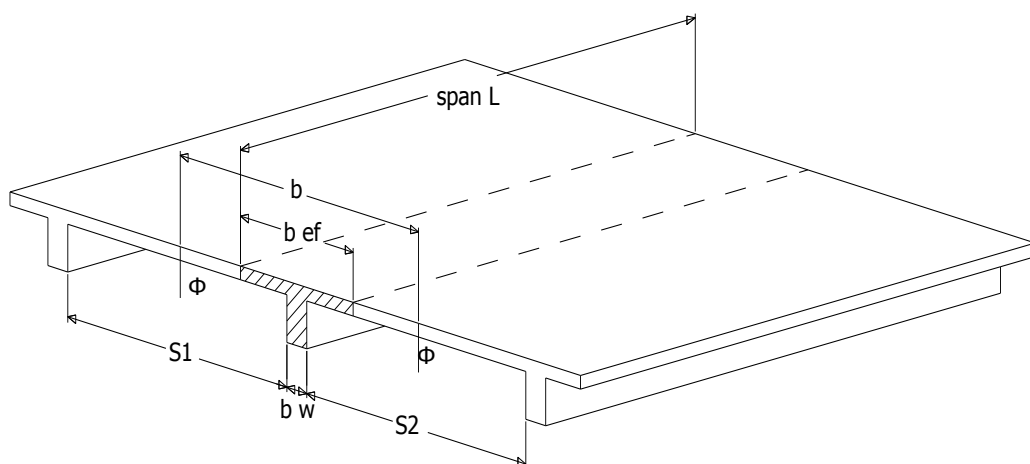
Secara umum diketahui bahwa distribusi gaya dalam pada struktur *flat plate* atau *flat slab* tersebar tidak seragam, sehingga perhitungan lenturan pelat yang berlandaskan pada teori lenturan balok tidak lagi dapat digunakan, karena teori ini didasarkan pada anggapan bahwa tegangan yang terjadi tersebar merata pada seluruh penampang.



Dalam kenyataan pada struktur *flat plate* atau *flat slab*, tegangan sangat besar berada di sekitar join pelat-kolom, sedangkan tegangan pada daerah tengah bentang jauh lebih kecil. Untuk dapat menghitung kekuatan pelat pada struktur *flat plate* atau *flat slab* dengan teori balok yang sederhana, diperkenalkanlah metode lebar efektif pelat. Tegangan yang semula tersebar tidak merata selebar penampang pelat, diganti dengan tegangan yang tersebar merata selebar lebar efektifnya, sedang besarnya sama dengan tegangan pada pelat aktual yang berpatokan kepada tegangan maksimumnya.



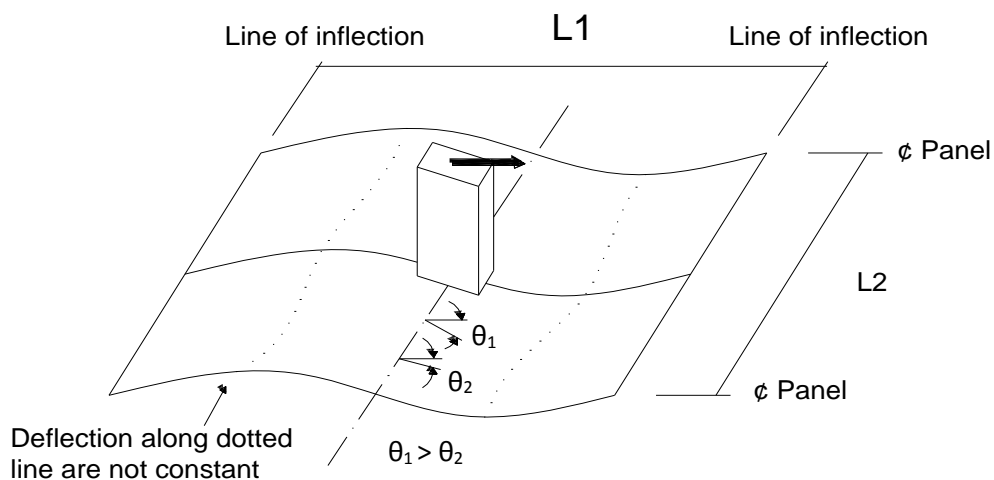
**Gambar 2.1** *Concept of Effective beam width*  
(Sumber : Hassoun dan Manaseer, 2008 hal: 110)



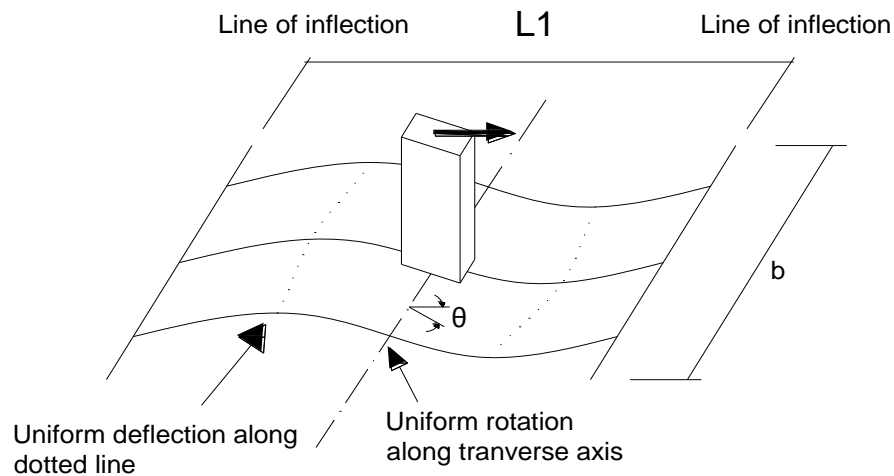
**Gambar 2.2** *Concept of Effective beam width*  
(Sumber : Hassoun dan Manaseer, 2008 hal: 111)

Metoda *Effective Beam Width* merupakan suatu metoda pendekatan yang saat ini mulai digunakan dan dikembangkan dimana dengan metoda pendekatan ini pemodelan yang dihasilkan lebih sederhana dan akurat untuk memodelkan kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) pada rangka pelat-kolom pada struktur *flat slab* akibat pengaruh beban lateral (Hemawan, 2009). Lebar efektif pelat dihitung dengan menggunakan normalisasi persamaan, umumnya didasarkan pada perhitungan dengan *Finite Element method* (Kim, 2005 dalam Climent dkk, 2012) dan eksperimen statis atau *quasi-static* (Dovich dan Wight, 2005).

Pada konstruksi pelat-kolom struktur *flat plate*, sebenarnya pelat tidak seluruhnya efektif pada arah melintang selebar pelat seperti halnya keruntuhan lentur pada elemen rangka dalam kolom. Perilaku hubungan pelat kolom ditampilkan pada Gambar 2.1 (a) dan (b), dilihat dari gambar dapat diketahui bahwa ketika hubungan pelat-kolom mengalami rotasi, pelat di sekitar kolom mengalami rotasi dengan kolom, sedangkan pada pelat bagian lainnya tidak mengalami perilaku yang sama, jadi ada daerah yang dominan menerima gaya-gaya dalam yang bisa mewakili perilaku keseluruhan struktur *flat slab* tersebut, dengan demikian dapat dikatakan metode lebar efektif pelat ini membuat idealisasi bentuk momen menjadi semakin mendekati bentuk momen aktual yang terjadi.



(a) *Slab-Column Element*



(b) *Effective Beam-Column Element*

**Gambar 2.3** *Concept of Effective beam width model*  
(Sumber : Hwang and Moehle 2000)

### 2.3. Rumusan Usulan untuk Menentukan Lebar Efektif Struktur *Flat Plate*

Dalam metoda *effective beam width* ini, terdapat beberapa perumusan yang diusulkan untuk menentukan besarnya lebar efektif pelat (b). Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dalam rangka menentukan berapa lebar efektif untuk struktur *flat plate* dibawah beban lateral, diantaranya yaitu : Allen and Darval, 1977; Banchik, 1987; Hwang and Moehle, 2000, dan Hemawan 2009.

Berikut beberapa metoda dan perumusan yang diusulkan oleh beberapa peneliti untuk menentukan besar lebar efektif pelat yang penulis peroleh dari literatur yang ada:

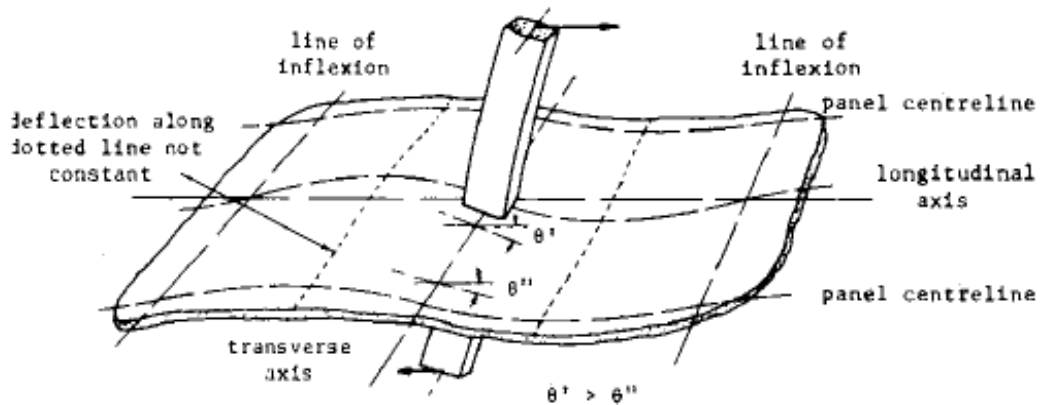
#### 2.3.1. Allen & Darvall, 1977

Berdasarkan studi koefisien lebar efektif pelat yang dilakukan dengan menggunakan teknik *finite element*, Allen dan Darvall (1977) memberikan beberapa nilai koefisien lebar efektif pelat untuk beberapa aspek rasio.

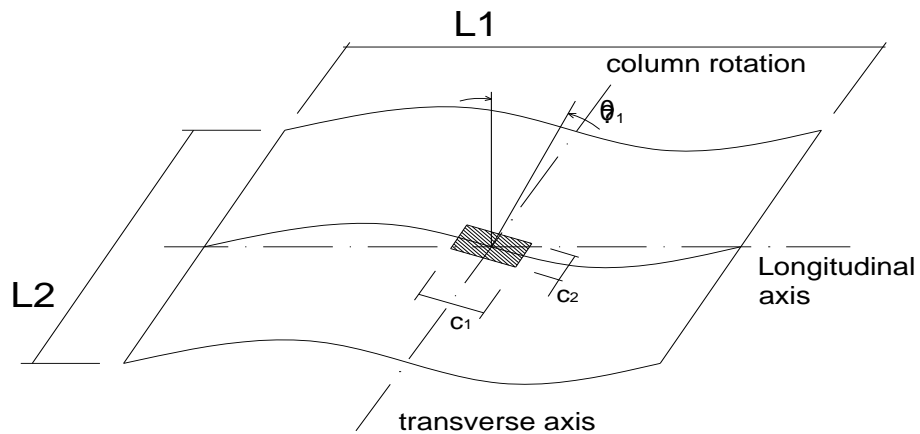
$$\alpha = \frac{l'_2}{l_2} \quad (2.1)$$

$$l'_2 = \alpha l_2 \quad (2.2)$$

Nilai koefisien lebar efektif  $\alpha$  ditampilkan untuk kolom kaku dengan berbagai aspek rasio dalam bentuk tabel (lihat Tabel 2.1) yang menunjukkan nilai rata-rata koefisien lebar efektif pelat untuk variasi rasio  $c_1/l_1$  dan  $c_2/l_1$  antara 0.03 dan 0.12 dengan berbagai aspek rasio ( $l_1/l_2$ ), sedangkan untuk konsep lebar efektif menurut Allen dan Darvall dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.



(a) Plate-column Element



(b) Equivalent beam-column element

**Gambar 2.4** Equivalent of beam in term of column slope  
(Sumber : Allen and Darvall, 1977)

Tabel 2.1 Koefisien lebar efektif pelat dengan beban lateral *equivalent frame*

$c_1/l_1$	$l_1/l_2$						
	0,5	0,67	0,80	1,00	1,25	1,50	2,00
0,03	0,20	0,26	0,31	0,39	0,48	0,55	0,68
0,04	0,22	0,29	0,34	0,43	0,52	0,60	0,73
0,05	0,23	0,31	0,37	0,46	0,56	0,65	0,78
0,06	0,25	0,34	0,40	0,50	0,60	0,69	0,82
0,07	0,27	0,36	0,43	0,53	0,64	0,73	0,86
0,08	0,28	0,38	0,45	0,55	0,67	0,76	0,89
0,09	0,29	0,39	0,47	0,57	0,69	0,78	0,91
0,10	0,30	0,40	0,48	0,59	0,71	0,80	0,92
0,11	0,31	0,41	0,49	0,60	0,72	0,81	0,93
0,12	0,31	0,41	0,50	0,61	0,73	0,82	0,94

Sumber: Allen and Darvall, 1977

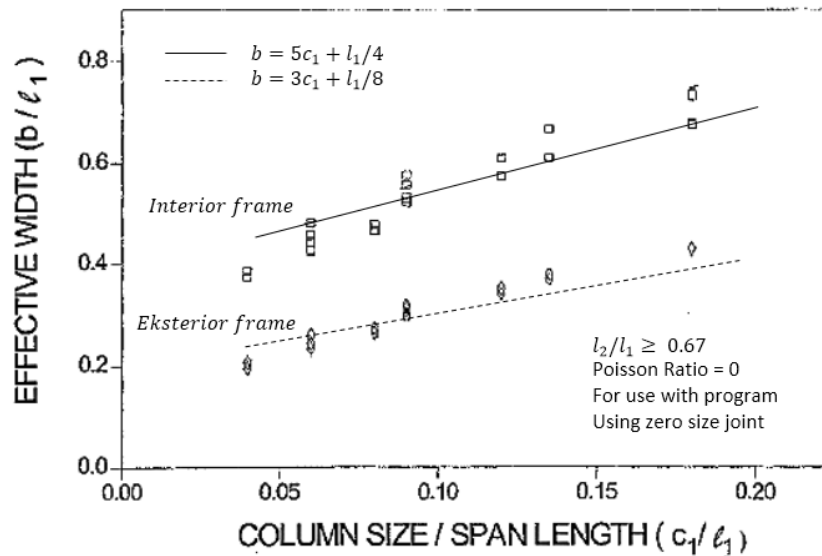
### 2.3.2. Banchik, 1987

Berdasarkan studi koefisien lebar efektif pelat yang dilakukan, Banchik (1987) menggunakan teknik *finite element* untuk menghitung lebar efektif balok pada *interior, edge, dan corner connection* untuk kolom persegi dengan beberapa kombinasi rasio:

$$\frac{c_1}{c_2} = 0.06 ; 0.09 ; 0.12$$

$$\frac{l_1}{l_2} = 0.67 ; 1.00 ; 1.50$$

Dari analisis yang dilakukannya Banchik dapat menyimpulkan parameter utama yang mempengaruhi lebar efektif pelat yaitu  $c_1$  dan  $l_1$ , hasilnya analisisnya dapat dilihat pada Gambar 2.5. Dari hasil analisis tersebut Banchik menurunkan perumusan lebar efektif pelat ( $b$ ).



**Gambar 2.5** *Effective beam width by banchik using finite element*  
(Sumber : Banchik, 1987 dalam Hwang and Moehle, 1990)

Hasil penurunan dibagi dalam dua grup terpisah, satu untuk rangka dalam (*interior frame*) dan satunya untuk rangka luar (*exterior frame*). Lebar efektif balok ( $b$ ) untuk *interior frame* yang terdiri dari *interior connection* dan *edge connection* dengan bending sejajar tepi, ditunjukkan sebagai berikut:

$$b = 5c_1 + \frac{l_1}{4} \quad (2.3)$$

Sedangkan lebar efektif balok untuk *exterior frame* yang terdiri dari *corner connection* dan *edge connection* dengan bending tegak lurus tepi, ditunjukkan sebagai berikut:

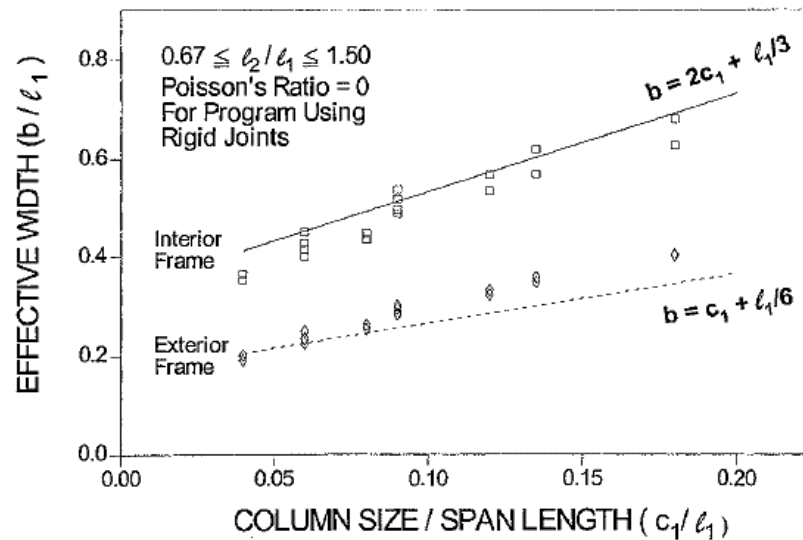
$$b = 3c_1 + \frac{l_1}{8} \quad (2.4)$$

Perumusan 2.3 dan 2.4 untuk *poisson ratio* ( $\nu = 0$ ), sedangkan untuk menghitung dengan efek *poisson ratio* perumusanya dimodifikasi dengan mengalikan dengan

$$\frac{1}{(1-\nu^2)} \quad (2.5)$$

### 2.3.3. Hwang dan Moehle, 2000

Hwang (2000) melakukan studi terhadap hasil *finite element* dan perumusan yang telah diajukan oleh Banchik. Didasarkan dari perhitungan tersebut, Hwang melakukan penurunan rumus seperti yang terlihat pada Gambar 2.6



**Gambar 2.6** Effective beam width by banchik using finite element  
(Sumber : Hwang and Moehle, 2000)

Lebar efektif balok (b) untuk *interior frame* berdasarkan Hwang, yaitu :

$$b = 2c_1 + \frac{l_1}{3} \quad (2.6)$$

Dan untuk *exterior frame* ditunjukkan sebagai berikut :

$$b = c_1 + \frac{l_1}{6} \quad (2.7)$$

Dan untuk efek *poisson ratio* perumusan 2.6 dan 2.7 dikalikan dengan faktor rasio  $\frac{1}{(1-\nu^2)}$ , meskipun efek dari *poisson ratio* sangat kecil. Dan lebih jauh lagi Hwang menunjukkan bahwa nilai perumusan 2.6 dan 2.7 untuk *frame model* yang joinnya rigid, sedangkan apabila jika dalam frame model joinnya tidak rigid, perumusan 2.6 dan 2.7 harus dikalikan dengan faktor :

$$\frac{1}{(1-\nu^2)^3} \quad (2.8)$$

Dalam studinya tersebut, Hwang melakukan pemeriksaan ketepatan dari perumusan diatas dengan melakukan perhitungan untuk lantai bertingkat dengan menggunakan *finite element* dan juga melakukan studi eksperimental dengan struktur memiliki kolom persegi dengan aspek rasio antara 1,0 dan 1,50.

Berdasarkan studi yang dilakukan perumusan 2.7 da 2.8 diperuntukkan untuk kondisi elastis. Adapun untuk kondisi inelastik, Hwang merekomendasikan perumusan untuk mereduksi *stiffness frame* ( $\beta$ ) pada saat pelat mengalami retak, berikut perumusannya :

$$\beta = \frac{5c_1}{l_1} - 0,1 \left( \frac{LL}{40} - 1 \right) \geq \frac{1}{3} \quad (2.9)$$

Atau dengan pendekatan / penyederhanaan

$$\beta = \frac{4c_1}{l_1} \geq \frac{1}{3} \quad (2.10)$$

(*LL = service live load*)

#### **2.3.4. Hemawan, 2009**

Pada penelitian Hemawan (2009), peneliti membandingkan rumus praktis lebar efektif yang diperoleh melalui studi parameter yang dilakukan secara terpisah terhadap rumus beberapa peneliti diantaranya Allen and Darval (1977), Banchik (1987) dalam Hemawan (2009), Hwang (2000), Kang and Wallace (2004), Dovich and Wight (2005) yang mana data properties baik geometri struktur, material, dan beban yang digunakan adalah sama dengan data eksperimen yang dilakukan oleh Hwang (2000), selanjutnya hasil yang diperoleh dikomparasikan dengan hasil eksperimen yang sudah dilakukan oleh Hwang (2000) tersebut.

Berdasarkan evaluasi terhadap beberapa perumusan yang telah diusulkan beberapa peneliti sebelumnya yaitu Allen & Darvall (1977), Banchik (1987) dalam Hemawan (2009), Hwang (2000), Kang & Wallace (2005), dan Dovich & Wight (2005) dalam memprediksi distribusi momen dibandingkan dengan data eksperimen, menunjukkan bahwa untuk perumusan lebar efektif pelat rangka interior semua perumusan mempunyai akurasi yang relatif sama, sedangkan untuk



rangka eksterior perumusan dari Dovich & Wight (2005) memiliki tingkat akurasi lebih baik.

Perumusan usulan memiliki tingkat keamanan dan akurasi lebih baik dibandingkan perumusan yang diusulkan beberapa peneliti sebelumnya yaitu Allen & Darvall (1977), Banchik (1987), Hwang (2000), Kang & Wallace (2005), dan Dovich & Wight (2005). Rumus praktis yang diperoleh untuk mencari lebar efektif pelat akibat beban gempa yaitu adalah  $\frac{l_x}{10} + \frac{l_y}{6} + \frac{c_x}{3}$  untuk bentang interior dan  $\frac{l_x}{20} + \frac{l_y}{6} - \frac{c_x}{4}$  untuk bentang eksterior.

## **2.4. Struktur *Hollow Slab* dua Arah**

### **2.4.1. Umum**

Di gedung, *slab* merupakan salah satu komponen struktur yang mengkonsumsi beton terbesar. Secara umum, slab dirancang hanya untuk menahan beban vertikal. Namun, ketika bentang bangunan meningkat, defleksi dari slab menjadi sangat penting dan berdampak pada tebal slab juga meningkat. Meningkatnya ketebalan slab membuat slab bertambah berat, dan itu mengarah untuk meningkatkan dimensi komponen struktur lainnya seperti kolom dan pondasi. Dengan demikian, hal tersebut membuat bangunan mengkonsumsi lebih banyak beton dan baja. Selain itu, peningkatan berat bangunan menambah resiko saat gempa terjadi (Chung dkk, 2010).

Untuk mengatasi kelemahan yang disebabkan oleh meningkatnya berat slab, sistem *biaxial hollow slab* menjadi solusi yang baik dan inovatif. Sistem slab ini bisa mengoptimalkan ukuran komponen struktur vertikal seperti dinding struktur dan kolom dengan meringankan beban mati slab agar desain bangunan menjadi efisien dan ekonomis. Kapasitas *biaxial hollow slab* dipengaruhi oleh bentuk rongganya yang mana penelitian tentang bentuk rongga pada *biaxial hollow slab* telah cukup banyak dilakukan dan rata-rata menghasilkan rasio pengurangan beban mati slab sebesar 25 - 30% tetapi dengan kuat lentur yang hampir sama dengan *solid slab* (Chung dkk, 2010).

### 2.4.2. Produk – produk sistem struktur *hollow slab* dua arah

Untuk membentuk cetakan-cetakan rongga 2 arah pada sistem slab sudah tersedia dalam beberapa bentuk standar, antara lain bentuk bola, elips, dan trapesium. Di negara-negara eropa dan amerika sudah tersedia beberapa produk dari bentuk hollow dua arah yang tentunya dengan bermacam-macam keunggulan baik itu dari segi kepraktisan dan aspek lainnya. Berdasarkan penelitian Chung dkk (2010) mengenai bentuk rongga yang paling optimal dari segi kapasitas beban dan model kegagalan diperoleh kesimpulan, i) fungsi rongga pada *slab* adalah memperkecil lendutan, ii) bentuk rongga yang paling optimal adalah *ellips* dengan lubang ditengah (donat). Adapun beberapa produk dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

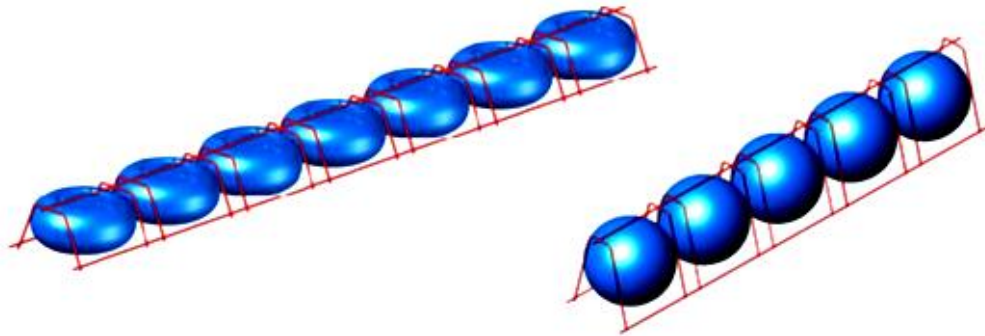
Tabel 2.2. Variasi produk *biaxial hollow slab*

Country	Name	System	Void		Weight reduction	Strength	
			Material	Shape		Flexure	Shear
Europe	Cobix		Plastic	Sphere	30%	100%	50%
	U-Boot			Ellipse			
USA	Filigree wide slab	Void Slab		Cuboid	25%	100%	65%
Japan	Mom slab		Styrofoam	Sphere	30%	100%	50%
	EJ Void			Ellipse			

\*Compare to solid slab (sumber : Chung dkk, 2010)

#### a. Sistem cobiax

Sistem cobiax memanfaatkan prinsip slab berongga yang sama yaitu menciptakan rongga di dalam beton yang bertujuan meringankan struktur bangunan. Berbentuk elips dan bola yang berasal dari dari bahan plastik yang dipasang pada tulangan *mesh* pada bagian atas dan bawahnya sebagai penguat (Churakov, 2014), untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.7, Gambar 2.8, dan Gambar 2.9.



a)

b)

**Gambar 2.7**

Model produk cobiax: a) Slim-Line; b) Eco-Line  
(sumber: Cobiax Technologies AG)

Untuk bentuk rongga elipse tebal slab mulai 20 – 45 cm dengan tinggi rongga 10 – 26 cm, sedangkan bentuk rongga bola tebal slab mulai 40 – 70 cm dengan tinggi rongga mulai 27 – 45 cm dan bentang yang ideal adalah 8m – 18m (Cobiax Technologies AG).



**Gambar 2.8**

Aplikasi di lapangan sistem cobiax: Sistem cobiax dengan pipa utilitas  
(sumber: Cobiax Technologies AG)



**Gambar 2.9**

Aplikasi di lapangan sistem cobiax: Sistem cobiax dengan kabel pra-tegang  
(sumber: Cobiax Technologies AG)

#### **b. Sistem U-Boot**

U-Boot adalah elemen modular yang terbuat dari daur ulang plastik yang digunakan untuk membuat rongga-rongga pada struktur plat beton bertulang dengan maksud agar beban mati plat menjadi ringan. Rongga-rongga pada sistem U-boot ini selain dapat meringankan berat sendiri pelat, tetapi juga memiliki kelebihan dari segi arsitektur, yakni lebih tahan terhadap api dan dapat mereduksi suara (Cobiax Technologies AG). Bentuk U-boot menciptakan bentuk grid ortogonal balok I, sehingga perhitungan tulangan menjadi sederhana dengan menggunakan beberapa peraturan misalnya Eurocode, British Standards (Churakov, 2014). Untuk gambaran aplikasi sistem U-boot dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan variasi bentuknya standarnya pada lampiran.

Sistem U-boot dapat dikombinasikan dengan teknologi lain seperti *precast* dan *prategang*, yang mana teknologi *biaxial hollow slab* dengan *prategang* dapat mengurangi berat slab dan ketebalannya (Churakov, 2014).





**Gambar 2.10**  
Bangunan industri di Italia dengan bentang maksimal: 16.3 x 17m  
(sumber : U-Boot beton)



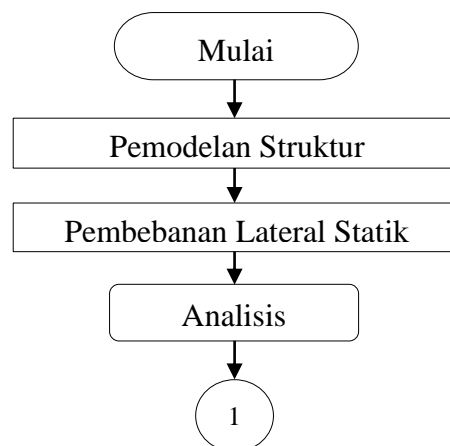
**Gambar 2.11**  
Bangunan rumah sakit di Italia dengan bentang maksimal: 8 x 8m  
(sumber : U-Boot beton)

## BAB III

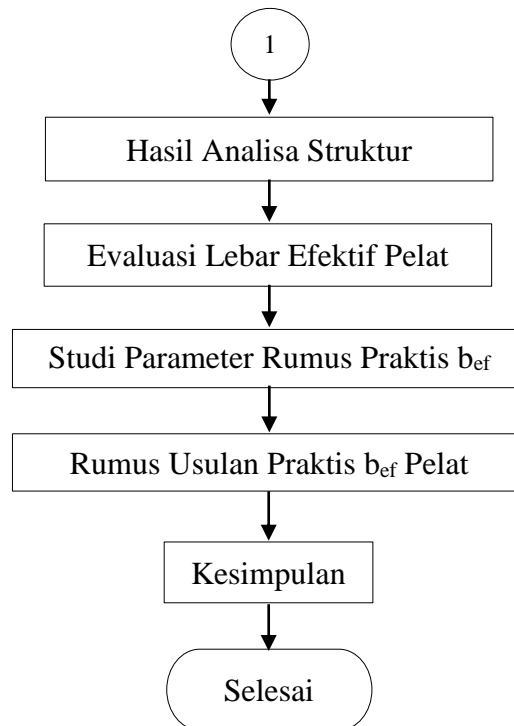
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Umum

Bab ini membahas metodologi penelitian yang dimulai dengan pemodelan struktur 3-dimensi *flat plate* ber- *hollow* dua arah (BHS), dengan lebar area solid yang tidak ber-*hollow* divariasikan menjadi 3 jenis, yaitu  $0.0L_2$ ,  $0.2L_2$ , dan  $0.4L_2$  dengan masing-masing jenisnya sebanyak 8 model struktur, perlu diketahui  $L_2$  merupakan lebar bentang tegak lurus arah pembebanan lateral. Bentang yang digunakan mengikuti rasio  $L_1/L_2$  dari penelitian Hwang dan Moehle (2000) yaitu 0.67, 1.00, 1.50. Meskipun model struktur memiliki geometri yang simetris dan memenuhi syarat analisa statik ekivalen, tetapi untuk pembebanan gempa pada model-model struktur akan diberikan dengan analisa respon ragam spektrum, agar distribusi gaya gempa lebih menggambarkan perilaku struktur yang sebenarnya. Selanjutnya hasil analisa beban gempa akan dievaluasi sampai dengan mendapatkan lebar efektif yang cukup akurat dan selanjutnya dilakukan perumusan lebar efektif praktis. Adapun diagram alir metodologi penelitian ini dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.2. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur BHS dibagi menjadi dua bagian, yaitu pemodelan struktur 3 dimensi dan struktur 2 dimensi. Untuk struktur 3 dimensi akan memiliki variabel bebas dari lebar *solid area* (lihat gambar 3.2) yang bervariasi antara  $0.0L_2$ ,  $0.2L_2$ , dan  $0.4L_2$ , sedangkan  $L_2$  merupakan lebar bentang tegak lurus arah gaya lateral. Untuk struktur 2 dimensi akan diberikan lebar efektif coba-coba (*trial error*) yang bervariasi antara  $0.1L_2$ ,  $0.15L_2$ ,  $0.2L_2$ ,  $0.25L_2$ ,  $0.3L_2$ ,  $0.35L_2$ ,  $0.4L_2$ ,  $0.45L_2$ ,  $0.5L_2$  dan ditumpu oleh kolom konvensional sebagai rangkanya. Struktur 3 dimensi dan 2 dimensi nantinya akan dikomparasikan berdasarkan nilai *lateral drift* nya dalam rangka untuk mendapatkan nilai lebar efektif paling mendekati. Untuk geometri rongga peneliti menggunakan produk dari U-Boot beton. Variabel bebas dari *hollow area* yang digunakan adalah tebal selimut rongga ( $s$ ), tebal rongga ( $H$ ), jarak tepi-tepi antar rongga ( $w$ ), sedangkan ukuran lebar rongga menyesuaikan bentuk modul dari U-Boot beton (lihat gambar 3.5).

Pemodelan *hollow area* dilakukan dengan mengekivalenkan kemampuan lentur antara pelat ber- *hollow* dengan pelat solid terbebani beban merata eksternal yang sama (berat sendiri = 0), hal tersebut dilakukan karena sangat sulit

memodelkan sistem BHS secara langsung, karena akan terbentuknya *meshing* yang tidak seragam, oleh karena itu diberikan alternatif dengan cara membuat beberapa model pelat sesuai jumlah variasi geometri parameter *hollow area* (lihat Tabel 3.2 dan Gambar 3.2), kemudian untuk masing-masing tipe variasi *hollow area* ditentukan lendutan pada tengah panel terhadap model *solid slab* sebagai target reduksi kekakuan lentur.

Dilihat dari banyaknya variasi parameter, maka jumlah model struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah adalah 648 model. Ukuran *meshing* yang digunakan dalam pemodelan ini adalah seragam 0.8 meter (Gambar 3.6) pada seluruh area pelat serta ukuran yang sama dengan seluruh model struktur yang dibuat dengan alasan karena keseragaman ukuran *meshing* sangat sensitif terhadap reabilitas hasil analisa struktur berbasis *Finite Element Method* (Hwang & Moehle, 2000).

Tabel 3.1 Data geometri pemodelan struktur BHS (bentang & dimensi kolom)

Arah Frame	Struktur	Panjang Bentang (cm)			Dimensi Kolom (cm)	
		L1	L2	L1/L2	c1	c2
Frame arah X	S1	800	800	1.00	80	80
	S2	800	800	1.00	120	80
	S3	800	800	1.00	160	80
	S4	1200	800	1.50	80	80
	S5	1200	800	1.50	120	80
	S6	1200	800	1.50	160	80
	S7	1200	800	1.50	80	120
	S8	1200	800	1.50	80	160
Frame arah Y	S1	800	800	1.00	80	80
	S2	800	800	1.00	80	120
	S3	800	800	1.00	80	160
	S4	800	1200	0.67	80	80
	S5	800	1200	0.67	80	120
	S6	800	1200	0.67	80	160
	S7	800	1200	0.67	120	80
	S8	800	1200	0.67	160	80

Keterangan :

$L_1$  : bentang arah sejajar column strip tinjau

$L_2$  : bentang arah tegak lurus column strip tinjau

$c_1$  : lebar kolom arah sejajar column strip tinjau

$c_2$  : lebar kolom arah tegak lurus column strip

Ukuran bentang dan dimensi kolom yang digunakan untuk model struktur dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1, yang mana bentang yang digunakan adalah mengikuti rasio  $L_1/L_2$  dari penelitian Hwang dan Moehle (2000) tentang



lebar efektif *flat plate* juga yaitu sebesar 0.67, 1.00, 1.50 yang terbagi menjadi arah-X dan arah-Y. Untuk pemilihan tinggi antar lantai peneliti menetapkan sebesar 3.70m, dengan tinggi antar lantai yang tergolong cukup tinggi tersebut menjadikan gaya dalam di daerah joint dari struktur *flat plate* dengan BHS yang dimodelkan menjadi lebih dominan, sehingga kontur gaya dalam menjadi lebih jelas. Untuk ukuran variasi lebar solid dan *hollow area* dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.2 Data *properties* pemodelan struktur BHS

$b_s$ (Lebar Solid)	Hollow Area					
	No	s (cm)	H (cm)	W (cm)	Tebal Total (cm)	$\emptyset$
	A1	5	20	12	30	0.748
	A2	5	20	16	30	0.770
	A3	5	20	20	30	0.789
	A4	5	25	12	35	0.692
	A5	5	25	16	35	0.719
	A6	5	25	20	35	0.740
	A7	5	30	12	40	0.645
	A8	5	30	16	40	0.674
	A9	5	30	20	40	0.698
	A10	7.5	20	12	35	0.816
	A11	7.5	20	16	35	0.833
	A12	7.5	20	20	35	0.846
0.0 L <sub>2</sub>	A13	7.5	25	12	40	0.769
0.2 L <sub>2</sub>	A14	7.5	25	16	40	0.789
0.4 L <sub>2</sub>	A15	7.5	25	20	40	0.805
	A16	7.5	30	12	45	0.726
	A17	7.5	30	16	45	0.749
	A18	7.5	30	20	45	0.767
	A19	10	20	12	40	0.850
	A20	10	20	16	40	0.863
	A21	10	20	20	40	0.873
	A22	10	25	12	45	0.811
	A23	10	25	16	45	0.827
	A24	10	25	20	45	0.839
	A25	10	30	12	50	0.773
	A26	10	30	16	50	0.792
	A27	10	30	20	50	0.806

Keterangan :

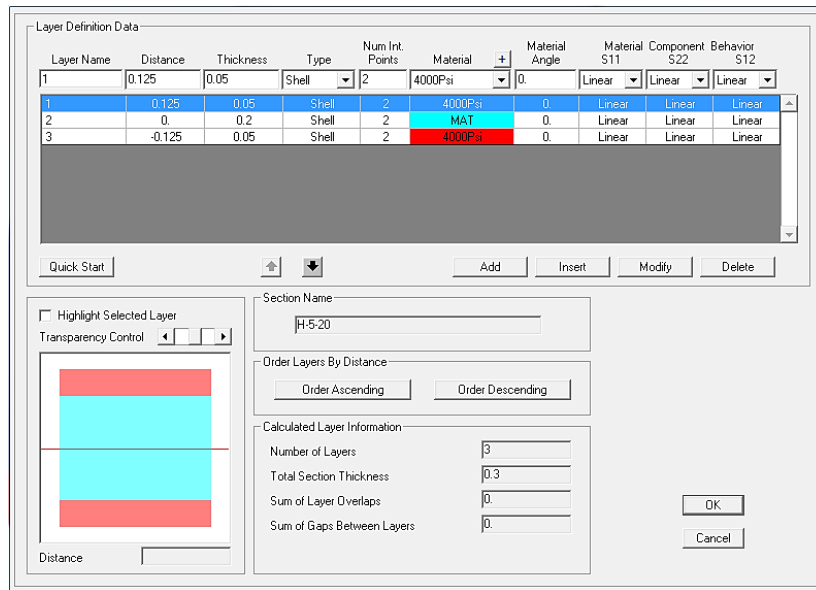
$b_s$  : lebar solid terhadap bentang tegak lurus column strip

s : selimut rongga (lihat Gambar 3.5 dan Tabel 3.6)

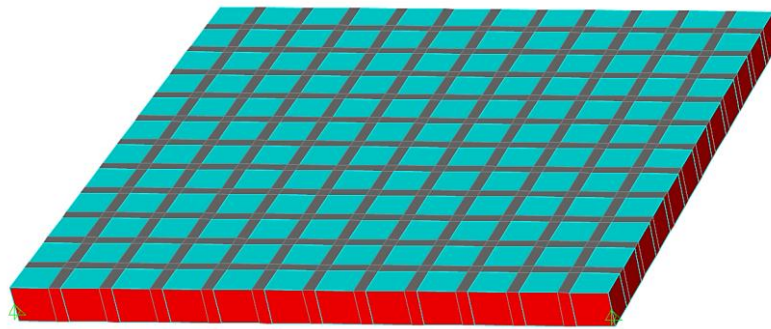
H : tinggi rongga (lihat Gambar 3.5 dan Tabel 3.6)

w : lebar balok rib (lihat Gambar 3.5 dan Tabel 3.6)

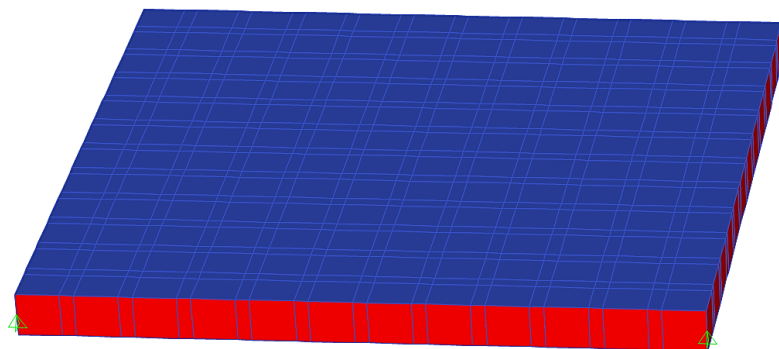
$\emptyset$  : reduksi kekakuan lentur pelat solid ekuivalen dengan BHS



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.2**

Model *finite element* untuk mencari reduksi kekakuan lentur *slab*  
 a) *define layer slab*; b) model BHS; c) model *solid slab*

Tabel 3.3 Data-data material, dan beban pada pemodelan struktur BHS

**Material:**

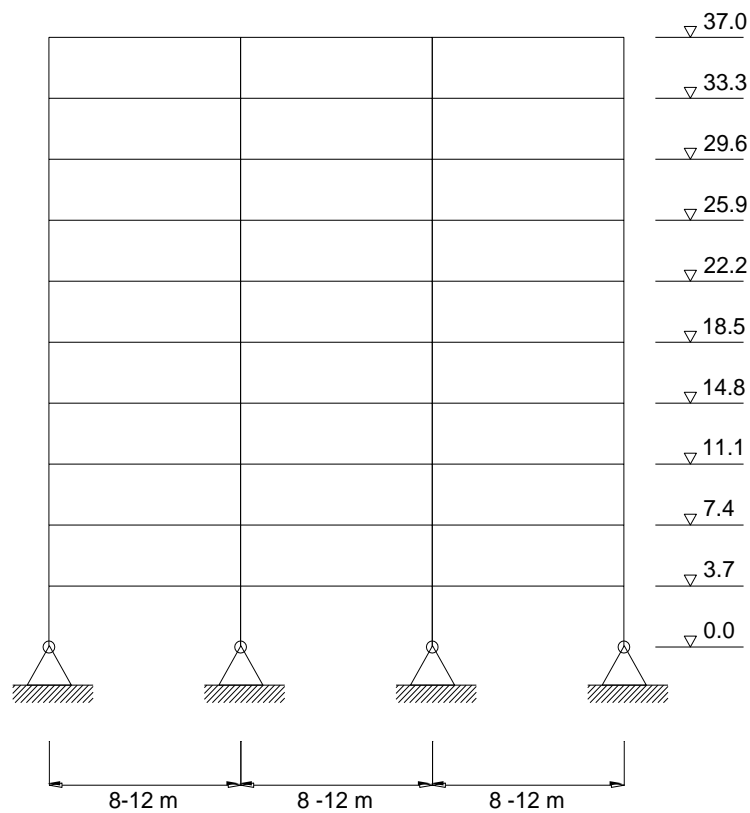
- Kuat tekan beton,  $f'_c = 30 \text{ Mpa}$
- Tegangan leleh baja,  $f_y = 400 \text{ Mpa}$
- Modulus elastisitas beton = 25800 Mpa
- Modulus elastisitas baja = 200000 Mpa
- *Poisson ratio* beton = 0.2
- *Poisson ratio* baja = 0.3

**Beban:**

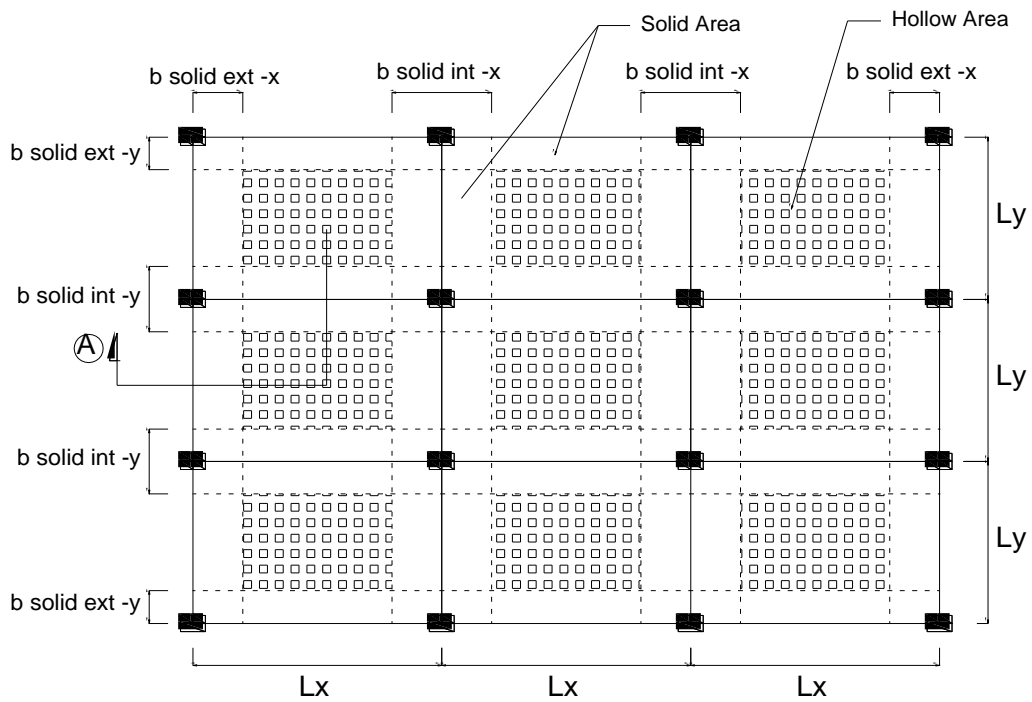
- LL = 4,0 kN/m<sup>2</sup>
- DL = berat sendiri  
+ beban mati tambahan (*superimposed*) 1,0 kN/m<sup>2</sup>

Desain beban gempa

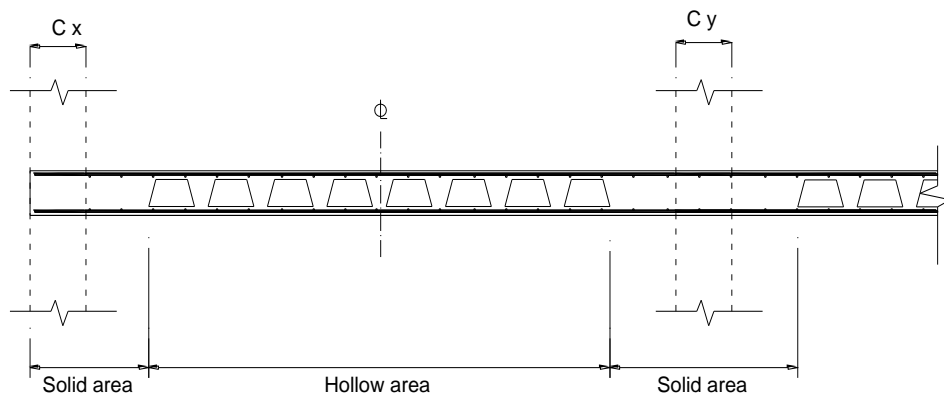
- Fungsi gedung : Gedung Pertemuan
- Kondisi tanah : Sedang
- Lokasi gedung : Banyuwangi (SNI 1726-2002 : zona gempa 4)



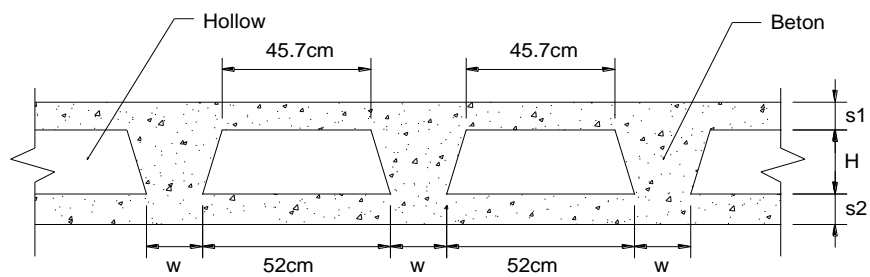
**Gambar 3.3** Elevasi Model Struktur



**Gambar 3.4 Denah Lantai**

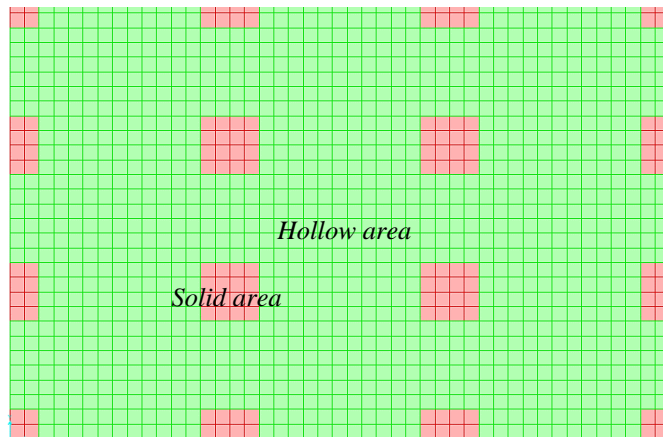


**Gambar 3.5 Potongan A**

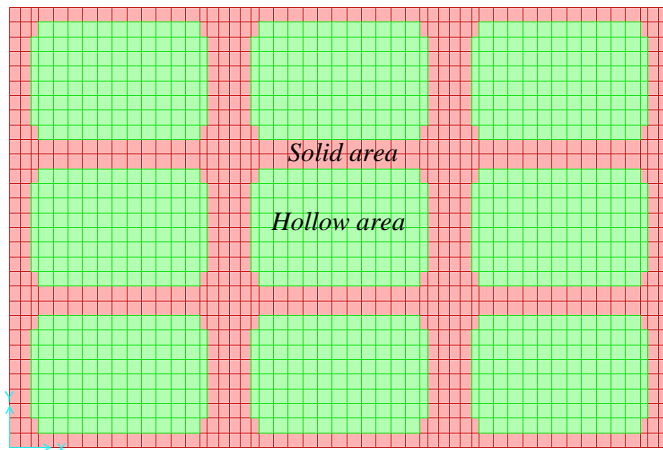


**Gambar 3.6**

Geometri rongga dan variabel pembentuknya



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.7**

Model *finite element* struktur *flat plate* dengan *hollow* dua-arah

a)  $b_{\text{solid}} : 0.0L_2$ ; b)  $b_{\text{solid}} : 0.2L_2$ ; c)  $b_{\text{solid}} : 0.4L_2$

Tabel 3.4 Variasi rongga yang digunakan dalam pemodelan

No	Lebar Solid (b s)	Variabel <i>hollow area</i>		
		S1 = S2 (cm)	H (cm)	W (cm)
1	0.2 L <sub>2</sub>	5	20	12
2	0.4 L <sub>2</sub>	7.5	25	16
3	0.6 L <sub>2</sub>	10	30	20

### 3.3. Pembebanan Lateral

Pembebanan gempa rencana dapat ditinjau dengan menggunakan analisa ragam respon spektrum yang sudah terskala dengan analisa statik ekuivalen. Adapun wilayah gempa yang digunakan adalah wilayah Kota Banyuwangi dan untuk grafik respon spektrum dari kota tersebut diperoleh dari software yang sudah tersedia secara online ([http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain spektra indonesia 2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain%20spektra%20indonesia%202011/)).

### 3.4. Analisis Struktur

Pada tahap ini dilakukan analisis struktur terhadap model yang sudah dibentuk dengan bantuan analisis *finite element* (SAP2000) untuk mendapatkan *structure deflection* dan gaya-gaya dalam. Untuk membandingkan lebar efektif pelat ( $b_{ef}$ ) struktur BHS dengan struktur *flat plate* konvensional analisis struktur BHS yang digunakan adalah analisis kondisi elastis, hal ini dilakukan karena beberapa perumusan untuk menentukan lebar efektif pelat ( $b_{ef}$ ) struktur *flat plate* konvensional yang diusulkan beberapa peneliti sebelumnya, diantaranya Banchik dalam Hemawan (2009), Hwang (2000), dan Hemawan (2009) menggunakan analisis elastis. Analisis gempa yang digunakan adalah dengan analisa ragam spektrum struktur secara 3-dimensi, kemudian gaya gempa dasar struktur atau *structure base shear* didistribusikan secara proporsional untuk masing-masing frame, baik *exterior frame* maupun *interior frame*, selanjutnya struktur dianalisa secara 2-dimensi.

### 3.5. Hasil Analisis

Pada tahap ini hasil analisa berupa *structure deflection* dan gaya-gaya dalam akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik per masing-masing model struktur agar lebih mudah menggambarkan secara jelas kepada pembaca dan memudahkan dalam tahapan evaluasi selanjutnya.

### 3.6. Evaluasi Lebar Efektif Pelat

Pada tahap ini akan dilakukan pencarian nilai lebar efektif untuk masing-masing model struktur yang dikelompokkan antara *interior frame* dan *exterior frame* agar memudahkan perumusan nantinya. Selanjutnya akan dibandingkan *lateral deflection* dari analisa 3-dimensi dengan analisa 2-dimensi.

### 3.7. Studi Parameter Rumus Lebar Efektif Pelat

Setelah lebar efektif pelat untuk masing-masing model struktur sudah diperoleh yang terbagi menjadi *interior frame* dan *exterior frame*, kemudian data disusun per masing-masing bagian parameter diantaranya  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $b_{solid}$ ,  $s$ ,  $H$ , dan  $w$ , lalu masing-masing parameter akan di uji tingkat korelasinya terhadap lebar efektif pelat ( $b_{ef}$ ). Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel penulis memberikan kriteria sebagai berikut (Sarwono, 2006, hal: 150):

0	: Tidak ada korelasi antara dua variabel
0 – 0,25	: Korelasi sangat lemah
0,25 – 0,5	: Korelasi cukup
0,5 – 0,75	: Korelasi kuat
0,75 – 0,99	: Korelasi sangat kuat
1	: Korelasi sempurna

Tahapan selanjutnya adalah menentukan parameter mayor, untuk parameter yang memiliki taraf signifikan tingkat korelasi dibawah 5% akan dieliminasi, dan parameter sisa yang dominan akan dianalisa menggunakan regresi linier berganda untuk didapatkan persamaan dari lebar efektif struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah dibawah beban gempa, dan persamaan ini dipisahkan antara *exterior frame* *interior* dan *frame*.

### 3.8. Kesimpulan

Setelah rumusan lebar efektif struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah dibawah beban lateral statik lulus tahap verifikasi, maka dapat di tarik beberapa kesimpulan dan mengusulkan hal-hal penting yang belum bisa dilaksanakan dalam penelitian ini.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Analisa Struktur

Berdasarkan studi terhadap perumusan lebar efektif struktur *flat plate* dari hasil studi Allen & Darvall 1977, perumusan Banchik 1987, Hwang 2000, Dovich & Wight 2005, dan Hemawan 2006 dapat disimpulkan beberapa parameter utama yang mempengaruhi perumusan lebar efektif pelat yaitu: panjang bentang (L1 dan L2) dan dimensi kolom (c1 dan c2). Berdasarkan hasil studi lebar efektif pelat untuk struktur *flat slab* tersebut, maka parameter yang digunakan struktur *flat slab* dengan *hollow* dua arah memakai parameter-parameter yang ada pada rumusan lebar efektif usulan untuk struktur *flat slab* konvensional secara keseluruhan.

Secara garis besar model dalam ruang lingkup teknik sipil adalah suatu bentuk replika dari struktur, yang mencakup dimensi struktur, dimensi komponen struktur, material yang digunakan, dan hubungan dari masing-masing komponen struktur dan beban-beban yang bekerja. Tujuan dari pemodelan adalah untuk mendapatkan gambaran perilaku struktur termasuk gaya-gaya dalam dan deformasi yang terjadi, apabila struktur tersebut dikenai suatu beban. Cara menganalisa suatu model matematis dilihat dari sudut pandang bebannya dapat dibagi menjadi dua cara yaitu analisis statik (beban monoton) dan dinamik (beban bolak-balik). Sedangkan respon dari struktur yang diinginkan ada dua yaitu linier dan nonlinier.

Secara garis besar studi ini akan dilakukan dengan analisis 3-dimensi dan 2-dimensi dengan bantuan SAP2000, dan analisis yang dilakukan yaitu analisis linier dengan beban statis pada mode pertama ragam respon spektrum. Analisis statik linier dilakukan pada model 3-dimensi dan model 2-dimensi, dimana tujuan dari analisis ini untuk mengetahui dari perilaku struktur 3-dimensi dan 2-dimensi yaitu berupa simpangan yang terjadi akibat pembebanan beban lateral pada struktur tersebut, selanjutnya hasil simpangan antara keduanya tersebut dikomparasikan menggunakan interpolasi linier untuk mendapatkan lebar efektif yang ideal untuk struktur *flat plate* ber *hollow* dua arah.



#### 4.1.1. Hasil Analisa 3 – Dimensi

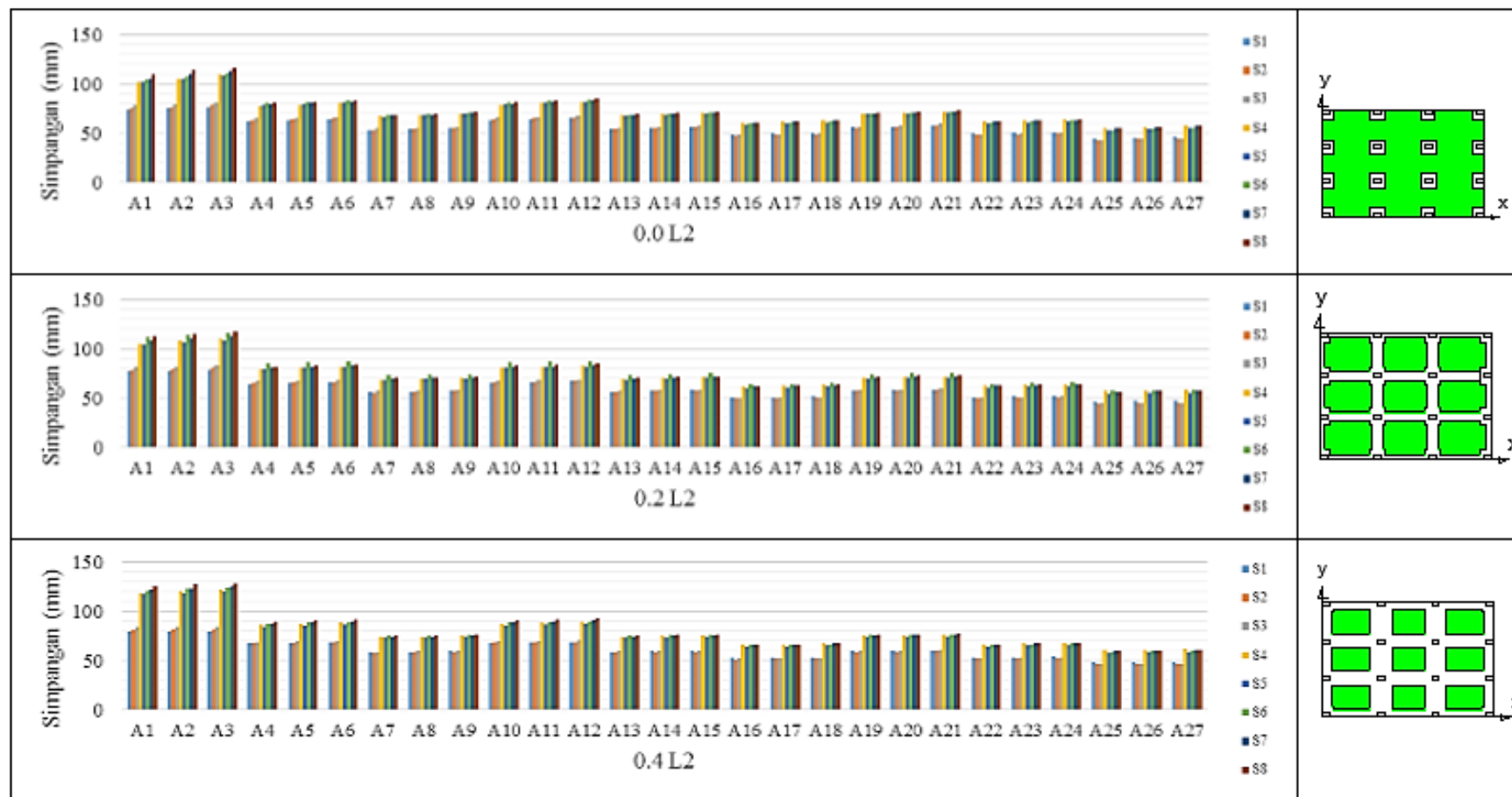
Analisis statik linier pada struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah dilakukan dengan menggunakan bantuan program SAP2000. Analisis pada SAP2000 dilakukan dengan memodelkan struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah ke bentuk 3-Dimensi. Setelah itu dilakukan input pembebanan statik yang bekerja akibat adanya beban gempa pada struktur, dimana besarnya beban gempa dapat dilihat di lampiran.

Cara mengetahui parameter yang mempengaruhi perumusan lebar efektif pelat akibat beban lateral pada struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah adalah dengan melihat simpangan dari setiap pemodelan akibat adanya beban gempa, *output* yang diharapkan dari analisis SAP2000 ini adalah simpangan yang terjadi pada rangka struktur. Melihat sangat kecilnya selisih simpangan antara *interior frame* dan *exterior frame* (lebih kecil dari 0.25mm), maka simpangan yang diambil hanya berdasarkan arah yakni arah-X dan arah-Y.

Berikut hasil *output* SAP2000 untuk simpangan yang terjadi pada setiap pemodelan 3-Dimensi dari struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah.

##### a. Simpangan Arah-X

Dengan memberi beban gempa pada struktur 3-Dimensi dihasilkan simpangan pada struktur untuk arah x dan dengan alasan lebih konservatif dari segi besaran lebar efektif maka simpangan yang dipakai berasal dari lantai-10 untuk masing-masing strukturnya yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.1 adalah (i) semakin besar  $b_{solid}$  maka akan membuat simpangan semakin besar di semua model struktur (S1 s/d S8) mulai dari A1 s/d A27, (ii) simpangan terbesar berada pada model struktur S8 - 0.4L<sub>2</sub> - A3 sebesar 128.63mm dan simpangan terkecil berada pada model struktur S2 - 0.0L<sub>2</sub> - A25 sebesar 42.67mm, (iii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur (S1 s/d S8) mulai dari A1 s/d A27, (iv) nilai rerata simpangan arah-X berdasarkan tebal pelat di semua model struktur adalah tebal 30cm = 101.12mm, tebal 35cm = 77.51mm, tebal 40cm = 66.57mm, tebal 45cm = 58.70mm, tebal 50cm = 52.79mm.



**Gambar 4.1**  
Grafik Simpangan Struktur 3-D untuk Arah-X



**Gambar 4.2**  
Grafik Simpangan Struktur 3-D untuk Arah-Y

### ***b. Simpangan Arah-Y***

Dengan memberi beban gempa pada struktur 3-Dimensi dihasilkan simpangan pada struktur untuk arah x dan dengan alasan lebih konservatif dari segi besaran lebar efektif maka simpangan yang dipakai berasal dari lantai-10 untuk masing-masing strukturnya yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.2 adalah (i) semakin besar  $b_{solid}$  maka akan membuat simpangan semakin besar untuk model struktur S1 s/d S3 mulai dari A1 s/d A27, sedangkan model struktur S4 s/d S8 tidak berlaku, hal ini diakibatkan pada jarak yang relatif kecil lebar  $b_{solid}$  akan memperkaku struktur sehingga dimungkinkan simpangan lebih kecil meski beban lebih besar, (ii) simpangan terbesar berada pada model struktur S6 -  $0.2L_2$  - A3 sebesar 123.59mm dan simpangan terkecil berada pada model struktur S2 -  $0.0L_2$  - A25 sebesar 44.15mm, (iii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur (S1 s/d S8) mulai dari A1 s/d A27, (iv) nilai rerata simpangan arah-Y berdasarkan tebal pelat di semua model struktur adalah tebal 30cm = 66.93, tebal 35cm = 63.73mm, tebal 40cm = 58.50mm, tebal 45cm = 48.74mm, tebal 50cm = 35.63mm.

#### **4.1.2. Hasil Analisa 2 – Dimensi**

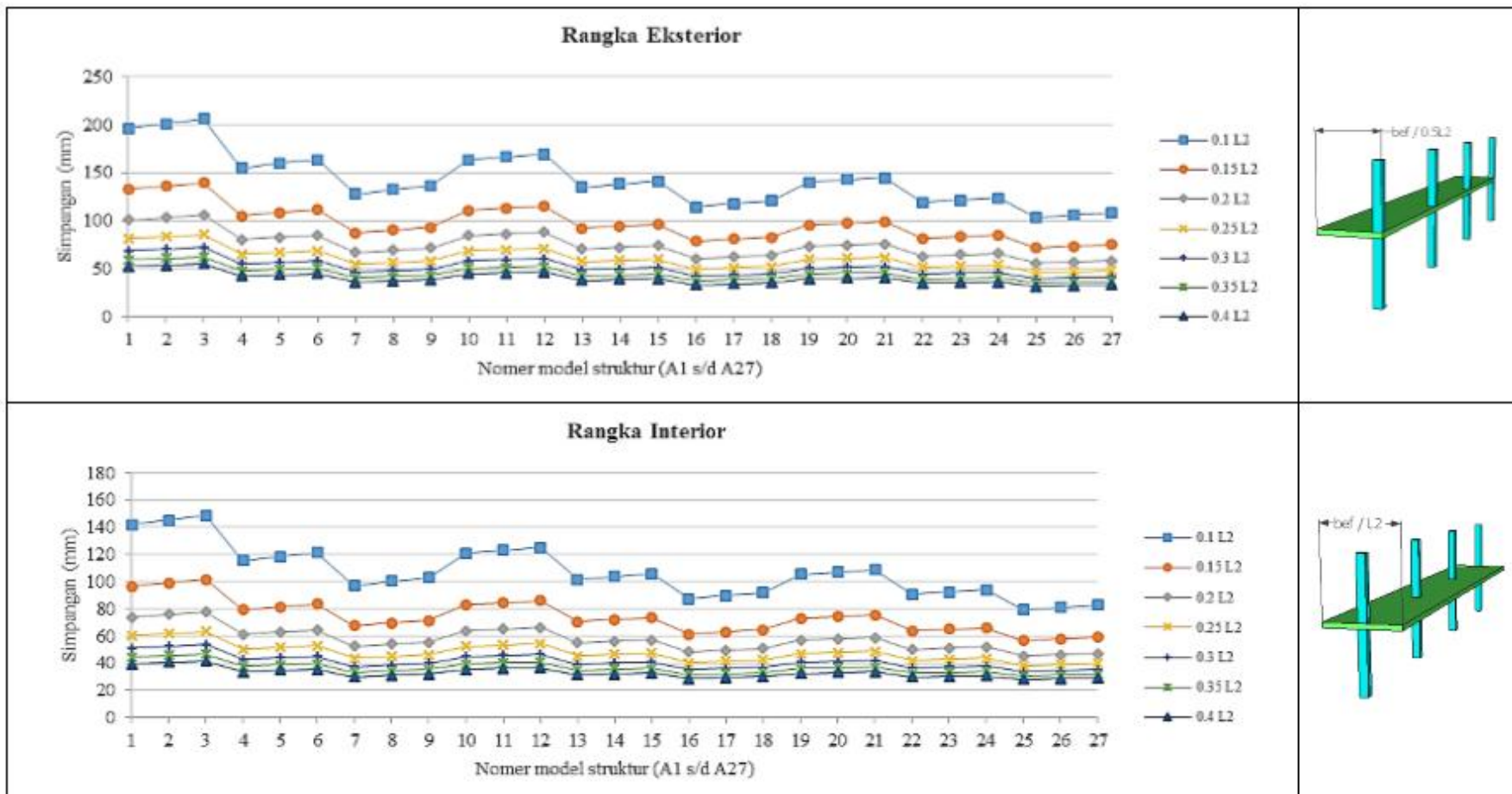
Analisa 2-dimensi dimodelkan dalam SAP2000 dalam pemodelan *frame*, dimana model 2-dimensi disini merupakan penerapan *effective beam width method*, dimana struktur 3-dimensi yang ada dimodelkan dalam rangka 2-dimensi yang terdiri dari lebar efektif pelat ( $b_{ef}$ ) dan kolom konvensional sebagai rangkanya. Untuk lebih jelasnya hasil analisa rangka 2-dimensi disajikan dalam bentuk grafik mengingat banyaknya data, sedangkan hasil analisa keseluruhan dalam bentuk tabel akan disajikan pada lampiran. Di dalam grafik yang ditampilkan tersebut sumbu-X merupakan variasi lebar efektif 2-dimensi dan sumbu-Y pada grafik merupakan simpangan. Perlu diketahui sama seperti 3-dimensi, hasil simpangan untuk struktur 2-dimensi juga diambil berdasarkan asas konservatif yaitu lantai 10, dikarenakan prediksi lebar efektif pelat lebih besar akan berada di lantai teratas.

Cara mengetahui parameter yang mempengaruhi perumusan lebar efektif pelat akibat beban lateral pada struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah adalah dengan melihat simpangan dari setiap pemodelan akibat adanya beban gempa, *output* yang diharapkan dari analisis SAP2000 ini adalah simpangan yang terjadi pada rangka struktur. Melihat sangat kecilnya selisih simpangan antara *interior frame* dan *exterior frame* (lebih kecil dari 0.25mm), maka simpangan yang diambil hanya berdasarkan arah yakni arah-X dan arah-Y.

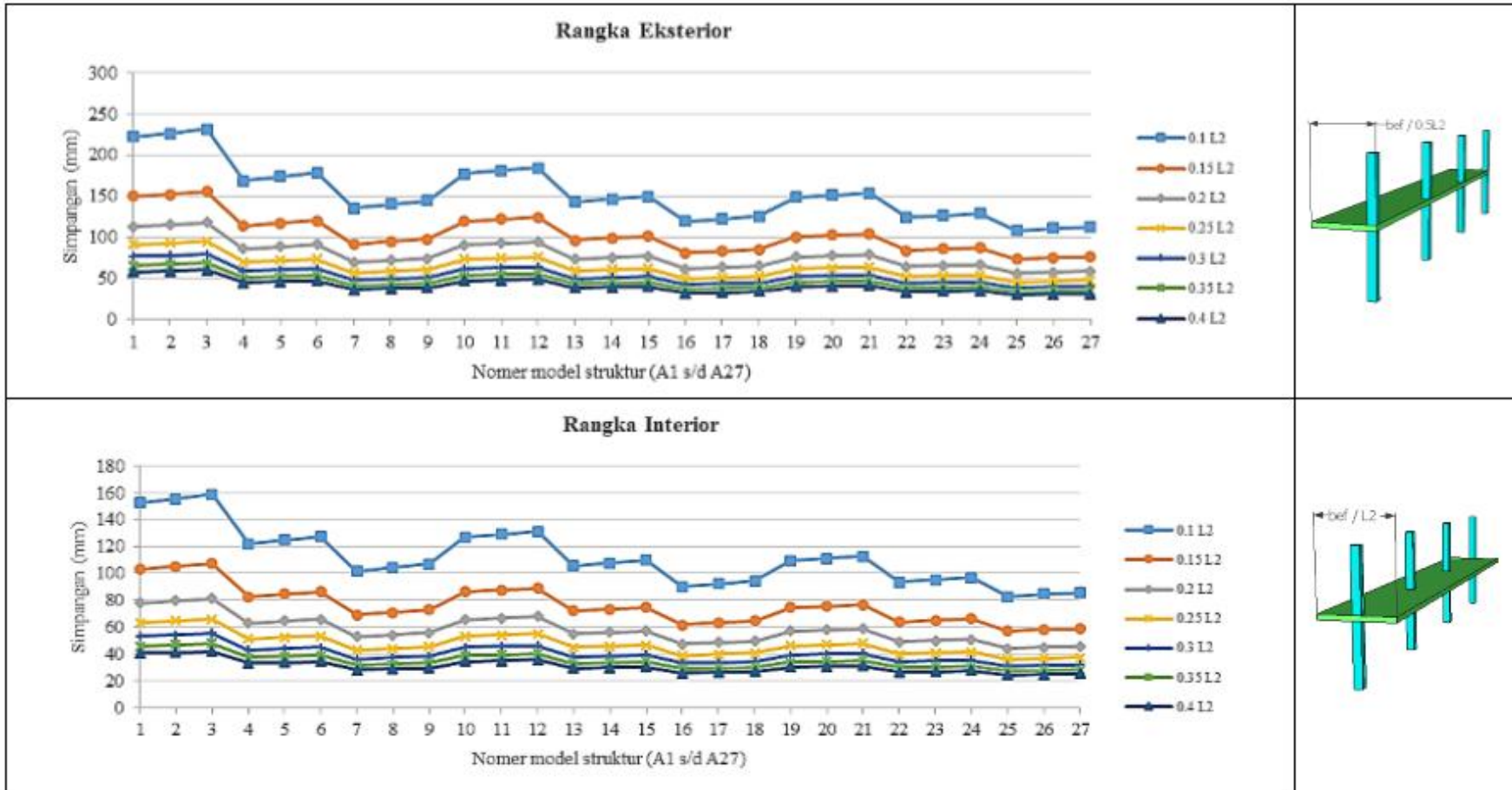
Berikut hasil *output* SAP2000 untuk simpangan yang terjadi pada setiap pemodelan 3-Dimensi dari struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah.

#### **a. Simpangan Arah-X**

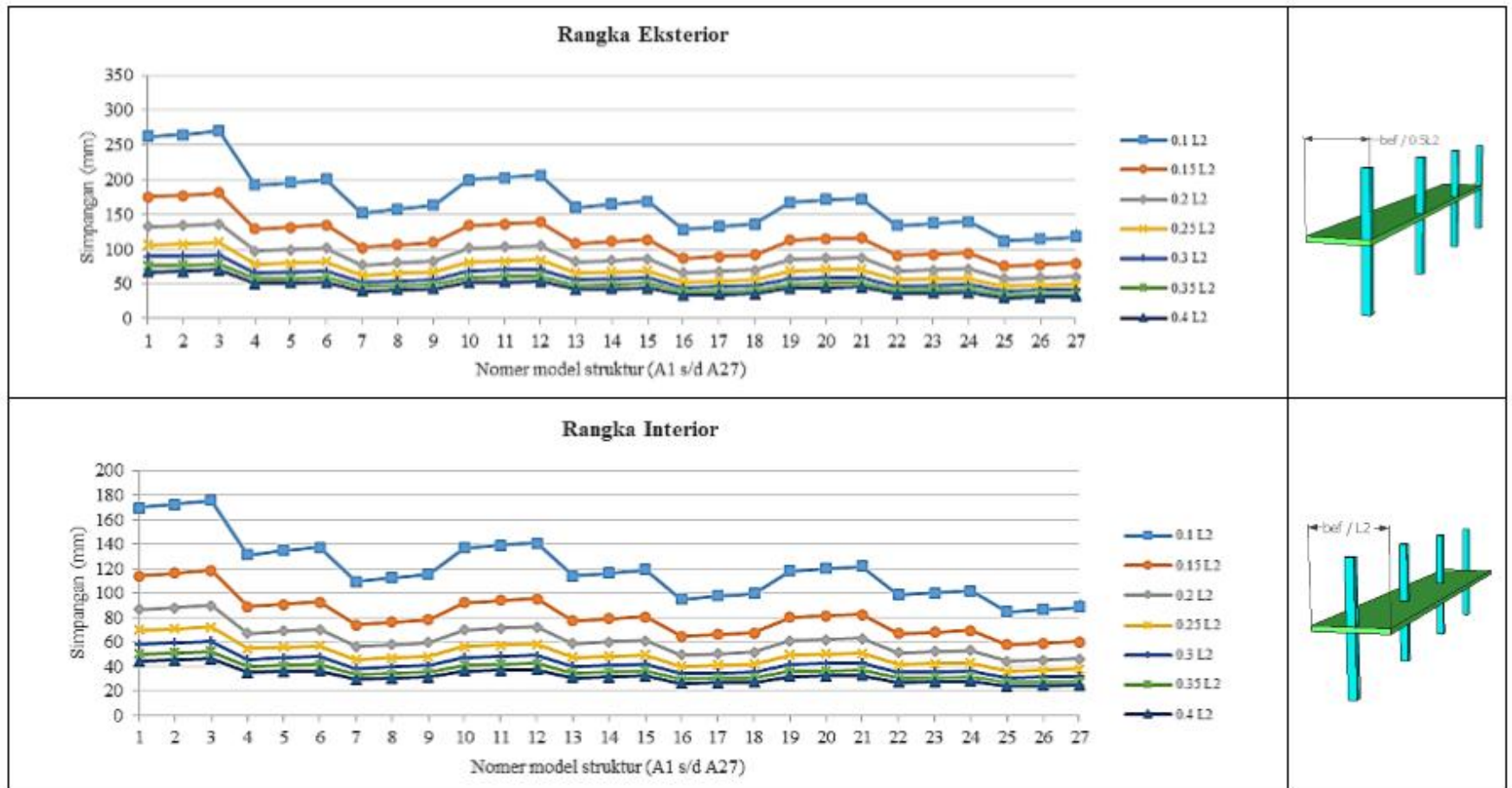
Dengan memberi beban gempa pada struktur 2-Dimensi dihasilkan simpangan pada struktur untuk arah-X dan dengan alasan lebih konservatif dari segi besaran lebar efektif maka simpangan yang dipakai berasal dari lantai-10 untuk masing-masing strukturnya yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 s/d Gambar 4.10. Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.3 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 31.78mm – 59.26mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 27.94mm – 44.14mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 103.39mm – 220.37mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 79.5mm – 157.73mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.



**Gambar 4.3**  
Grafik Simpangan Struktur S1-2-D untuk Arah-X



**Gambar 4.4**  
 Grafik Simpangan Struktur S2-2-D untuk Arah-X

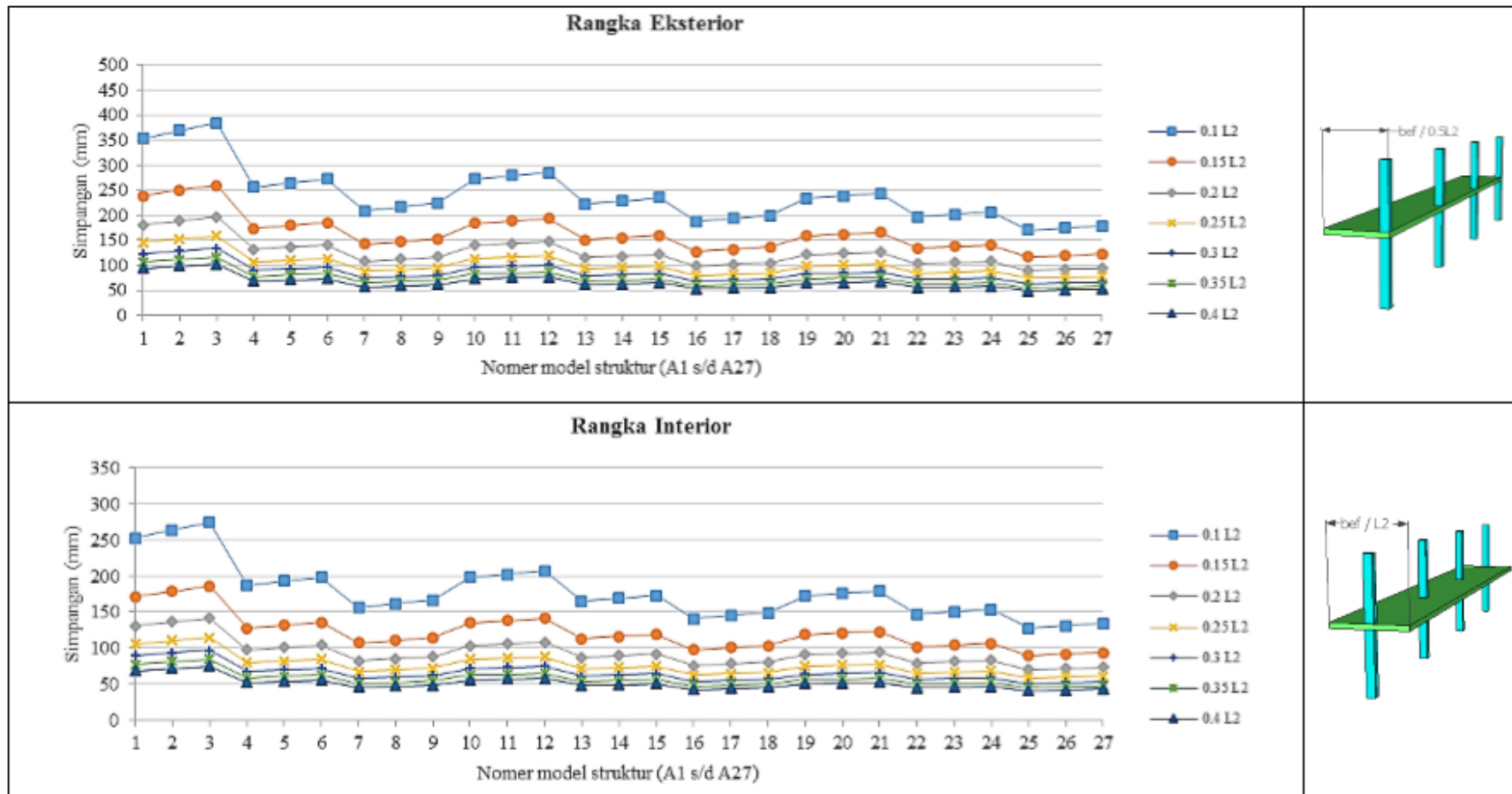


**Gambar 4.5**  
Grafik Simpangan Struktur S3-2-D untuk Arah-X

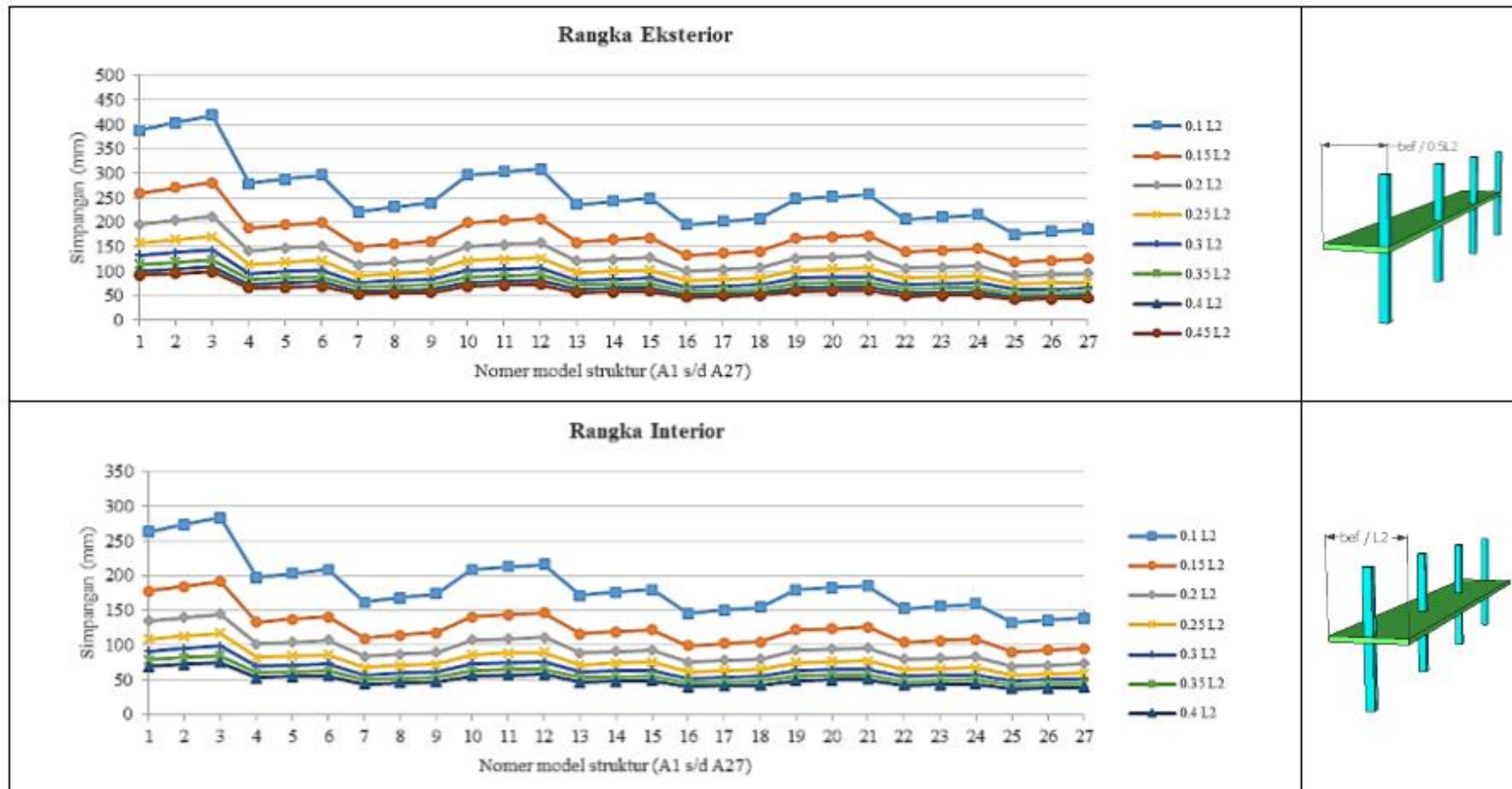


Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.4 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 29.88mm – 64.72mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 24.42mm – 44.92mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 107.77mm – 247.84mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 82.60mm – 168.72mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.5 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 30.05mm – 73.88mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 23.66mm – 48.55mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 111.80mm – 287.15mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 84.70mm – 185.72mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.



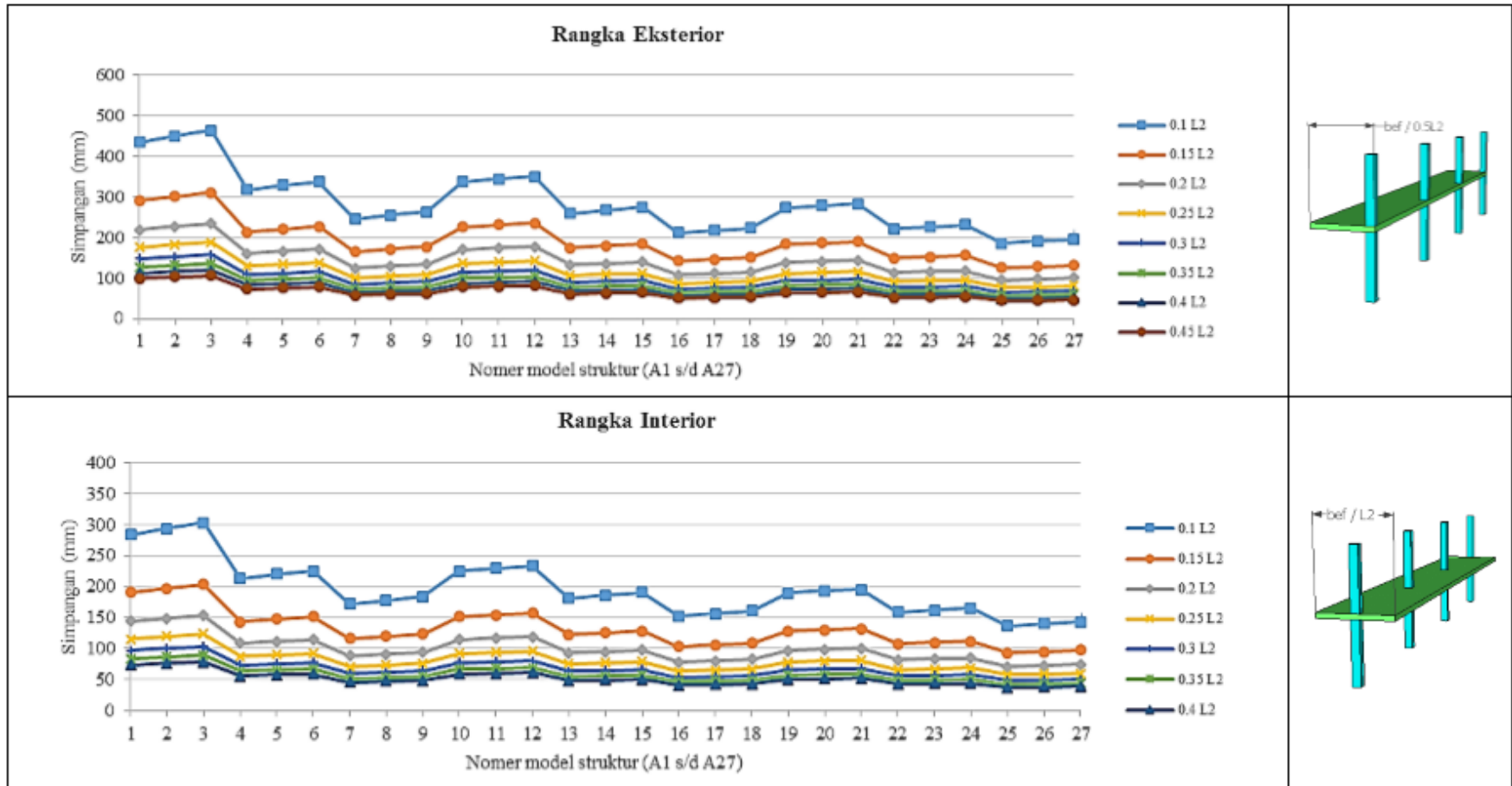
**Gambar 4.6**  
Grafik Simpangan Struktur S4-2-D untuk Arah-X



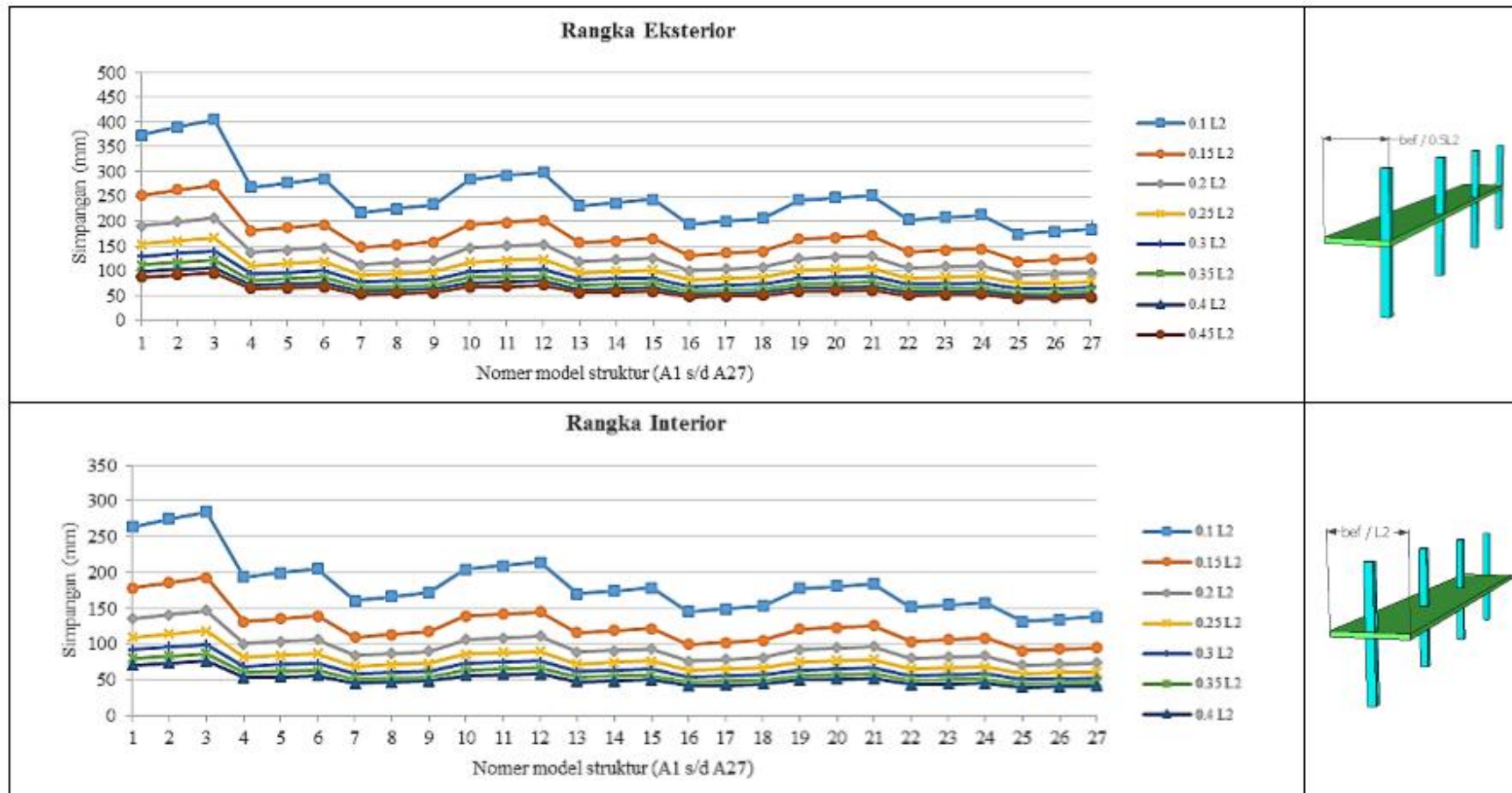
**Gambar 4.7**  
Grafik Simpangan Struktur S5-2-D untuk Arah-X

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.6 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 49.01mm – 116.13mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 40.70mm – 84.80mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 169.63mm – 439.02mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 127.80mm – 312.44mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.7 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.45L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 42.57mm – 109.02mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 36.95mm – 83.90mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 175.07mm – 472.77mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 131.94mm – 320.04mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.



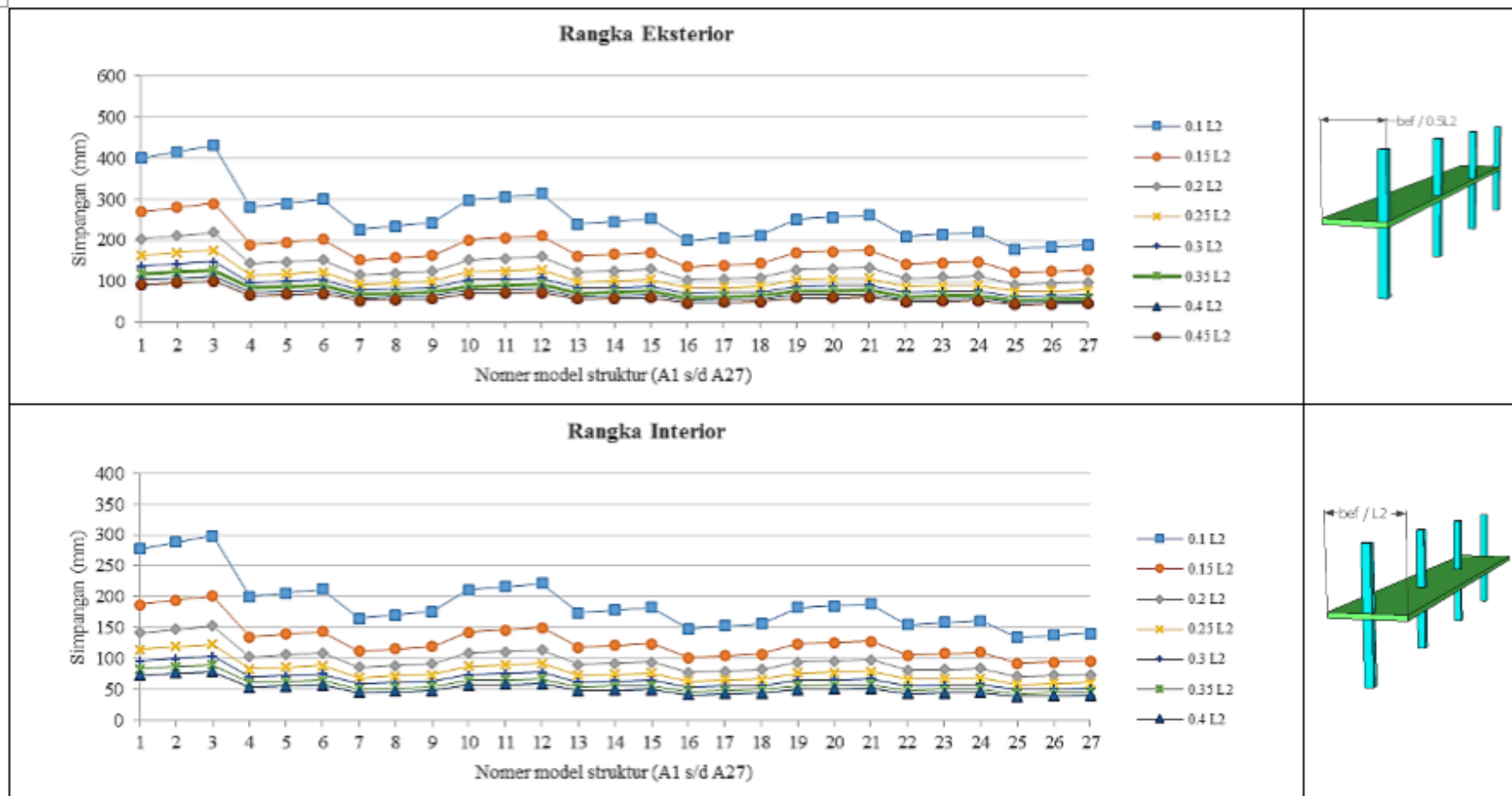
**Gambar 4.8**  
Grafik Simpangan Struktur S6-2-D untuk Arah-X



**Gambar 4.9**  
Grafik Simpangan Struktur S7-2-D untuk Arah-X

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.8 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 43.42mm – 112.32mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 36.79mm – 89.45mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 184.39mm – 538.11mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 136.47mm – 346.54mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.9 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.45L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 43.87mm – 108.88mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 39.21mm – 86.60mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 174.46mm – 465.09mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef}/L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 131.12mm – 324.52mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.



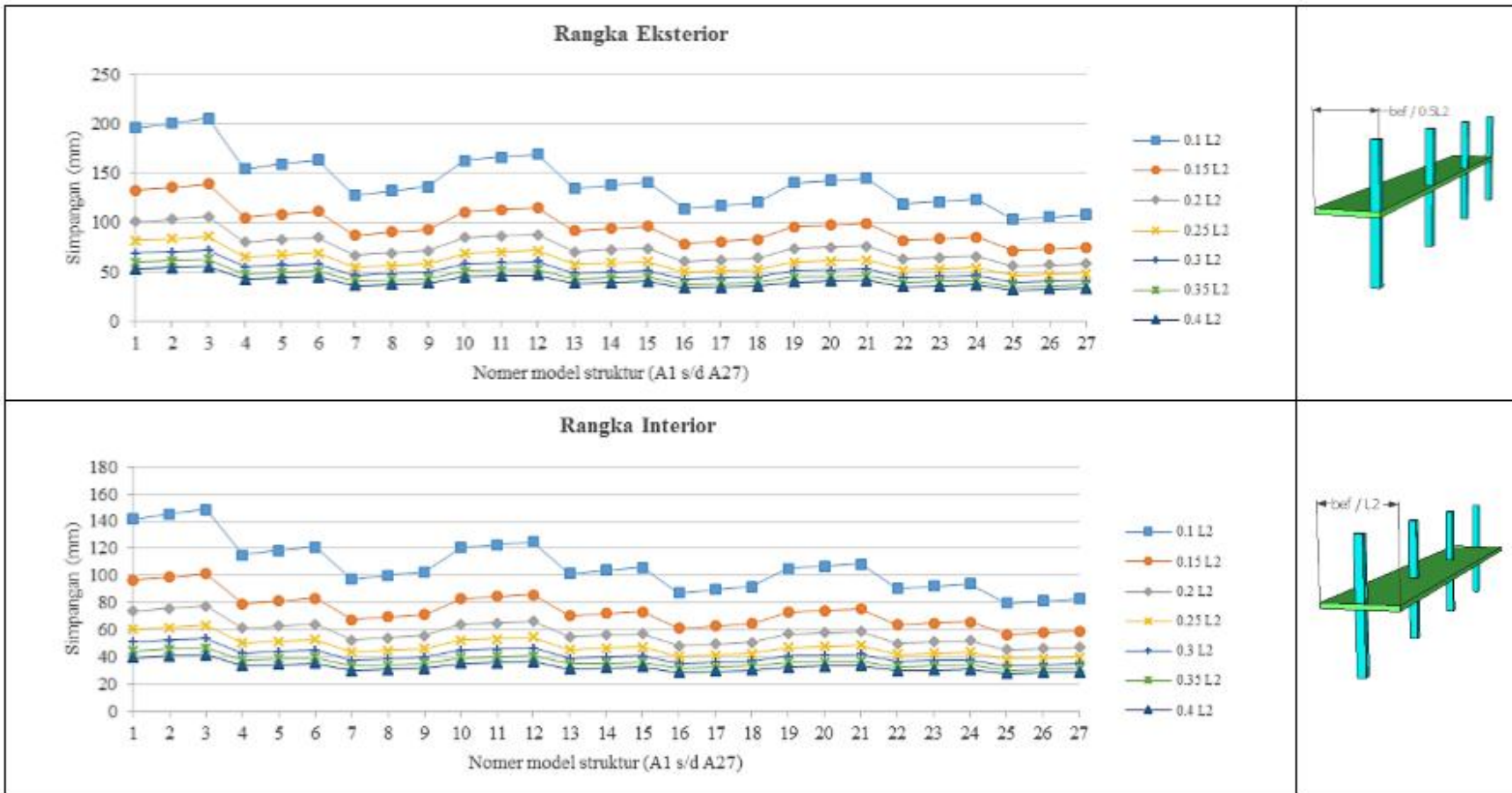
**Gambar 4.10**  
 Grafik Simpangan Struktur S8-2-D untuk Arah-X



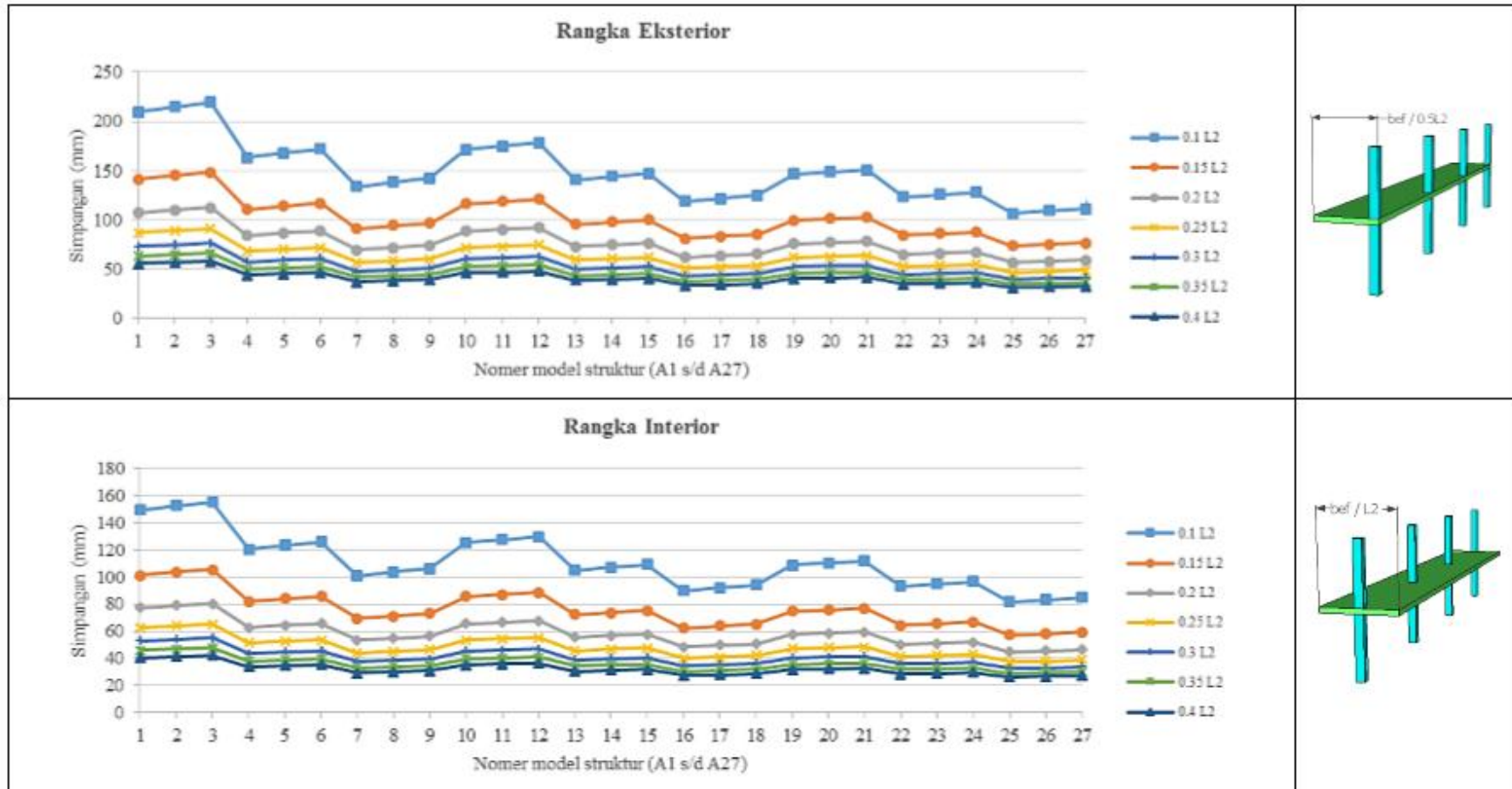
Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.10 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 44.13mm – 112.98mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 38.80mm – 88.72mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 179.32mm – 485.82mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 134.28mm – 335.42mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

#### ***b. Simpangan Arah-Y***

Dengan memberi beban gempa pada struktur 2-Dimensi dihasilkan simpangan pada struktur untuk arah-Y dan dengan alasan lebih konservatif dari segi besaran lebar efektif maka simpangan yang dipakai berasal dari lantai-10 untuk masing-masing strukturnya yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 s/d Gambar 4.18. Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.11 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 31.78mm – 59.26mm yang



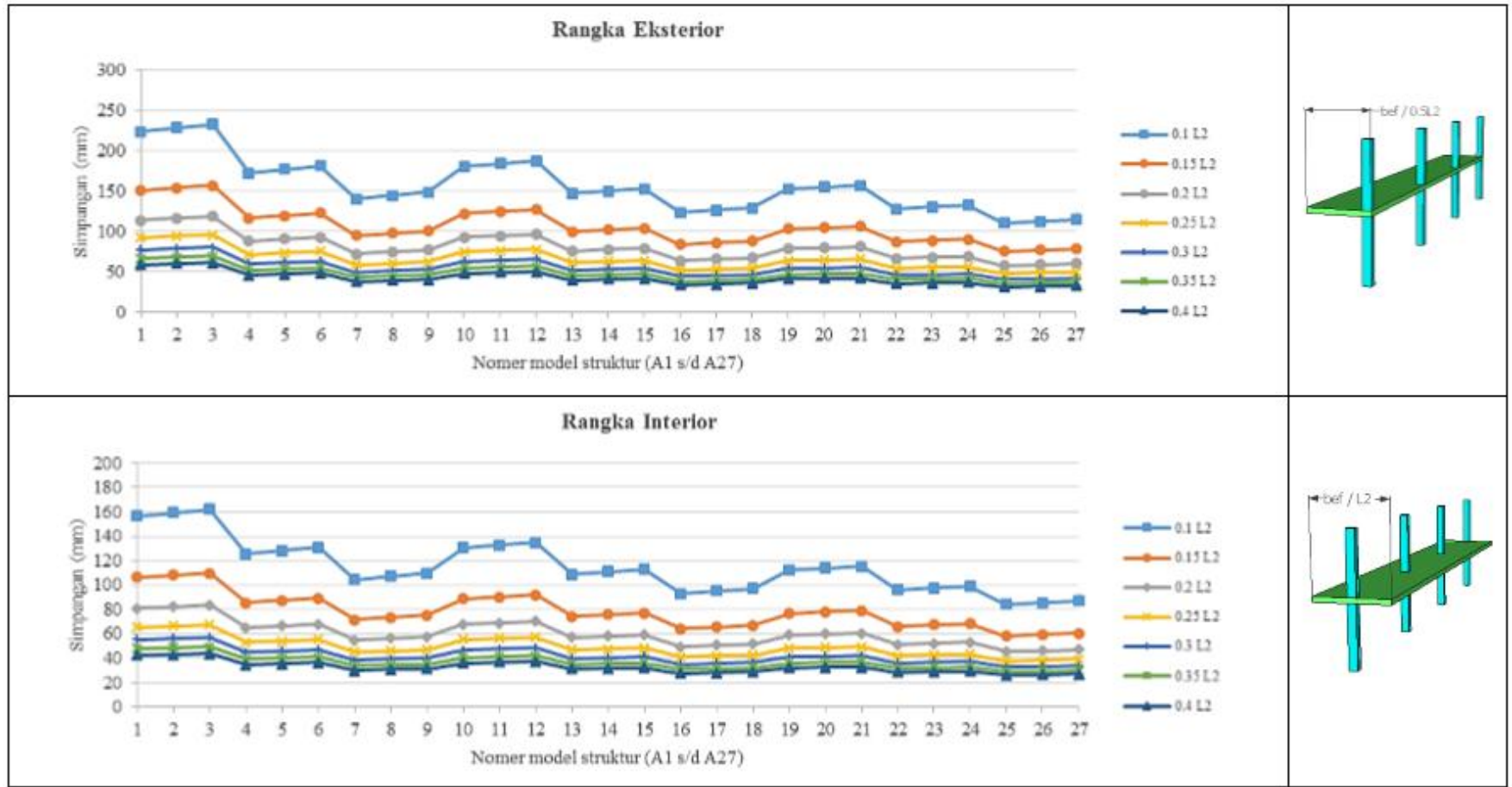
**Gambar 4.11**  
 Grafik Simpangan Struktur S1-2-D untuk Arah-Y



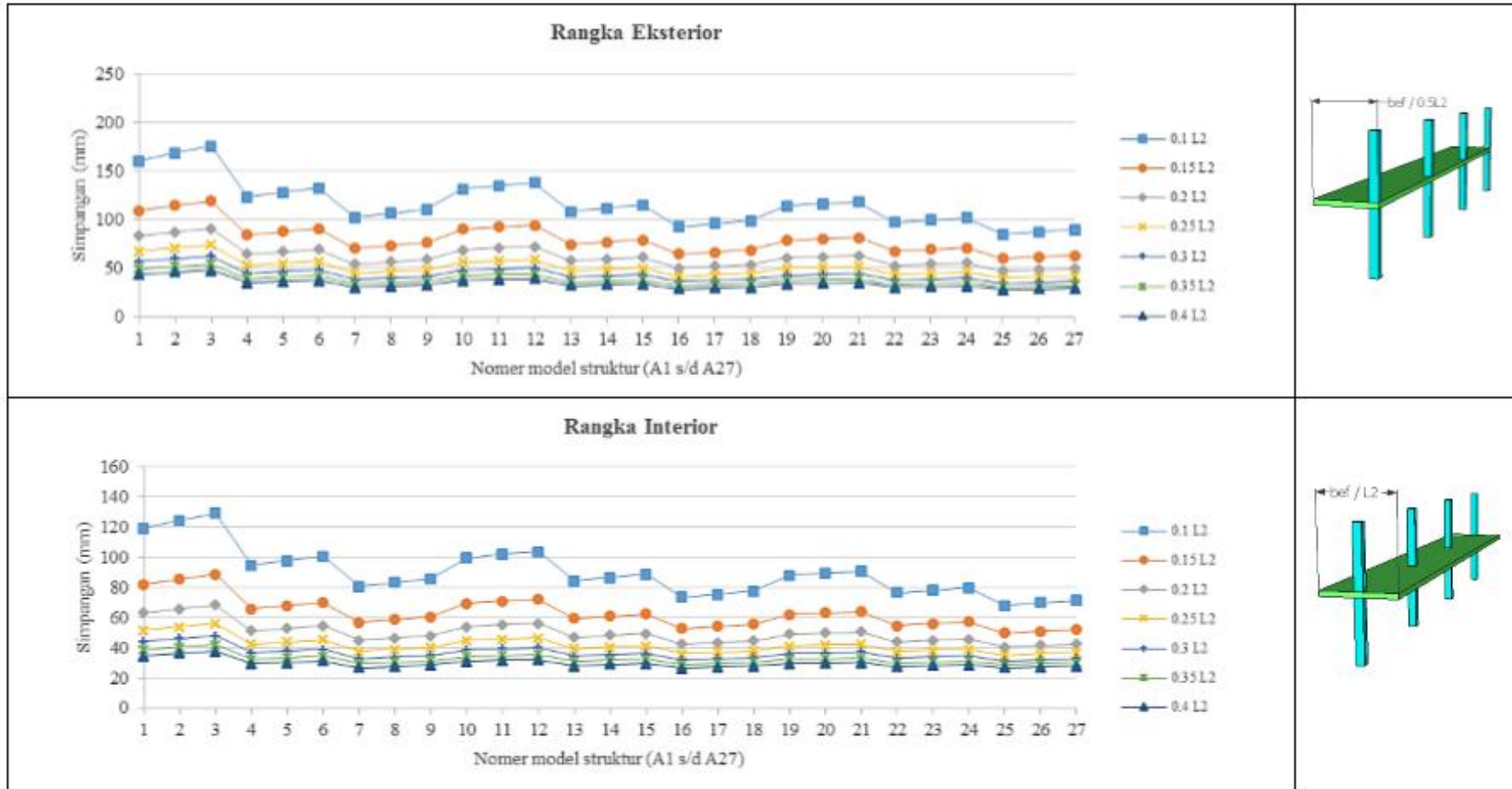
**Gambar 4.12**  
Grafik Simpangan Struktur S2-2-D untuk Arah-Y

seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 27.94mm – 44.14mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 103.39mm – 220.37mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 79.5mm – 157.73mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.12 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 31.10mm – 62.09mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 26.33mm – 44.83mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 106.74mm – 234.19mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 81.57mm – 164.46mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.



**Gambar 4.13**  
 Grafik Simpangan Struktur S3-2-D untuk Arah-Y

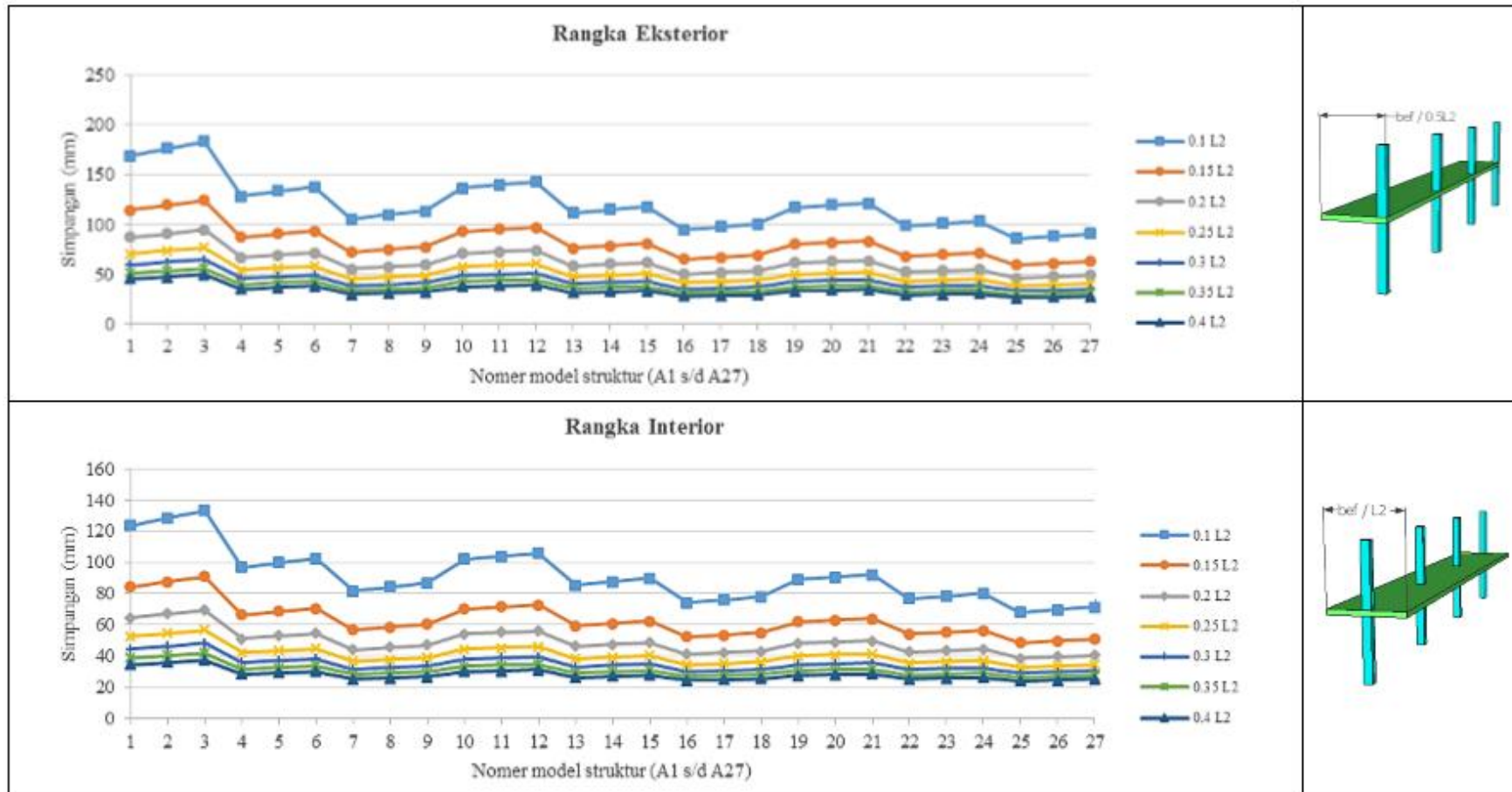


**Gambar 4.14**  
Grafik Simpangan Struktur S4-2-D untuk Arah-Y

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.13 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 31.22mm – 65.43mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 25.76mm – 46.25mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 110.26mm – 248.68mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 83.81mm – 171.97mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

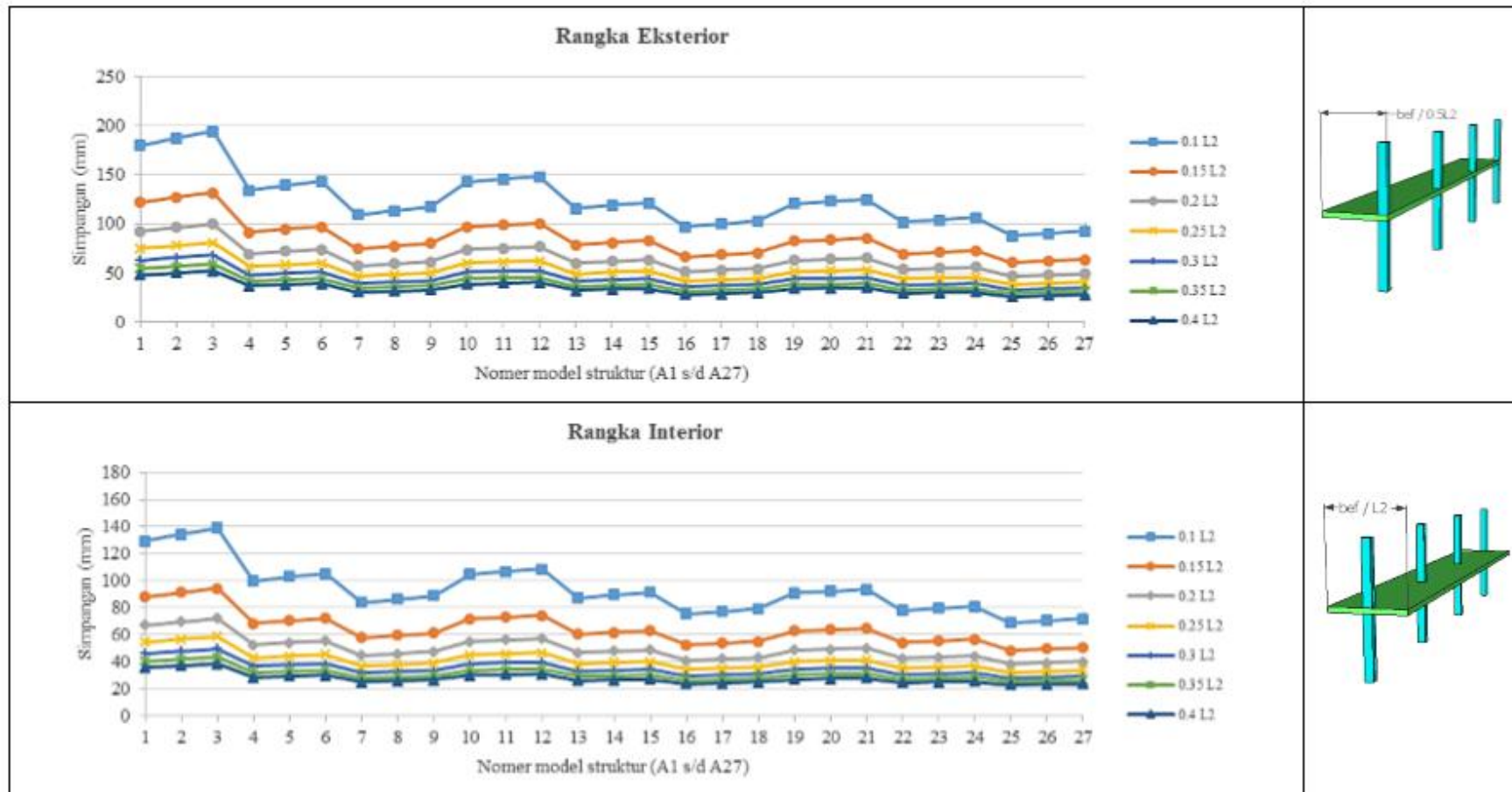
Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.14 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.45L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 28.07mm – 55.29mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 26.40mm – 42.74mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 85.02mm – 201.47mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 67.99mm – 147.05mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.





**Gambar 4.15**  
Grafik Simpangan Struktur S5-2-D untuk Arah-Y

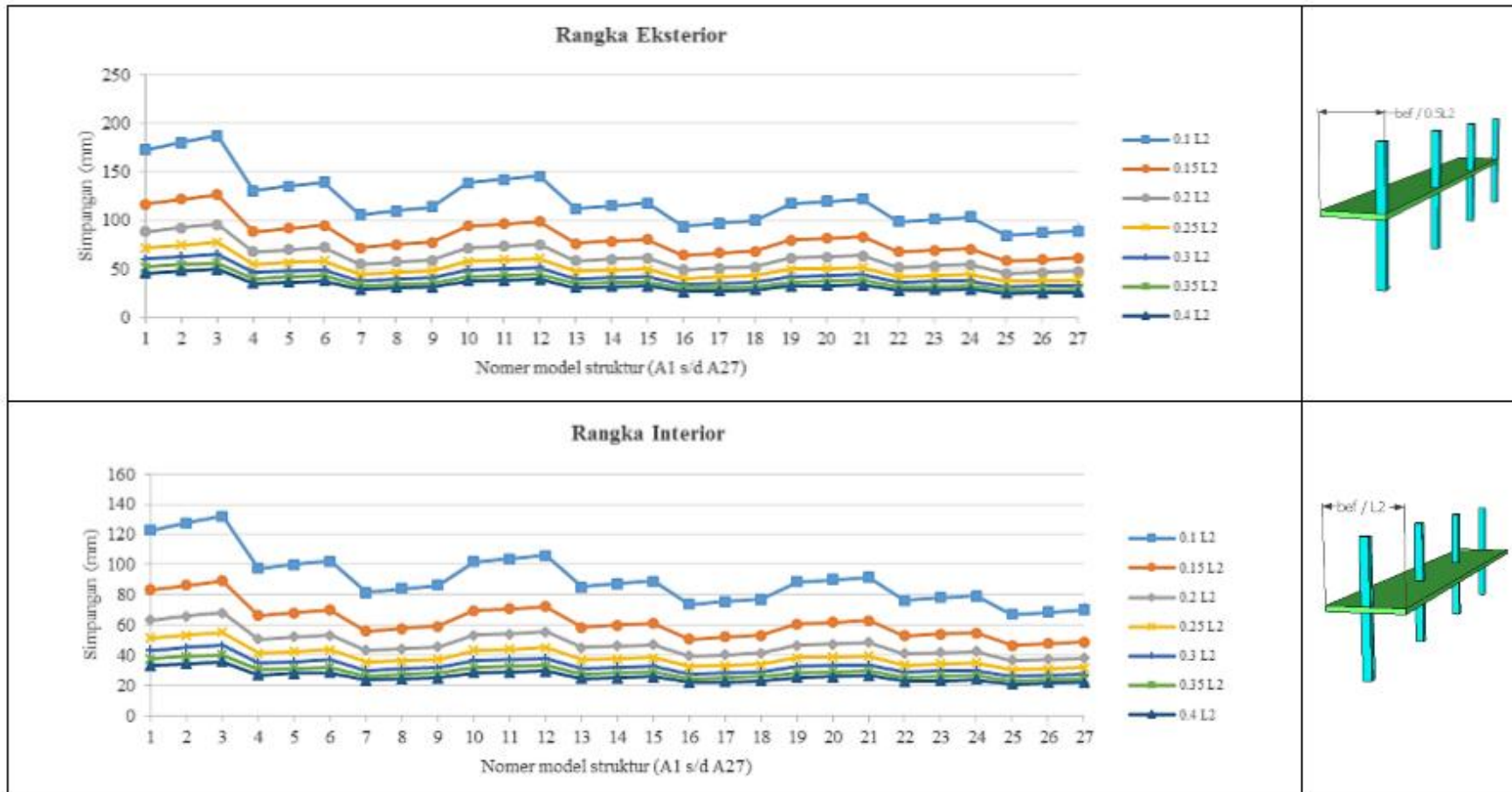




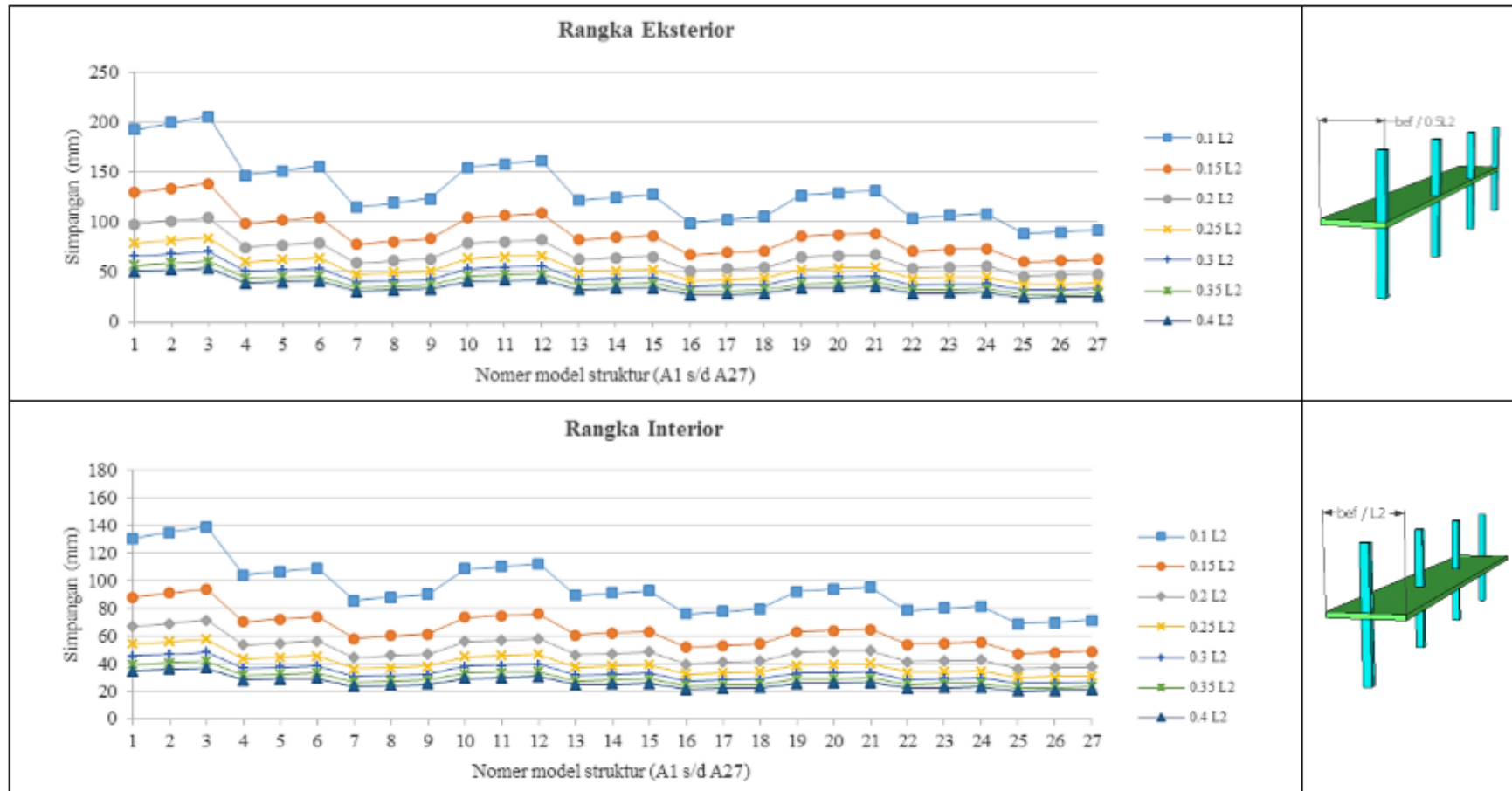
**Gambar 4.16**  
 Grafik Simpangan Struktur S6-2-D untuk Arah-Y

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.15 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 26.39mm – 56.75mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 23.85mm – 42.32mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 85.85mm – 211.03mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 67.84mm – 151.20mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.16 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.45L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 25.82mm – 58.45mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 22.53mm – 42.73mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 87.40mm – 219.66mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 68.24mm – 155.72mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.



**Gambar 4.17**  
Grafik Simpangan Struktur S7-2-D untuk Arah-Y



**Gambar 4.18**  
Grafik Simpangan Struktur S8-2-D untuk Arah-Y

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.17 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 24.19mm – 55.98mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 20.95mm – 40.14mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 84.41mm – 212.11mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 66.86mm – 148.33mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.18 adalah (i) semakin besar  $b_{ef}$  maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (ii) semakin besar tebal pelat maka akan membuat simpangan semakin kecil di semua model struktur mulai dari A1 s/d A27, (iii) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.45L_2/2$  (bef coba terlebar) sebesar 24.20mm – 59.41mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (iv) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.4L_2$  (bef coba terlebar) sebesar 19.65mm – 40.84mm yang seluruhnya berada dibawah nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (v) simpangan eksterior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 88.28mm – 228.91mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vi) simpangan interior untuk rasio  $b_{ef} / L_2 = 0.1L_2$  (bef coba terkecil) sebesar 67.90mm – 154.39mm yang seluruhnya berada diatas nilai simpangan struktur 3D untuk masing-masing model struktur, (vii) seluruh model struktur rentang nilai simpangan untuk interpolasi linier terhadap simpangan 3-D terpenuhi.

## 4.2. Penentuan Lebar Efektif Pelat

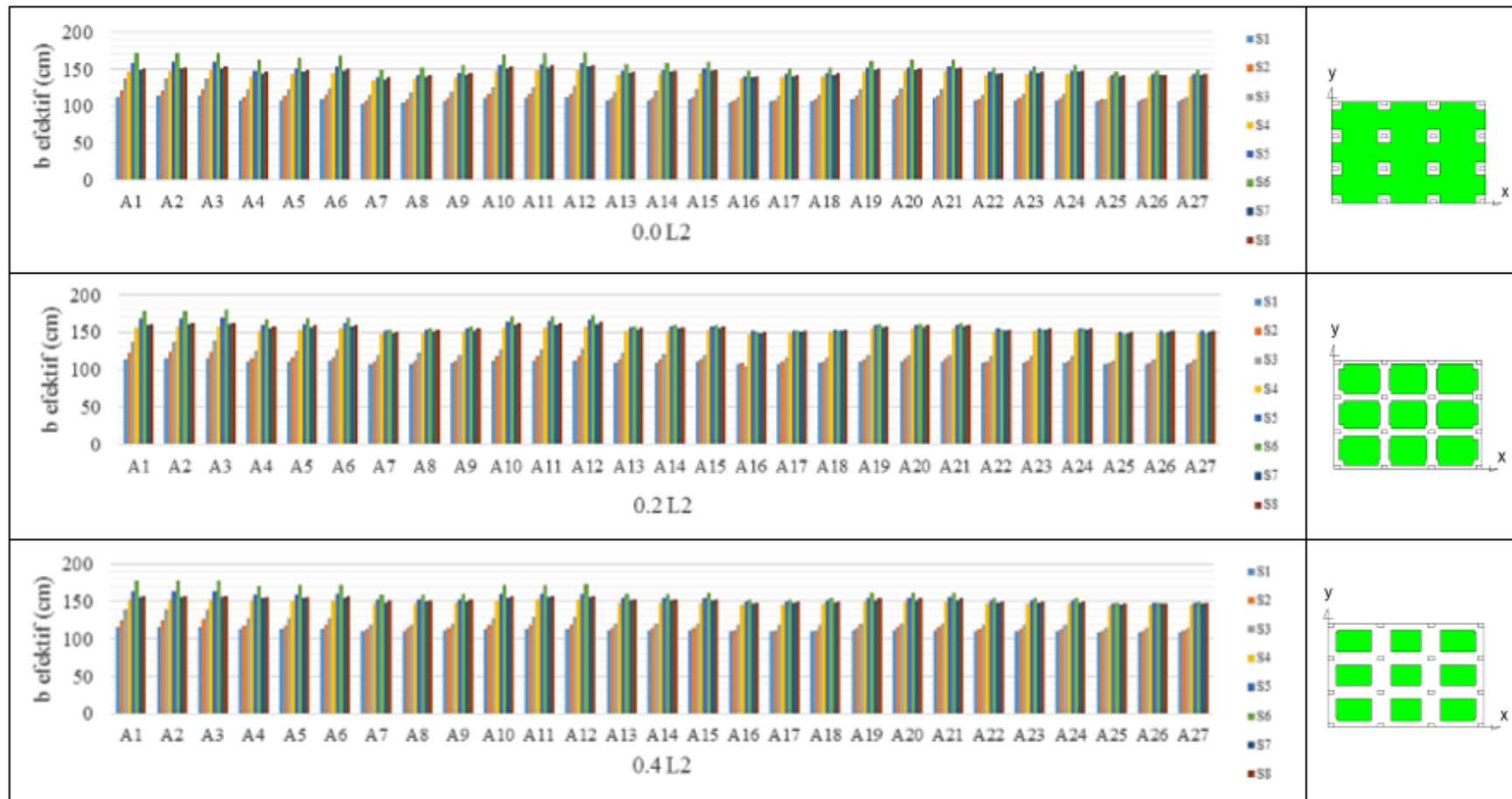
Penentuan lebar efektif pelat dilakukan dengan cara coba-coba (*trial and error*), dimana lebar efektif pelat difokuskan pada beberapa rasio dari panjang bentang sesuai kebutuhan sebagai berikut: (0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45)  $L_2$ .

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui besar dari lebar efektif pelat yang sesuai untuk rangka 2-dimensi terhadap rangka 3-dimensi. Kesesuaian dari besarnya lebar efektif pelat dapat diketahui dengan membandingkan simpangan rangka 2-dimensi dengan simpangan struktur 3-dimensi kemudian dilakukan interpolasi linier untuk mendapatkan lebar efektifnya, dimana dalam studi ini kita akan membandingkan simpangan yang terjadi akibat beban gempa (*lateral deflection*).

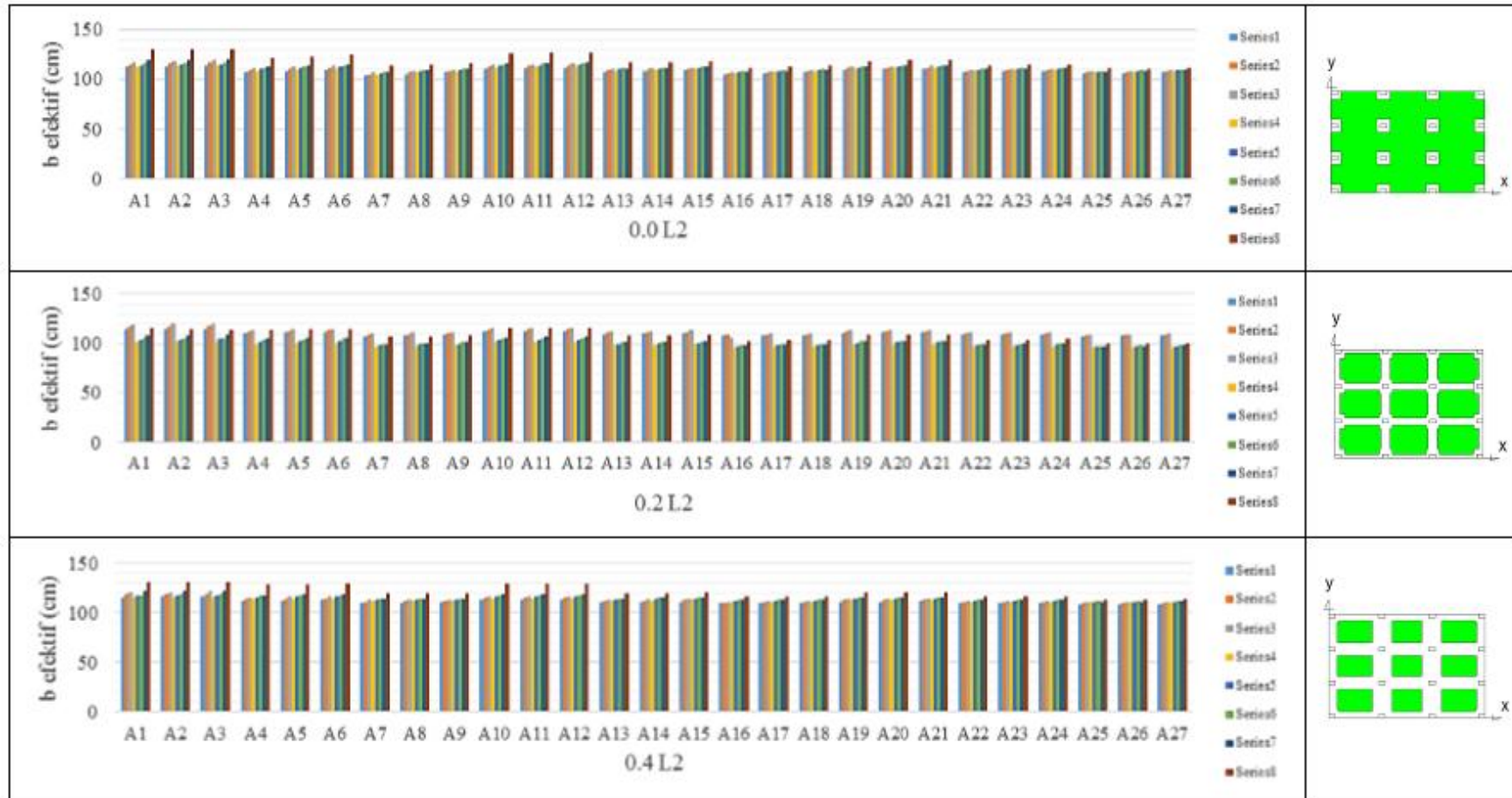
Untuk memenuhi syarat *range* dari interpolasi linier, maka pada hasil analisa 2-dimensi sebelumnya harus telah dipastikan memenuhi batas atas dan bawah nilai simpangan untuk analisa rangka 2-dimensi terhadap nilai simpangan pada analisa rangka struktur 3-dimensi. Berikut hasil analisis untuk lebar efektif yang terjadi pada setiap pemodelan dari struktur *flat plate ber-hollow* dua arah.

### a. Lebar Efektif *Exterior Frame*

Dengan melakukan interpolasi linier antara data simpangan analisa struktur 2-Dimensi terhadap struktur 3-Dimensi sebagai target, maka diperoleh lebar efektif untuk masing-masing model struktur yang terbagi menjadi *exterior frame* dan *interior frame*. Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.19 adalah (i) semakin besar  $c_1$  (lebar kolom tegak lurus arah beban) maka akan membuat  $b_{\text{efektif}}$  semakin besar di semua model struktur, (ii) semakin besar  $L_1$  (bentang sejajar arah beban) maka akan membuat  $b_{\text{efektif}}$  semakin besar di semua model struktur, (iii)  $b_{\text{efektif}}$  terbesar berada pada model struktur S6 -  $0.2L_2$  - A3 sebesar 179.28cm dan  $b_{\text{efektif}}$  terkecil berada pada model struktur S1 -  $0.0L_2$  - A7 sebesar 103.39cm, berarti terdapat *range* sebesar kurang lebih 76 cm, (iv) nilai rerata  $b_{\text{efektif}}$  arah-X *exterior frame* adalah 140cm.

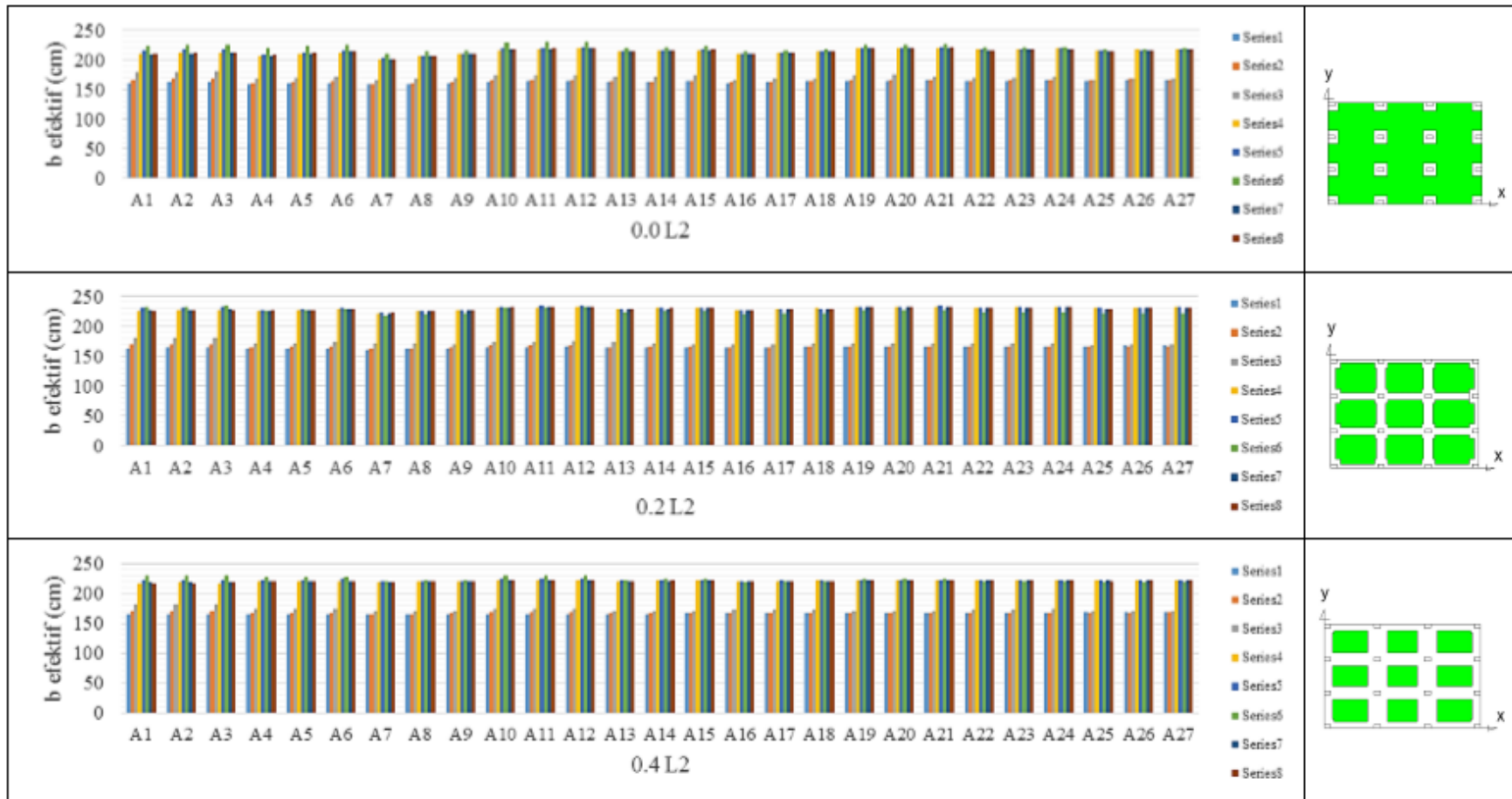


**Gambar 4.19**  
Grafik hasil lebar efektif rangka eksterior arah-X

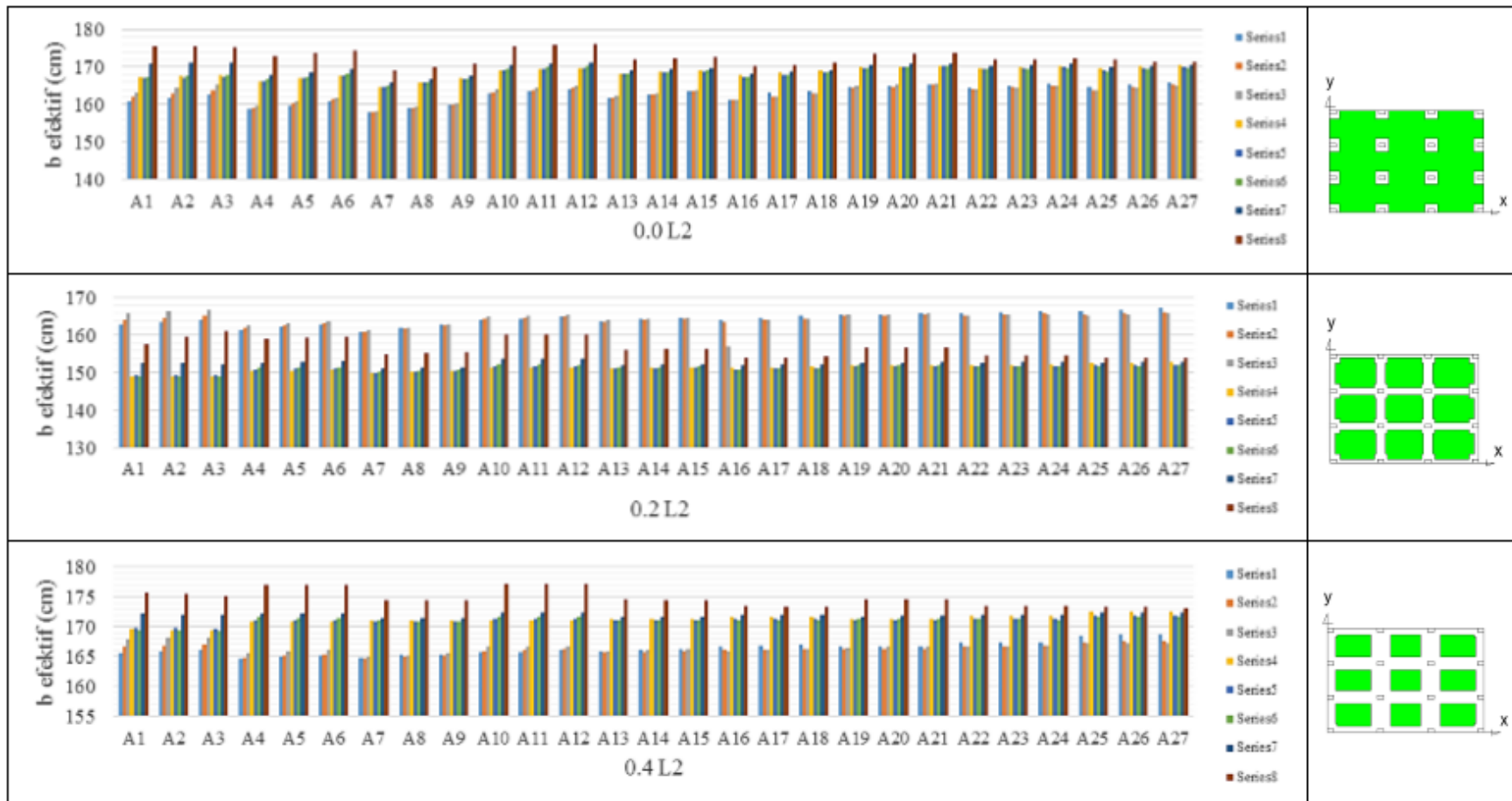


**Gambar 4.20**  
Grafik hasil lebar efektif rangka eksterior arah-Y





**Gambar 4.21**  
Grafik hasil lebar efektif rangka interior arah-X



**Gambar 4.22**  
Grafik hasil lebar efektif rangka interior arah-Y



Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.20 adalah (i) semakin besar  $c_1$  (lebar kolom tegak lurus arah beban) maka akan membuat  $b_{\text{efektif}}$  semakin besar untuk seluruh model struktur, (ii)  $b_{\text{efektif}}$  terbesar berada pada model struktur S8 -  $0.4L_2 - A1$  sebesar 130.85cm dan  $b_{\text{efektif}}$  terkecil berada pada model struktur S4 -  $0.2L_2 - A25$  sebesar 95.53cm, berarti terdapat *range* sebesar kurang lebih 36 cm, hal ini menandakan lebar efektif relatif sama di semua model struktur, (iv) nilai rerata  $b_{\text{efektif}}$  arah-Y *exterior frame* adalah 111cm.

#### **b. Lebar Efektif Interior Frame**

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.21 adalah (i) semakin besar  $c_1$  (lebar kolom tegak lurus arah beban) maka akan membuat  $b_{\text{efektif}}$  semakin besar untuk S1;S2;S3, (ii) semakin besar  $L_1$  (bentang sejajar arah beban) maka akan membuat  $b_{\text{efektif}}$  semakin besar di semua model struktur, (iii)  $b_{\text{efektif}}$  terbesar berada pada model struktur S5 -  $0.2L_2 - A12$  sebesar 233.92cm dan  $b_{\text{efektif}}$  terkecil berada pada model struktur S1 -  $0.0L_2 - A7$  sebesar 157.80cm, berarti terdapat *range* sebesar kurang lebih 76 cm, (iv) nilai rerata  $b_{\text{efektif}}$  arah-X *interior frame* adalah 202cm.

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Gambar 4.22 adalah (i) semakin besar  $c_1$  (lebar kolom tegak lurus arah beban) maka akan membuat  $b_{\text{efektif}}$  semakin besar untuk seluruh model struktur, (ii)  $b_{\text{efektif}}$  terbesar berada pada model struktur S8 -  $0.4L_2 - A12$  sebesar 177.20cm dan  $b_{\text{efektif}}$  terkecil berada pada model struktur S6 -  $0.2L_2 - A3$  sebesar 148.89cm, berarti terdapat *range* sebesar kurang lebih 29 cm, hal ini menandakan lebar efektif relatif sama di semua model struktur, (iv) nilai rerata  $b_{\text{efektif}}$  arah-Y *interior frame* adalah 165cm.

#### **4.3. Hasil Korelasi Parameter - parameter dengan Lebar Efektif Pelat ( $b_{\text{ef}}$ )**

Setelah mendapatkan lebar efektif pelat ( $b_{\text{ef}}$ ) yang sesuai untuk masing-masing model struktur, untuk mendapatkan perumusan lebar efektif pelat, maka perlu dicari hubungan antara besarnya lebar efektif ( $b_{\text{ef}}$ ) dengan parameter-parameter yang mempengaruhinya. Parameter-parameter bebas yang akan ditinjau pengaruhnya terhadap lebar efektif pelat ( $b_{\text{ef}}$ ) yaitu: panjang bentang ( $L_1$  dan  $L_2$ ),

dimensi kolom (c1 dan c2), b<sub>s</sub>, s, H, dan w. Pada penelitian ini korelasi antar parameter dianalisis dengan korelasi sederhana (*Bivariate Correlation*) dengan menggunakan metode *pearson correlation* yang dihitung dengan bantuan program SPSS v.16. Peninjauan hubungan parameter terhadap lebar efektif struktur *flat plate* ber-*hollow* dibagi dalam 2 bagian yaitu *interior frame* dan *eksterior frame* yang akan dijabarkan di bawah ini.

### a. Exterior Frame

Hubungan parameter bebas dengan lebar efektif pelat *flat plate* ber-*hollow* (b<sub>ef</sub>) *exterior frame* disajikan dengan tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Korelasi antar parameter terhadap lebar efektif (b<sub>ef</sub>) *exterior frame*

		L1	L2	c1	c2	bs	s	H	w	bef
L1	Pearson Correlation	1	-.455**	0.032	0.032	0.00	0.00	0.00	0.00	.935**
	Sig. (2-tailed)		0	0.248	0.248	1	1	1	1	0
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
L2	Pearson Correlation	-.455**	1	0.032	0.032	0.00	0.00	0.00	0.00	-.484**
	Sig. (2-tailed)	0.00		0.248	0.248	1	1	1	1	0
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
c1	Pearson Correlation	0.032	0.032	1	-.509	0.00	0.00	0.00	0.00	.206**
	Sig. (2-tailed)	0.248	0.248		0	1	1	1	1	0
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
c2	Pearson Correlation	0.032	0.032	-.509	1	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.014
	Sig. (2-tailed)	0.248	0.248	0.00		1	1	1	1	0.61
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
bs	Pearson Correlation	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	.076**
	Sig. (2-tailed)	1	1	1	1		1	1	1	0.006
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
s	Pearson Correlation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	-.086**
	Sig. (2-tailed)	1	1	1	1	1		1	1	0.002
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
H	Pearson Correlation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	-.161**
	Sig. (2-tailed)	1	1	1	1	1	1		1	0.00
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
w	Pearson Correlation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.024
	Sig. (2-tailed)	1	1	1	1	1	1	1		0.39
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
bef	Pearson Correlation	.935**	-.484**	.206	-0.014	.076	-.086	-.161	0.024	1
	Sig. (2-tailed)	0.00	0.00	0.00	0.61	0.006	0.002	0.00	0.39	
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Tabel 4.1 antara lain (i) besar nilai korelasi parameter-parameter bebas yang berhubungan dengan lebar efektif ( $b_{ef}$ ) *exterior frame*urut mulai dari yang terbesar yaitu  $L_1 = 0.935$ ,  $L_2 = -0.484$ ,  $c_1 = 0.206$ ,  $H = -0.161$ ,  $s = -0.086$ ,  $b_s = 0.076$ ,  $w = 0.024$ ,  $c_2 = -0.014$ , (ii) dari 8 macam parameter bebas ada 2 buah yang memiliki taraf signifikan dibawah 5% yaitu  $c_2 = 0.61$  dan  $w = 0.39$ , berarti kedua parameter ini tidak digunakan.

### b. Interior Frame

Hubungan parameter bebas dengan lebar efektif pelat *flat plate ber-hollow* ( $b_{ef}$ ) *exterior frame* disajikan dengan tabel di bawah ini.

Tabel 4.2 Korelasi antar parameter terhadap lebar efektif ( $b_{ef}$ ) *interior frame*

		L1	L2	c1	c2	bs	s	H	w	bef
L1	Pearson Correlation	1	-.455**	.032	.032	.000	.000	.000	.000	.970**
	Sig. (2-tailed)		.000	.248	.248	1.000	1.000	1.000	1.000	.000
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
L2	Pearson Correlation	-.455**	1	.032	.032	.000	.000	.000	.000	-.459**
	Sig. (2-tailed)	.000		.248	.248	1.000	1.000	1.000	1.000	.000
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
c1	Pearson Correlation	.032	.032	1	-.509**	.000	.000	.000	.000	.097**
	Sig. (2-tailed)	.248	.248		.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.000
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
c2	Pearson Correlation	.032	.032	-.509**	1	.000	.000	.000	.000	.001
	Sig. (2-tailed)	.248	.248	.000		1.000	1.000	1.000	1.000	.963
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
bs	Pearson Correlation	.000	.000	.000	.000	1	.000	.000	.000	.059*
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000	.033
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
s	Pearson Correlation	.000	.000	.000	.000	.000	1	.000	.000	.031
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000	.268
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
H	Pearson Correlation	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1	.000	-.036
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	.197
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
w	Pearson Correlation	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	1	.016
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		.560
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296
bef	Pearson Correlation	.970**	-.459**	.097**	.001	.059*	.031	-.036	.016	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.963	.033	.268	.197	.560	
	N	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296	1296

Hasil yang dapat dideskripsikan dari Tabel 4.2 antara lain (i) besar nilai korelasi parameter-parameter bebas yang berhubungan dengan lebar efektif ( $b_{ef}$ ) *interior frame* urut mulai dari yang terbesar yaitu  $L_1 = 0.97$ ,  $L_2 = -0.459$ ,  $c_1 = 0.097$ ,  $b_s = 0.059$ ,  $H = -0.036$ ,  $s = 0.031$ ,  $w = 0.016$ ,  $c_2 = 0.001$ , (ii) dari 8 macam parameter bebas ada 4 buah yang memiliki taraf signifikan diatas 5% yaitu  $c_2 = 0.963$ ,  $w = 0.56$ ,  $s = 0.268$ , dan  $H = 0.197$ , berarti keempat parameter ini tidak digunakan.

#### 4.4. Hasil Perumusan Lebar Efektif Pelat ( $b_{ef}$ )

Setelah mendapatkan besaran hubungan parameter-parameter bebas terhadap lebar efektif pelat ( $b_{ef}$ ) yaitu: panjang bentang ( $L_1$  dan  $L_2$ ), dimensi kolom ( $c_1$  dan  $c_2$ ),  $b_s$ ,  $s$ ,  $H$ , dan  $w$  dengan lebar efektif pelat ( $b_{ef}$ ), maka akan dilanjutkan dengan menarik rumus praktis untuk masing-masing *frame*, baik *eksterior frame* maupu *interior frame*. Pada penelitian ini perumusan diperoleh dengan analisa regresi linier beranda yang dihitung dengan bantuan program SPSS v.16. Perumusan lebar efektif ( $b_{ef}$ ) struktur *flat plate* ber-*hollow* dibagi dalam 2 bagian yaitu *eksterior frame* dan *interior frame* yang akan dijabarkan di bawah ini.

##### a. Exterior Frame

Koefisien parameter bebas pembentuk rumus lebar efektif pelat *flat plate* ber-*hollow* ( $b_{ef}$ ) *exterior frame* disajikan dengan tabel di bawah ini.

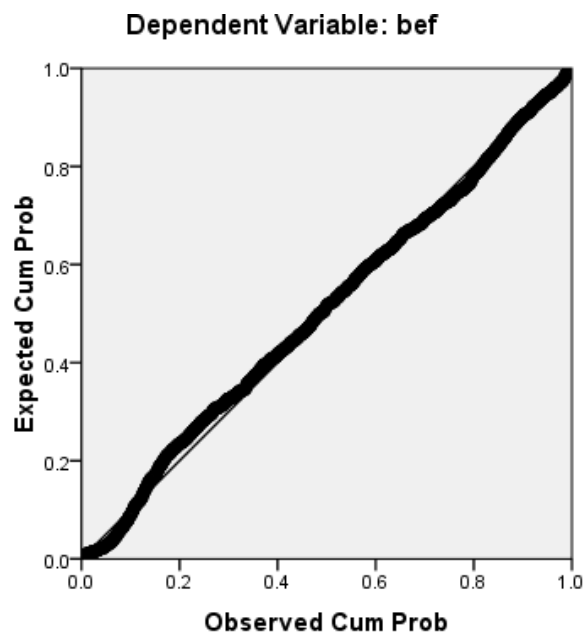
Tabel 4.3 Koefisien antar parameter terhadap lebar efektif ( $b_{ef}$ ) *exterior frame*

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	55.427	1.559		35.555	.000
L1	.098	.001	.891	127.832	.000
L2	-.009	.001	-.085	-12.161	.000
c1	.116	.004	.180	28.938	.000
$b_s$	.024	.002	.076	12.188	.000
s	-.857	.062	-.086	-13.837	.000
H	-.802	.031	-.161	-25.885	.000

Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa semua parameter bebas antara lain:  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $c_1$ ,  $b_s$ ,  $s$ , dan  $H$  berpengaruh secara parsial terhadap  $b_{ef}$  karena kesemuanya memiliki taraf signifikan untuk uji  $t$  lebih kecil dari 5%. Oleh karena itu dapat ditarik rumus lebar efektif struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah untuk rangka eksterior yaitu

$$b_{ef} (ext) = 55.427 + 0.098L_1 - 0.009L_2 + 0.116c_1 + 0.024b_s - 0.857s - 0.802H$$

Keakuratan rumus ini diperlihatkan oleh Gambar 4.23 dengan hampir berhimpitnya distribusi lebar efektif dari hasil rumus di atas terhadap garis tinjauan yang merupakan nilai lebar efektif asli dari seluruh model yang sudah di evaluasi sebelumnya.



**Gambar 4.23**

*Normal P-P plot of regression standartized residual exterior frame*

#### **b. Interior Frame**

Koefisien parameter bebas pembentuk rumus lebar efektif pelat *flat plate* ber-*hollow* ( $b_{ef}$ ) *interior frame* disajikan dengan tabel di bawah ini.



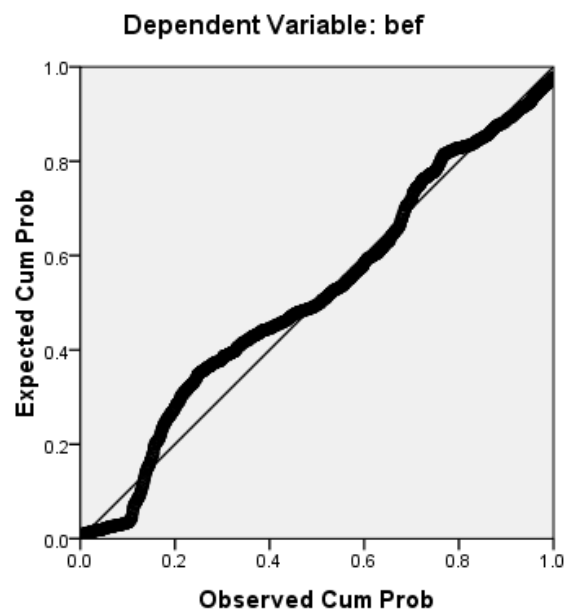
Tabel 4.4 Korelasi antar parameter terhadap lebar efektif ( $b_{ef}$ ) *interior frame*

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	49.850	1.716		29.046	.000
L1	.140	.001	.955	134.733	.000
L2	-.004	.001	-.027	-3.842	.000
c1	.058	.005	.067	10.639	.000
bs	.025	.003	.059	9.383	.000

Dari Tabel 4.4 terlihat bahwa semua parameter bebas antara lain:  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $c_1$ , dan  $b_s$  berpengaruh secara parsial terhadap  $b_{ef}$  karena kesemuanya memiliki taraf signifikan untuk uji t lebih kecil dari 5%. Oleh karena itu dapat ditarik rumus lebar efektif struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah untuk rangka interior yaitu

$$b_{ef} (int) = 49.850 + 0.14L_1 - 0.004L_2 + 0.058c_1 + 0.025b_s$$

Keakuratan rumus ini diperlihatkan oleh Gambar 4.24 dengan hampir berhimpitnya distribusi lebar efektif dari hasil rumus di atas terhadap garis tinjauan yang merupakan nilai lebar efektif asli dari seluruh model yang sudah di evaluasi sebelumnya.



**Gambar 4.24**

*Normal P-P plot of regression standartized residual interior frame*

#### 4.5. Pembahasan Lebar Efektif untuk Struktur *Flat plate* dengan *Hollow* dua Arah dibawah Beban Gempa

Berdasarkan hasil perumusan lebar efektif untuk struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah dibawah beban gempa menghasilkan besar lebar efektif yang lebih kecil baik *exterior frame* maupun *interior frame* daripada besar lebar efektif struktur *flat plate* konvensional (tanpa *hollow*) dari perumusan Allen & Darvall (1977), Banchik (1987), Hwang (2000), dan Hemawan (2009) dengan tebal pelat yang sama, bahkan apabila dibandingkan dengan  $b_{ef}$  beban gravitasi tanpa gempapun dengan menggunakan metoda langsung berdasarkan SNI 2847-pasal 13.2.1 sebesar  $0.25L_2$  untuk setiap lajur kolomnya maka diperoleh besar  $b_{ef}$  yang lebih besar daripada struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah dibawah beban gempa. Untuk struktur *flat plate* dibawah beban gempa, sejalan dengan konsep dari lebar efektif pelat bahwa tegangan yang dominan berada pada daerah tumpuan akan semakin geser ke daerah tumpuan jika kekakuan daerah lapangan (tengah panel) semakin kecil dan hal tersebut secara paralel akan membuat lebar efektifnya semakin mengecil juga,

Secara ringkas, dengan membuat rongga pada daerah tengah panel atau dengan kata lain melemahkan kekakuan daerah tengah panel maka akan menjadi mirip dengan menambahkan *drop panel* pada struktur *flat slab* atau jika struktur BHS menggunakan  $b_{solid}$  (daerah solid menyerupai balok) maka mirip dengan struktur kolom-balok-pelat. Selain itu juga karena pelat bersifat sangat fleksibel dan sangat *under-reinforced*, maka redistribusi momen dalam arah panjang maupun pendek akan sangat bergantung pada kekakuan relatif tumpuan terhadap pelat yang ditumpunya. Kelebihan tegangan pada suatu daerah dapat berkurang dengan adanya redistribusi momen ke daerah yang tegangannya lebih kecil, dengan demikian bentang yang lebih pendek dari suatu panel yang terletak di atas tumpuan yang kaku sekali akan mengalami momen yang lebih besar atau sebaliknya kekakuan tengah bentang yang semakin mengecil akan mengalami momen yang semakin lebih kecil.

# **LAMPIRAN-LAMPIRAN**

**REGRESI BERGANDA DENGAN**  
***SPSS EXTERIOR FRAME***



```

REGRESSION
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL ZPP
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT bef
/METHOD=ENTER L1 L2 c1 bs s H
/SCATTERPLOT=(*ZRESID ,*ZPRED)
/RESIDUALS DURBIN NORM(ZRESID).

```

## Regression

[DataSet0]

**Variables Entered/Removed<sup>b</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	H, s, bs, c1, L2, L1 <sup>a</sup>		. Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: bef

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.975 <sup>a</sup>	.950	.950	4.55355	.315

a. Predictors: (Constant), H, s, bs, c1, L2, L1

b. Dependent Variable: bef

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.975 <sup>a</sup>	.950	.950	4.55355	.315

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	512544.543	6	85424.090	4.120E3	.000 <sup>a</sup>
	Residual	26727.181	1289	20.735		
	Total	539271.724	1295			

a. Predictors: (Constant), H, s, bs, c1, L2, L1

b. Dependent Variable: bef

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	55.427	1.559		35.555	.000					
	L1	.098	.001	.891	127.832	.000	.935	.963	.793	.791	1.264
	L2	-.009	.001	-.085	-12.161	.000	-.484	-.321	-.075	.791	1.264
	c1	.116	.004	.180	28.938	.000	.206	.628	.179	.996	1.004
	bs	.024	.002	.076	12.188	.000	.076	.321	.076	1.000	1.000
	s	-.857	.062	-.086	-13.837	.000	-.086	-.360	-.086	1.000	1.000
	H	-.802	.031	-.161	-25.885	.000	-.161	-.585	-.161	1.000	1.000

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.975 <sup>a</sup>	.950	.950	4.55355	.315

a. Dependent Variable: bef

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions						
				(Constant)	L1	L2	c1	bs	s	H
1	1	6.415	1.000	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00
	2	.364	4.197	.00	.00	.00	.01	.98	.00	.00
	3	.080	8.980	.00	.00	.00	.76	.00	.24	.00
	4	.056	10.686	.00	.27	.27	.00	.00	.00	.00
	5	.055	10.765	.00	.04	.04	.20	.00	.69	.06
	6	.024	16.273	.00	.22	.22	.01	.00	.00	.70
	7	.005	35.082	.99	.46	.46	.03	.01	.06	.24

a. Dependent Variable: bef



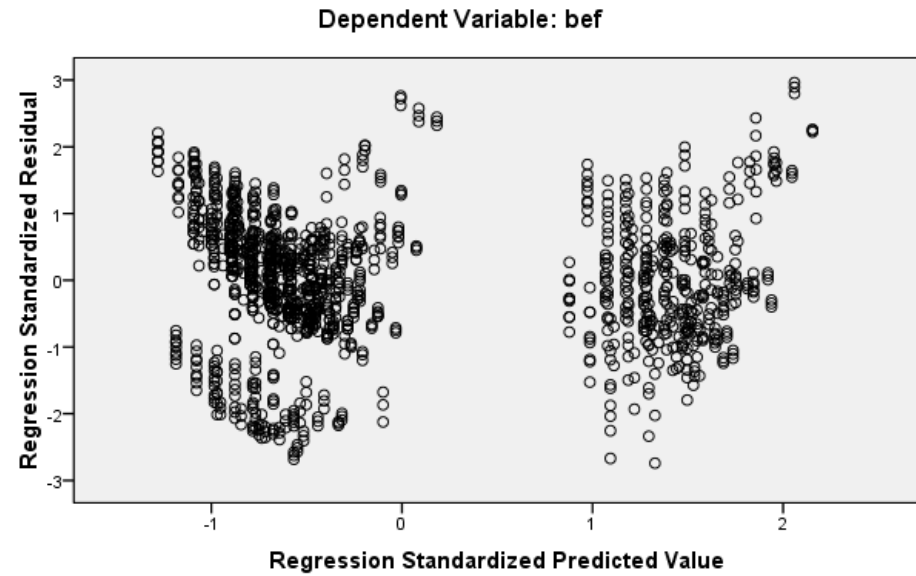
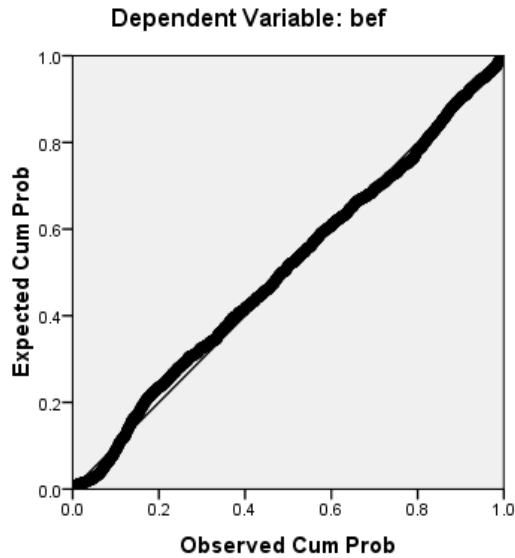
Residuals Statistics<sup>a</sup>

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	99.3425	167.6810	124.8222	19.89440	1296
Residual	-12.48208	13.48468	.00000	4.54299	1296
Std. Predicted Value	-1.281	2.154	.000	1.000	1296
Std. Residual	-2.741	2.961	.000	.998	1296

a. Dependent Variable: bef

## Charts

Scatterplot



**REGRESI BERGANDA DENGAN**  
***SPSS EXTERIOR FRAME***

```

REGRESSION
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL ZPP
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT bef
/METHOD=ENTER L1 L2 c1 bs
/SCATTERPLOT=(*ZRESID ,*ZPRED)
/RESIDUALS DURBIN NORM(ZRESID).

```

## Regression

[DataSet0]

**Variables Entered/Removed<sup>b</sup>**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	bs, c1, L2, L1 <sup>a</sup>		Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: bef

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.974 <sup>a</sup>	.949	.949	6.15110	.229

a. Predictors: (Constant), bs, c1, L2, L1

b. Dependent Variable: bef

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	902724.621	4	225681.155	5.965E3	.000 <sup>a</sup>
	Residual	48846.349	1291	37.836		
	Total	951570.970	1295			

a. Predictors: (Constant), bs, c1, L2, L1

b. Dependent Variable: bef

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1	(Constant)	49.850	1.716		29.046	.000					
	L1	.140	.001	.955	134.733	.000	.970	.966	.850	.791	1.264
	L2	-.004	.001	-.027	-3.842	.000	-.459	-.106	-.024	.791	1.264
	c1	.058	.005	.067	10.639	.000	.097	.284	.067	.996	1.004
	bs	.025	.003	.059	9.383	.000	.059	.253	.059	1.000	1.000

a. Dependent Variable: bef

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions				
				(Constant)	L1	L2	c1	bs
1	1	4.523	1.000	.00	.00	.00	.00	.01
	2	.347	3.609	.00	.00	.00	.01	.97
	3	.067	8.229	.01	.05	.05	.95	.01
	4	.056	8.973	.00	.27	.27	.00	.00
	5	.007	25.572	.99	.68	.68	.03	.01

a. Dependent Variable: bef

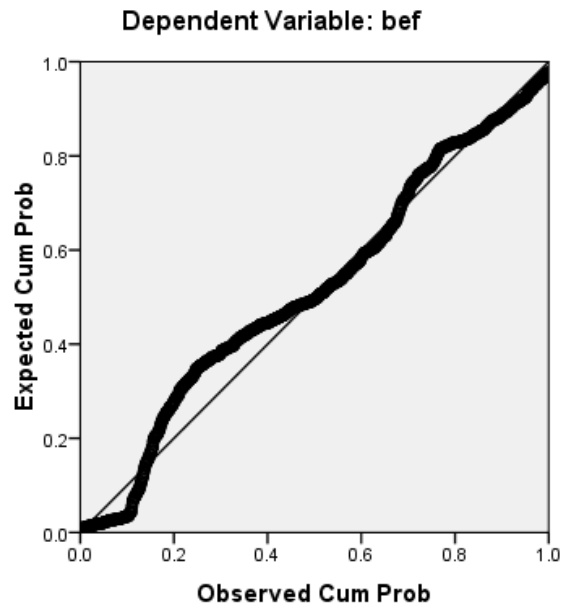
**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	161.3687	227.3462	1.8318E2	26.40236	1296
Residual	-1.82327E1	12.37510	.00000	6.14159	1296
Std. Predicted Value	-.826	1.673	.000	1.000	1296
Std. Residual	-2.964	2.012	.000	.998	1296

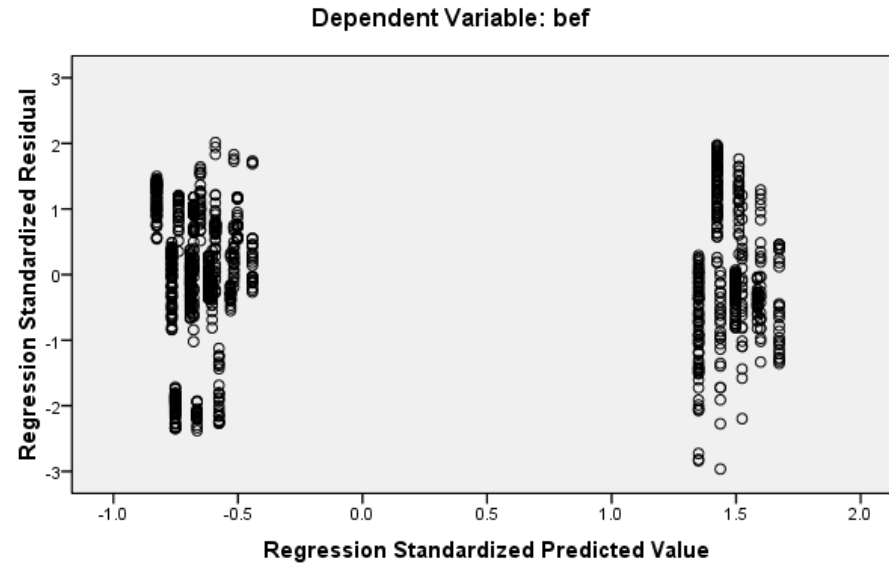
a. Dependent Variable: bef

## Charts

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Scatterplot

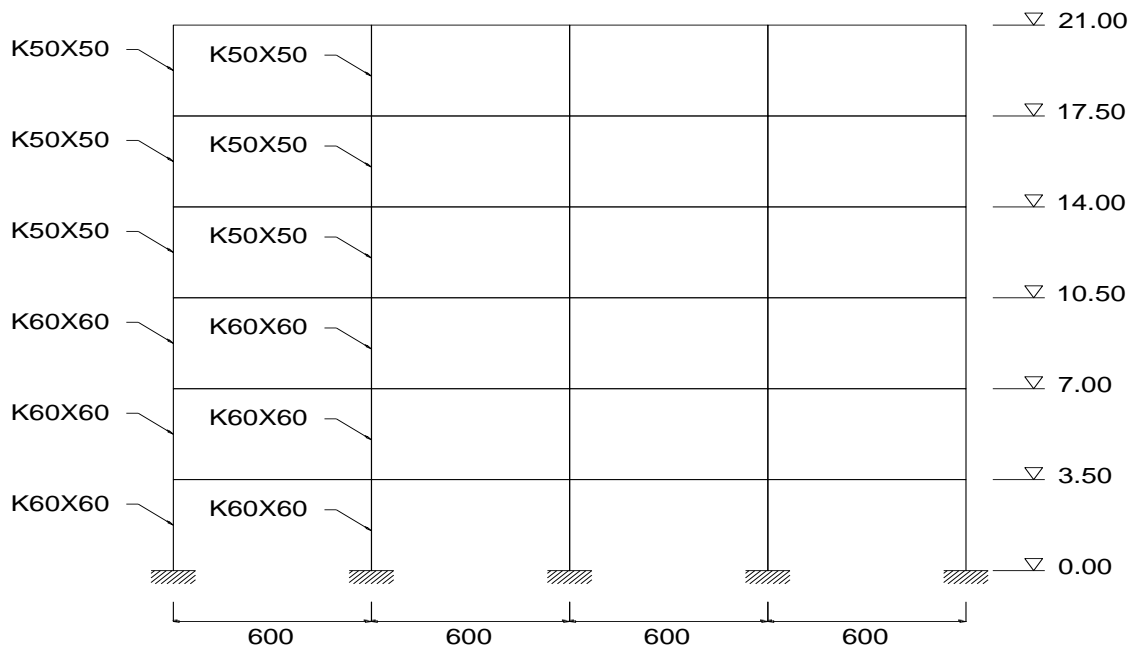


## **CONTOH PERHITUNGAN**

## CONTOH PERHITUNGAN

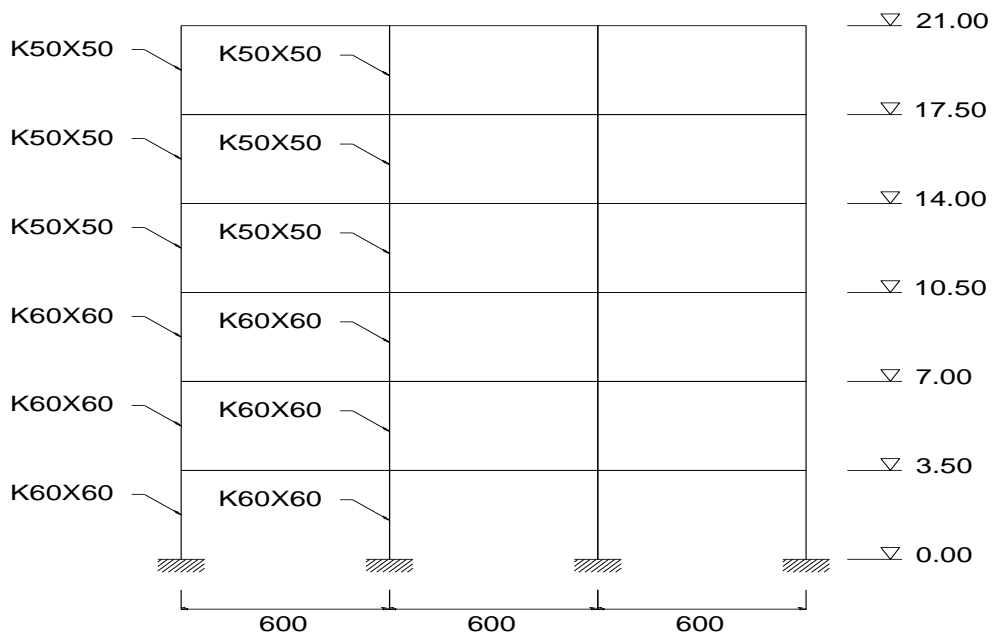
Rencanakan penulangan lentur struktur *flat plate* dengan *hollow* dua arah di bawah beban gempa berdasarkan data-data yang diberikan dibawah ini :

- Fungsi Bangunan : Perkantoran (LL = 2.5 kN/m<sup>2</sup>, SD = 1 kN/m<sup>2</sup>)
- Lokasi : Kota Padang; Tanah: sedang
- Tinggi tipikal lantai : 3.50 meter
- Mutu beton : 30 Mpa
- Mutu baja tulangan : 400 Mpa
- Panel : 4 x 3 (12 panel)
- Bentang : Lx = 6.00m ; Ly = 6.00m
- Lebar solid : bs eksterior = 40cm ; bs interior = 80cm
- Ukuran hollow area : s = 5; H = 20; w = 12 ; tebal total = 30 cm

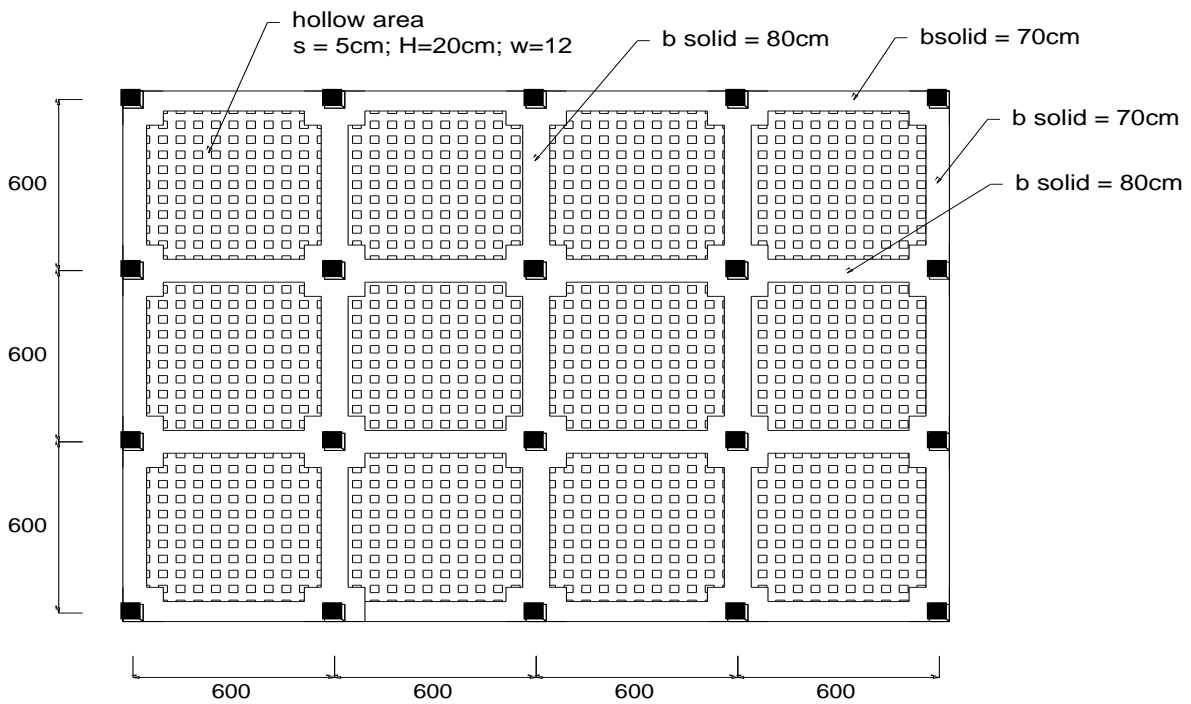


**Gambar 6.1** Tampak rangka arah panjang





**Gambar 6.2** Tampak rangka arah pendek



**Gambar 6.3** Geometri denah lantai

Jawab :

### 1. Perhitungan lebar efektif dengan rumus praktis usulan

- Eksterior frame

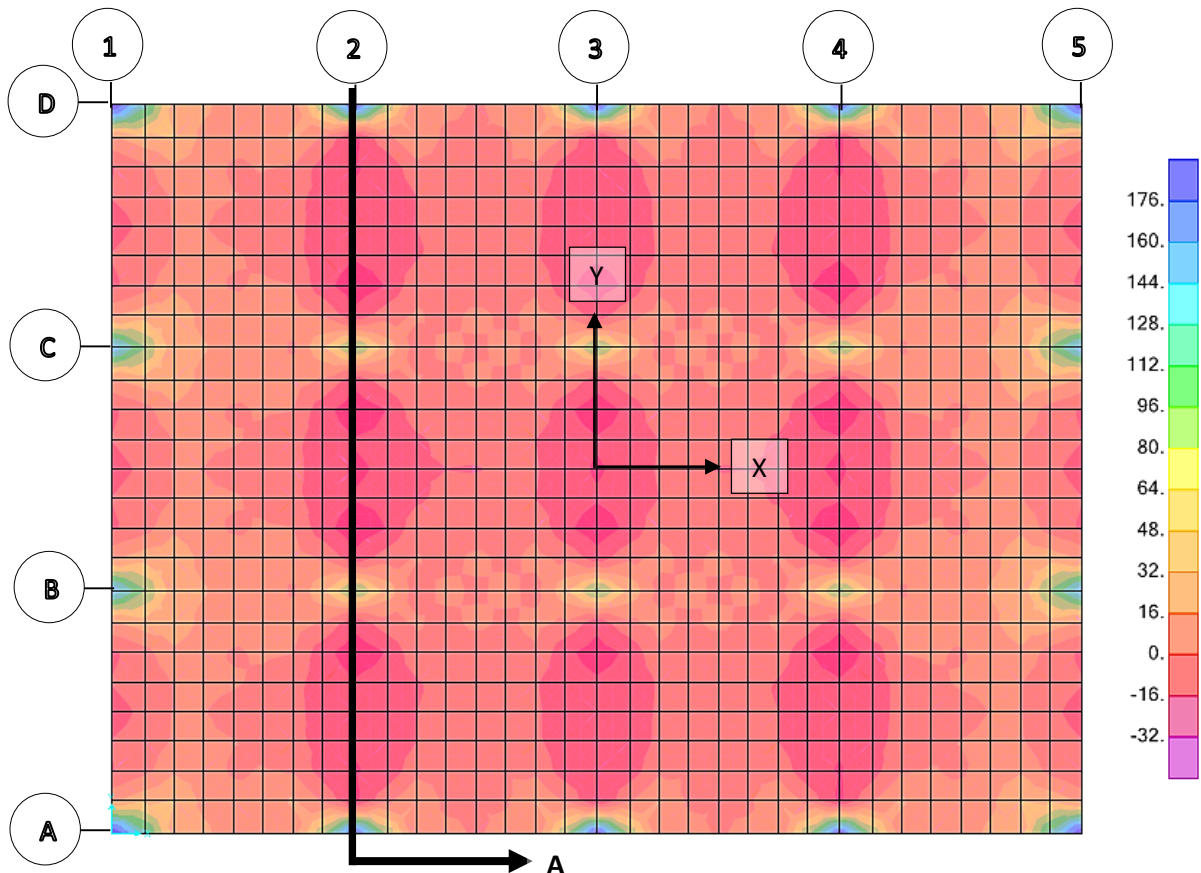
$$\begin{aligned} b_{ef} (ext) &= 55.427 + 0.098L_1 - 0.009L_2 + 0.116c_1 + 0.024b_s - 0.857s - 0.802H \\ &= 55.427 + 0.098 (600) - 0.009 (300) + 0.116 (60) - 0.024 (40) \\ &\quad - 0.857 (5) - 0.802 (20) \\ &= 98.30 \text{ cm --- dibulatkan } 100.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Interior frame

$$\begin{aligned} b_{ef} (int) &= 49.850 + 0.14L_1 - 0.004L_2 + 0.058c_1 + 0.025b_s \\ &= 49.850 + 0.14 (600) - 0.004 (600) + 0.058 (60) + 0.025 (80) \\ &= 95.50 \text{ cm --- dibulatkan } 100.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

### 2. Perhitungan gaya dalam slab per-lantai

Pada tahap ini dilakukan perhitungan momen untuk slab terhadap beban terfaktor *envelope* / maksimal untuk masing-masing kedua arahnya, hasil kontur momen arah-x ( $M_x$ ) untuk lantai 1 dapat dilihat pada Gambar 6.4 di bawah ini.

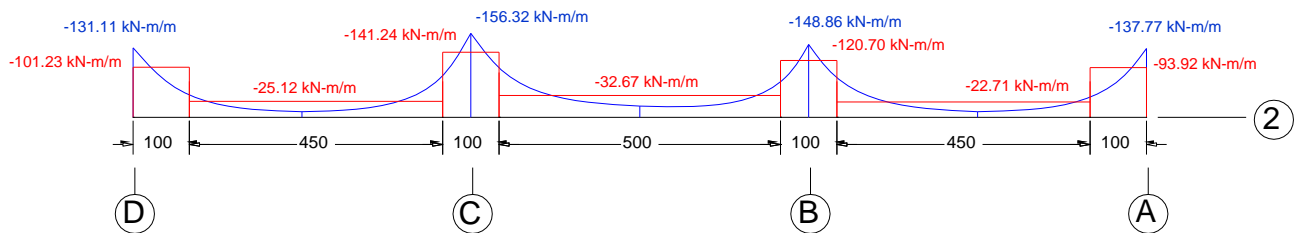


Gambar 6.4

Kontur distribusi momen aktual slab untuk lantai 1 (Momen arah-X *envelope*)

### 3. Memotong kurva momen aktual *slab* yang berpotongan dengan $b_{ef}$ hitung dan membaginya menjadi *column strip* & *middle strip*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan besaran momen selebar  $b_{ef}$  untuk *slab* terhadap beban terfaktor *envelope* / maksimal untuk masing-masing kedua arahnya. Sebagai gambaran perhitungan dicontohkan dengan memotong tepat sumbu-2, dengan memotong tegak lurus arah beban dari hasil kontur momen arah-x ( $M_x$ ) untuk lantai 1 kita dapat memvisualisasikan dengan jelas pengkondisian distribusi momen selebar  $b_{ef}$ , hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.5 di bawah ini.



**Gambar 6.5**  
Pot A-A (Potongan distribusi momen)

Pada gambar Pot A-A terlihat bahwa adanya momen-momen ekuivalen sebagai bentuk sederhana dari kurva momen aktual dan secara paralel terjadi redistribusi momen yang besarnya lebih kecil dari 30%, secara praktis nilai 30% memberikan kontribusi untuk menghindari terjadi keruntuhan yang *premature*.

### 4. Menentukan kebutuhan tulangan dan distribusinya

Pada tahap ini dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan beserta distribusinya dengan menggunakan acuan besar gaya momen terbesar, secara praktis momen dibagi menjadi *exterior frame* dan *interior frame*. Sebagai contoh perhitungan diambil momen dari join 2-D untuk *exterior frame* sebesar -101.23 kN-m/m dan join 2-C untuk *interior frame* sebesar -141.24 kN-m/m. Setelah besaran momen diketahui, maka tahapan selanjutnya adalah menghitung kebutuhan tulangan dengan cara balok sederhana. Di contoh perhitungan ini menggunakan bantuan *spreadsheet* perhitungan balok seperti terlihat di bawah ini.

BAHAN STRUKTUR		
Kuat tekan beton,	$f_c' =$	30 MPa
Tegangan leleh baja (deform) untuk tulangan lentur,	$f_y =$	400 MPa
Tegangan leleh baja (polos) untuk tulangan geser,	$f_y =$	240 MPa
DIMENSI BALOK		
Lebar balok	$b =$	1000 mm
Tinggi balok	$h =$	300 mm
Diameter tulangan (deform) yang digunakan,	$D =$	13 mm
Diameter sengkang (polos) yang digunakan,	$P =$	10 mm
Tebal bersih selimut beton,	$t_s =$	20 mm
MOMEN DAN GAYA GESER RENCANA		
Momen rencana positif akibat beban terfaktor,	$M_u^+ =$	- kNm
Momen rencana negatif akibat beban terfaktor,	$M_u^- =$	101.230 kNm
Gaya geser rencana akibat beban terfaktor,	$V_u =$	- kN

Untuk :  $f_c' \leq 30$  MPa,  $\beta_1 = 0.85$   
 Untuk :  $f_c' > 30$  MPa,  $\beta_1 = 0.85 - 0.05 * (f_c' - 30) / 7 = -$   
 Faktor bentuk distribusi tegangan beton,  $\rightarrow \beta_1 = 0.85$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*,

$$\rho_b = \beta_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) = 0.0324$$

Faktor tahanan momen maksimum,

$$R_{max} = 0.75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0.75 * \rho_b * f_y / (0.85 * f_c')] = 7.8621$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,  $\phi = 0.80$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,  $d_s = t_s + \emptyset + D/2 = 36.50$  mm

Jumlah tulangan dim satu baris,  $n_s = (b - 2 * d_s) / (25 + D) = 24.39$

Digunakan jumlah tulangan dalam satu baris,  $n_s = 24$  bh

Jarak horisontal pusat ke pusat antara tulangan,

$$x = (b - n_s * D - 2 * d_s) / (n_s - 1) = 26.74$$
 mm

Jarak vertikal pusat ke pusat antara tulangan,  $y = D + 25 = 38.00$  mm

Momen negatif nominal rencana,  $M_n = M_u^- / \phi = 126.538$  kNm

Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton,  $d' = 35$  mm

Tinggi efektif balok,  $d = h - d' = 265.00$  mm

Faktor tahanan momen,  $R_n = M_n * 10^6 / (b * d^2) = 1.8019$

$$R_n < R_{max} \rightarrow \text{(OK)}$$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0.85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c')}] = 0.00468$$

Rasio tulangan minimum,  $\rho_{min} = \sqrt{f_c'} / (4 * f_y) = 0.00342$

Rasio tulangan minimum,  $\rho_{min} = 1.4 / f_y = 0.00350$

Rasio tulangan yang digunakan,  $\rightarrow \rho = 0.00468$

Luas tulangan yang diperlukan,  $A_s = \rho * b * d = 1239$  mm<sup>2</sup>

Jumlah tulangan yang diperlukan,  $n = A_s / (\pi / 4 * D^2) = 9.337$

Digunakan tulangan,  $10 \quad D \quad 13$

Luas tulangan terpakai,  $A_s = n * \pi / 4 * D^2 = 1327$  mm<sup>2</sup>

Jumlah baris tulangan,  $n_b = n / n_s = 0.42$

$$n_b < 3 \rightarrow \text{(OK)}$$

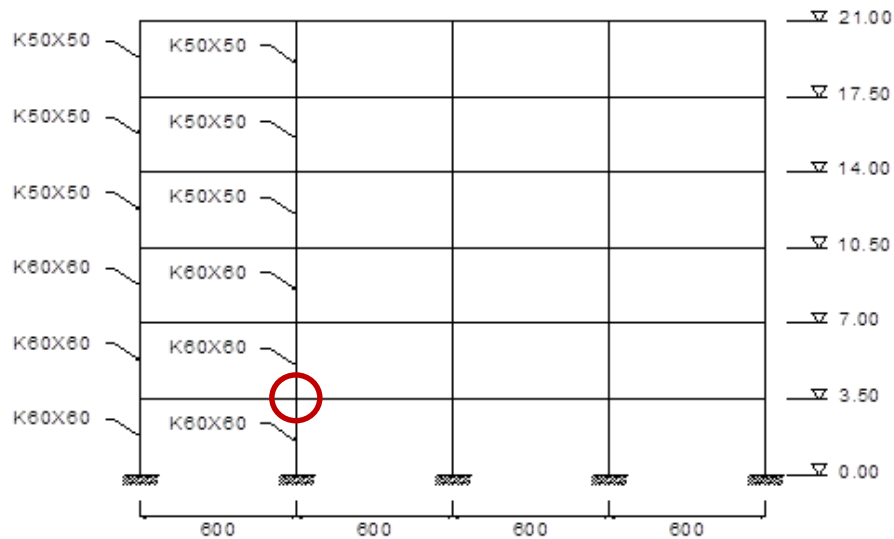
Dari perhitungan yang dilakukan diketahui bahwa untuk momen negatif -101.23 kN-m/m (*exterior frame*) diperlukan 10 buah tulangan berdiameter 13mm berarti secara praktis ditulis D13 – 120mm, sedangkan untuk momen negatif -141.24 kN-m/m (*interior frame*) diperlukan 12 buah tulangan berdiameter 13mm berarti secara praktis ditulis D13 – 75mm. Untuk perhitungan lokasi yang lain, secara ringkas dicantumkan dalam Tabel 6.1 di bawah ini.

**Tabel 6.1 kebutuhan tulangan struktur *flat plate* per lebar strip**

Lantai	Label	Lebar Strip	M (+)	M (-)	M (+)/m	M (-)/m	Jmlh Tul	Jarak	
		(cm)	(KN-m)	(KN-m)	(KN-m/m)	(KN-m/m)	(bh)	(mm)	
1	Rangka 1 column ex	100		-91.73		-91.73	8	140	
	Rangka 1 column in	100		-102.87		-102.87	9	125	
	Rangka 1 middle ex	450		-55.17		-12.26	8	140	
	Rangka 1 middle in	500		-74.81		-14.96	8	140	
	Rangka 1-2 column ex	100	31.08			31.08	8	140	
	Rangka 1-2 column in	100	35.83			35.83	8	140	
	Rangka 1-2 middle ex	450	128.32			28.51	8	140	
	Rangka 1-2 middle in	500	142.10			28.42	8	140	
	Rangka 2 column ex	100			-101.23		-101.23	10	110
	Rangka 2 column in	100			-141.24		-141.24	12	75
	Rangka 2 middle ex	450			-121.87		-27.08	8	140
	Rangka 2 middle in	500			-174.76		-31.45	8	140
	Rangka 2-3 column ex	100	24.55			24.55	8	140	
	Rangka 2-3 column in	100	24.70			24.70	8	140	
	Rangka 2-3 middle ex	450	86.96			19.32	8	140	
	Rangka 2-3 middle in	500	95.63			19.13	8	140	
	Rangka 3 column ex	100			-96.22		-96.22	8	140
	Rangka 3 column in	100			-123.40		-123.40	11	100
	Rangka 3 middle ex	450			-100.22		-22.27	8	140
	Rangka 3 middle in	500			-140.62		-28.12	8	140
	Rangka A column ex	100			-56.24		-56.24	8	140
	Rangka A column in	100			-57.62		-57.62	8	140
	Rangka A middle ex	450			-34.03		-7.56	8	140
	Rangka A middle in	500			-52.76		-10.55	8	140
	Rangka A-B column ex	100	33.17			33.17	8	140	
	Rangka A-B column in	100	33.83			33.83	8	140	
	Rangka A-B middle ex	450	131.32			29.18	8	140	
	Rangka A-B middle in	500	151.89			30.38	8	140	
	Rangka B column ex	100			-70.18		-70.18	8	140
	Rangka B column in	100			-88.89		-88.89	8	140
	Rangka B middle ex	450			-106.74		-23.72	8	140
	Rangka B middle in	500			-146.99		-29.40	8	140
	Rangka B-C column ex	100	25.23			25.23	8	140	
	Rangka B-C column in	100	24.43			24.43	8	140	
	Rangka B-C middle ex	450	89.52			19.89	8	140	
	Rangka B-C middle in	500	98.88			19.78	8	140	

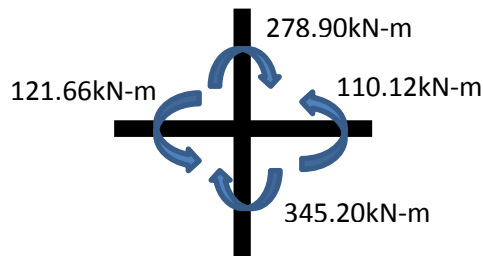
Perlu diketahui bahwa adanya persamaan jumlah tulangan antara momen yang selisih jauh dikarenakan penggunaan rho ( $\rho$  min) pada perhitungan balok.

## 5. Cek strong column weak beam



**Gambar 6.6**  
Lokasi join yang ditinjau (join 2-B-lantai 1)

Momen terfaktor yang terjadi pada join yang ditinjau, (arah goyangan ke kanan)



### 1. Definisi Kolom

SNI Pasal 23.4.1

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain:

- a. Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom harus melebihi  $A_g f'_c / 10$ .

$$\frac{A_g f'_c}{10} = \frac{(600 \times 600) \times 30}{10} = 1080 \text{ kN}$$

Gaya aksial terfaktor maksimum dari SAP2000 untuk kolom yang ditinjau = 2195 kN >  $A_g f'_c / 10$  (OKE)

- b. Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300mm.  
Sisi terpendek kolom,  $d = 600\text{mm} > 300\text{mm}$  (OKE)

- c. Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0.4  
 Rasio antara  $b$  dan  $d = 600/600 = 1 > 0.4$  (OKE)

## 2. Cek Konfigurasi Penulangan

Dari hasil desain berdasarkan gaya dalam, dimensi kolom sebesar 600mm x 600mm diberi 12 buah batang tulangan D22. Baja tulangan D22 dipilih untuk menghindari panjang penyaluran yang terlalu panjang, dan  $\rho_g$  dibatasi tidak kurang dari 0.01 dan tidak lebih dari 0.06.

$$\rho_g = \frac{4560 \text{ mm}^2}{(600 \times 600) \text{ mm}^2} = 0.0126 \text{ --- OKE, } 0.01 < \rho_g < 0.06$$

## 3. Check Strong column weak beam

SNI Pasal 23.4.2.2 ---- Kuat kolom  $\phi M_n$  harus memenuhi  $\sum M_c \geq 1.2 \sum M_g$

Dari perhitungan kapasitas momen tulangan balok di join yang ditinjau (untuk goyangan ke kanan) adalah dibuat simetris yaitu 145kN-m untuk tulangan atas dan 145kN-m untuk tulangan bawah.

Akibat goyangan ke kanan,  $\phi M_n$  ujung-ujung balok adalah sebesar:

$$1.2 \sum M_g = 1.2 \times (145 + 145) = 348.00 \text{ kN-m}$$

### Kolom lantai atas tinjau

$$\phi P_n - abv = \text{gaya aksial terfaktor kolom atas} = 1735 \text{ kN}$$

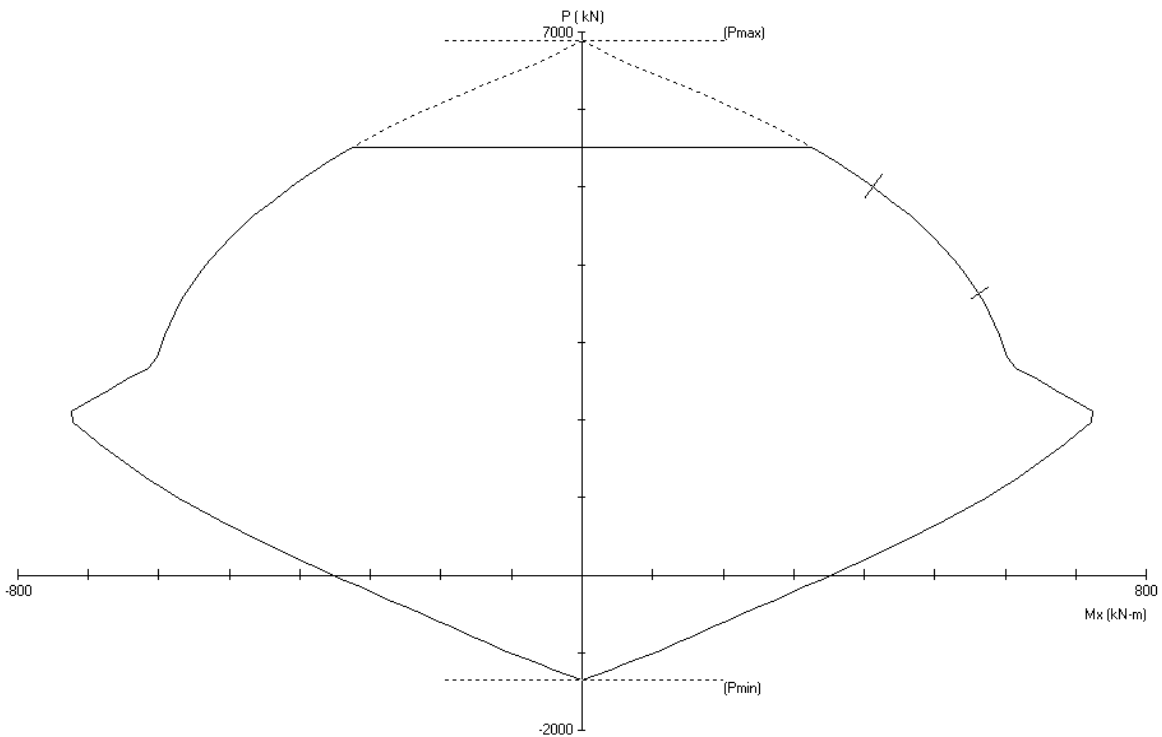
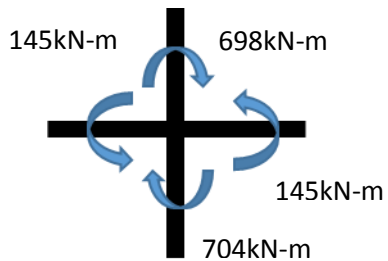
Dari diagram interaksi kolom,  $\phi P_n - abv$  bersesuaian dengan  $\phi M_n = 698 \text{ kN-m}$

### Kolom lantai bawah tinjau

$$\phi P_n - dsn = \text{gaya aksial terfaktor kolom bawah} = 2195 \text{ kN}$$

Dari diagram interaksi kolom,  $\phi P_n - dsn$  bersesuaian dengan  $\phi M_n = 704 \text{ kN-m}$

## Momen kapasitas yang terjadi pada join yang ditinjau



**Gambar 6.7**

Diagram Interaksi Kolom yang ditinjau (600mmx600mm) tulangan 12D22

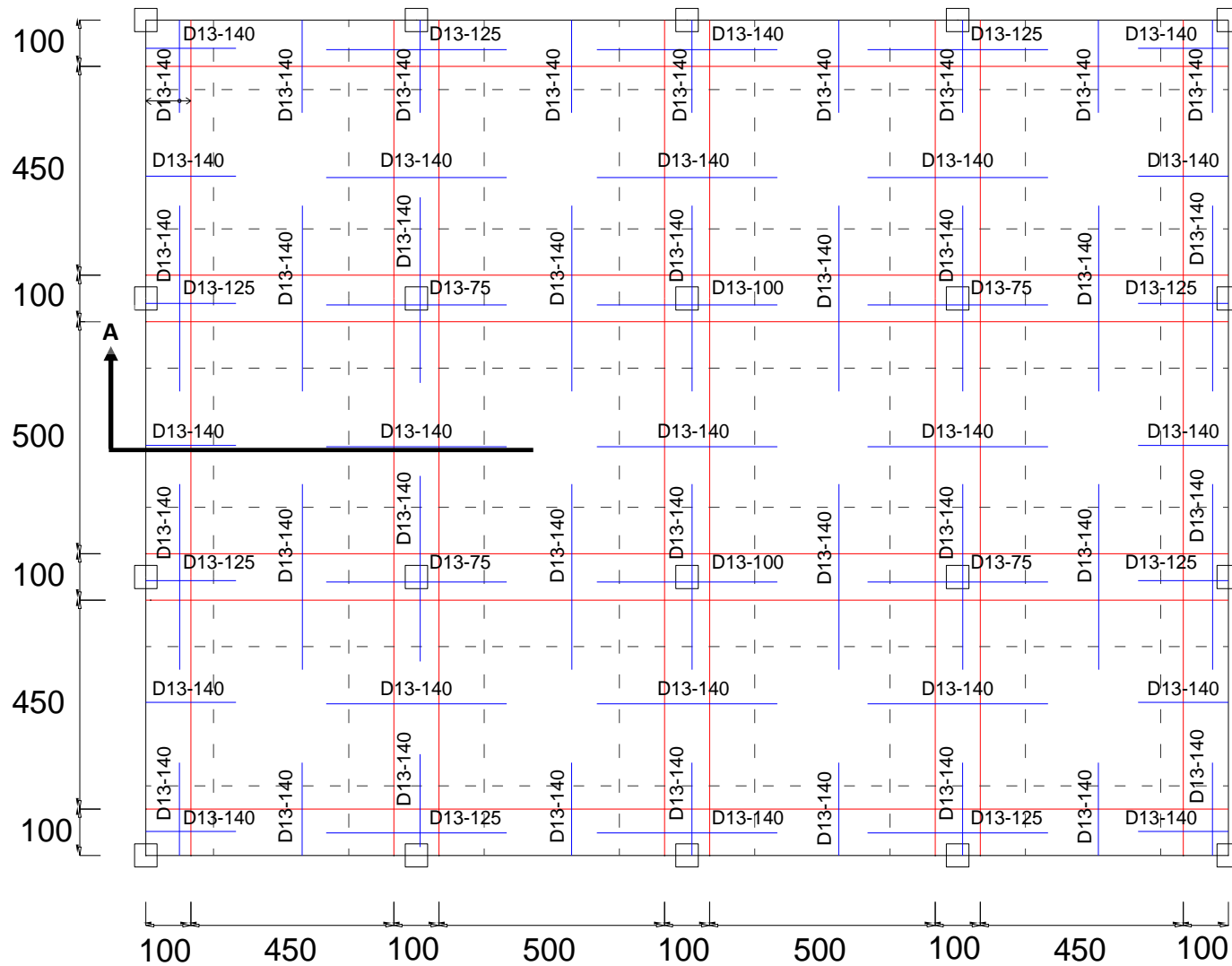
$$\sum M_c = \phi M_{n-abv} + \phi M_{n-dsn}$$

$$= 698 + 704 = 1402 \text{ kN-m} > \sum M_c \text{ OKE}$$

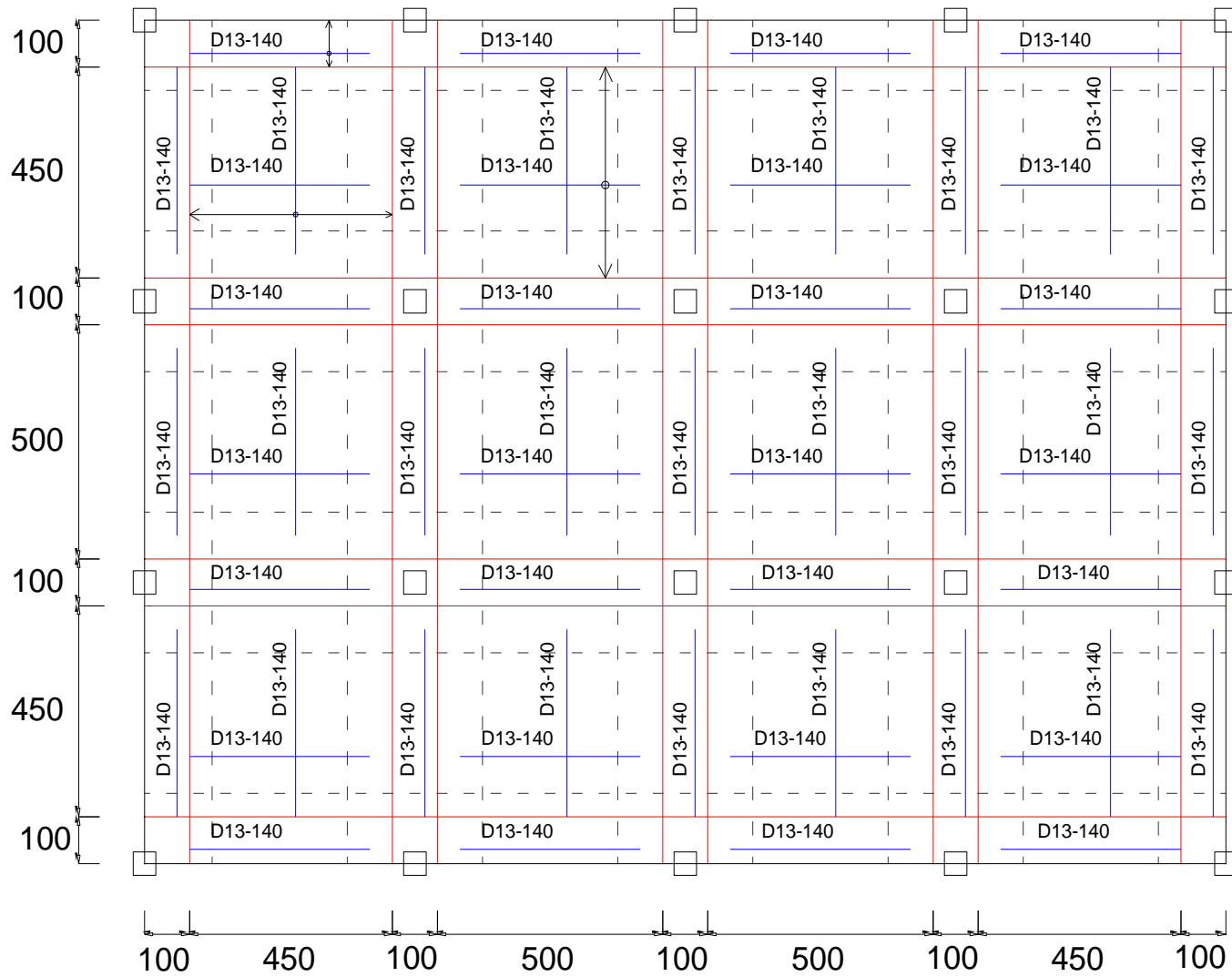
Perlu dicatat disini bahwa untuk desain komponen struktur kolom SRPMK, kuat lebihnya tidak perlu dibatasi sebagaimana halnya yang dilakukan dalam mendesain komponen struktur lentur.



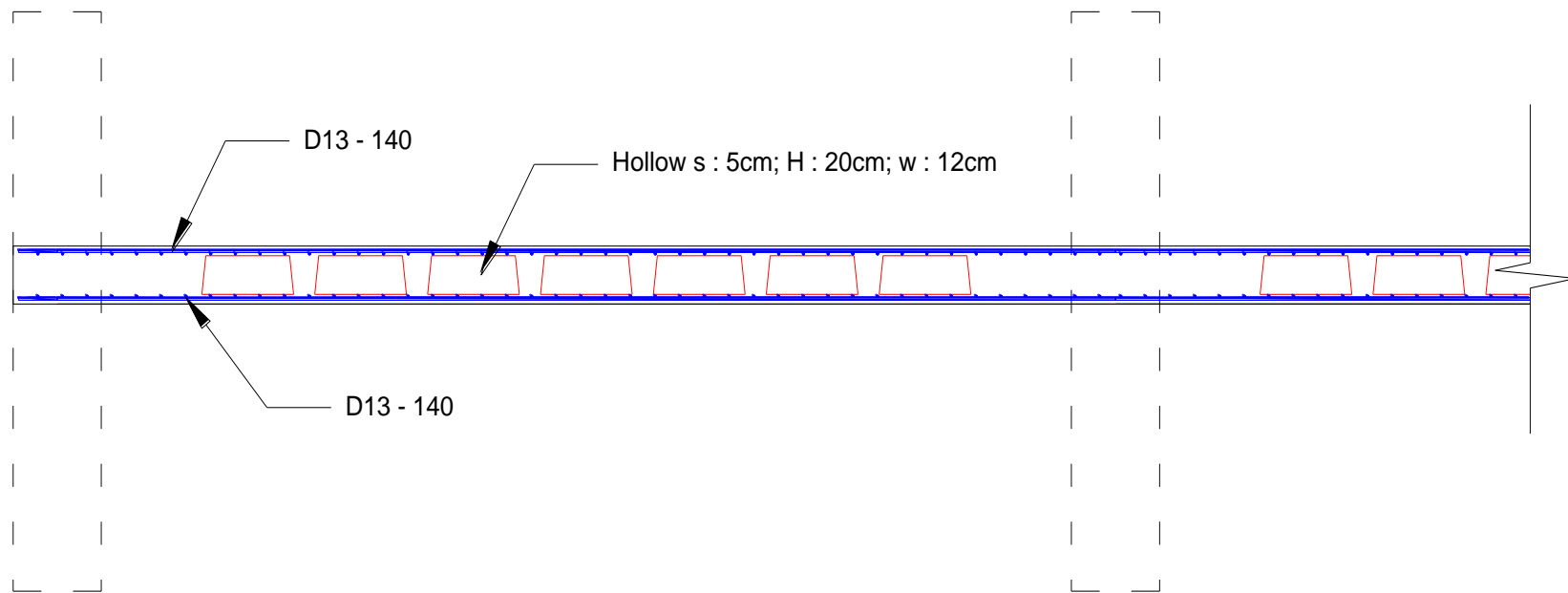
Halaman sengaja dikosongkan



**Gambar 6.8** Detail Tulangan Lentur Tumpuan



**Gambar 6.9** Detail Tulangan Lentur Lapangan



**Gambar 6.10** Section-A

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Umum

Dalam bab ini dibahas secara garis besar seluruh hasil analisis yang telah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya mulai dari tahap permodelan struktur, analisa struktur, evaluasi hasil, penentuan rumus praktis lebar efektif, hingga verifikasi rumus praktis lebar efektif itu sendiri. Untuk memudahkan pemahaman pembaca, maka garis besar studi penelitian ini dirangkum dalam kesimpulan dan saran.

#### 5.2. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari studi yang dilakukan terhadap perumusan lebar efektif pada struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah akibat pengaruh beban lateral statik adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil studi parameter secara simulasi dengan *finite element method* diperoleh hubungan parameter-parameter terhadap lebar efektif ( $b_2$ ) untuk *exterior frame* sehingga menghasilkan rumus praktis yaitu,

$$b_{ef}(ext) = 55.427 + 0.098L_1 - 0.009L_2 + 0.116c_1 + 0.024b_s - 0.857s - 0.802H$$

2. Besar nilai korelasi parameter-parameter bebas yang berhubungan dengan lebar efektif ( $b_{ef}$ ) *exterior frame* urut mulai dari yang terbesar yaitu  $L_1 = 0.935$  (sangat kuat arah positif),  $L_2 = -0.484$  (cukup kuat arah negatif),  $c_1 = 0.206$  (lemah arah positif),  $H = -0.161$  (sangat lemah arah negatif),  $s = -0.086$  (sangat lemah arah negatif),  $b_s = 0.076$  (sangat lemah arah positif).

3. Berdasarkan hasil studi parameter secara simulasi dengan *finite element method* diperoleh hubungan parameter-parameter terhadap lebar efektif ( $b_2$ ) untuk *exterior frame* sehingga menghasilkan rumus praktis yaitu,

$$b_{ef}(int) = 49.850 + 0.14L_1 - 0.004L_2 + 0.058c_1 + 0.025b_s$$

4. Besar nilai korelasi parameter-parameter bebas yang berhubungan dengan lebar efektif (bef) *interior frame* urut mulai dari yang terbesar yaitu  $L1 = 0.97$  (sangat kuat arah positif),  $L2 = -0.459$  (cukup kuat arah negatif),  $c1 = 0.097$  (sangat lemah arah positif),  $bs = 0.059$  (sangat lemah arah positif).

### 5.3. Saran

Untuk mencapai hasil yang lebih baik dalam menentukan lebar efektif pelat pada struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah akibat pengaruh beban lateral perlu dipertimbangkan saran-saran sebagai berikut :

1. Rumus praktis lebar efektif pelat yang dihasilkan dalam penelitian ini didasarkan pada analisis elastik linier dari beberapa permodelan dengan rasio parameter yang terbatas, jadi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan lebih akurat perlu diteliti lebih lanjut dengan menambah perilaku kondisi plastis, sehingga akan diketahui perubahan lebar efektif terhadap perilaku plastisnya.
2. Kurangnya data mengenai percobaan secara eksperimen struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah akibat pengaruh beban lateral dikarenakan teknologi struktu tipe ini masih tergolong baru pada saat studi penelitian ini dilakukan, hal tersebut mempengaruhi kehandalan rumus praktis lebar efektif pelat yang diperoleh khususnya dalam hal verifikasi hasil.

Kami menyadari bahwa usulan rumus praktis lebar efektif struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah akibat pengaruh beban lateral ini masih jauh dari sempurna, namun rumus ini diharapkan dapat dijadikan acuan atau sebagai kontrol perhitungan dalam perancangan struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah terutama di daerah rawan gempa.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute, 2008, Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary, *ACI Committee*, USA
- Allen, F.H, dan Darval, P, 1977, Lateral Load Equivalent Frame, *ACI Journal*, Proceeding V.74, No.7, 675-696.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002), Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional, 2012, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002), Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2002), Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional, 2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2012), Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Chung, J.H, dkk, 2010, An analytical study on the impact of hollow shapes in bi-axial hollow slabs, *Proceedings of Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures S-7*, May 23-28, Hal: 1729-1736.
- Churakov, A, 2014, Biaxial hollow slab with innovative types of voids, *Construction of Unique Buildings and Structures*, 6 (21), 70-88
- Climent, A.B, dkk, 2012, Experimental study on the effective width of flat slab structures under dynamic seismic loading, *Engineering Structure*, Vol. 40, Hal. 361-370.
- Cobiax Technologies AG, 2010, Engineering Manual Issue 2010, www.Cobiax.com, Tersedia: <http://docslide.us/documents/cobiax-engineering-manual-2010.html>, [Februari 2016]

- Dovich, L, dan Wight, J.K, 2005, Effective Slab Width Model for Seismic Analysis of Flat Slab Frames, *ACI Structural Journal*, Vol.102, No.6.
- Hassoun, A, dkk, 2008, Structural Concrete :Theory and Design 4<sup>th</sup> edition, New York : John Wiley & Sons.
- Hemawan, L, 2007, Studi Perumusan Lebar Efektif Pelat Pada Struktur Flat Plate Akibat Beban Lateral, *Tugas Akhir, JTS, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya: Tidak diterbitkan.
- Hwang, S.J, dan Moehle, J.P, 2000, Vertical and Lateral Load Test of Nine-Panel Flat-Plate Frame, *ACI Structural Journal*, V.97, No.1, Hal: 193-204.
- Hwang, S.J, dan Moehle, J.P, 2000, Models for Laterally Loaded Slab-Column Frames, *ACI Structural Journal*, V.97, No.2, Hal: 345-351.
- Hwang, S.J, dan Moehle, J.P, 1990, An Experimental Study of Flat-Plate Structure Under Vertical and Lateral Load, *Report No. UCB/SEMM-90/11* Department of Civil Engineering University of California, Berkeley, Juli, hal- 271
- Kang, T. H. K, dan Wallace, J. W, 2005, Dynamic Responses of Flat Plate Systems with Shear Reinforcement, *ACI Structural Journal*, Vol.102 No.5.
- Lai, T, 2009, Structural Behavior of Bubbledeck<sup>®</sup> Slabs and Their Application to Lightweight Bridge Decks, *Thesis at Departement of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge: Tidak diterbitkan.
- Robertson, I.N, dkk, 2002, Cyclic Testing of Slab-Column Connection with Shear Reinforcement, *ACI Structural Journal*, Vol.99 No.5, Hal: 605-613.
- Sarwono, J, 2006, Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Taskin, T, dan Peker, K, 2014, Design Factors and The Economical Application of Spherical Type Voids in RC Slabs, *Proceedings of International Scientific Confrence People, Buildings and Environment 2014*, Hal: 448-458.
- Tavio, dan Hemawan, 2009, Studi Lebar Efektif Pelat Pada Struktur *Flat Plate* Akibat Beban Gempa, *Dinamika Teknik Sipil*, Vol. 10, No.3, Hal: 280-284.



Qian, K, dan Li, Bing, 2013, Experimental Study of Drop-Panel Effects on Response of Reinforced Concrete Flat Slabs after Loss of Corner Column, *ACI Structural Journal*, Vol.110 No.28.

## BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Noerman Adi Prasetya ini dilahirkan di Pulau Bunyu pada tanggal 21 Mei 1989. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 009 Bunyu, SMP Negeri 01 Bunyu, dan SMA Negeri 1 Bunyu. Lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Negeri Malang pada tahun 2007, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan program Magister (S2) di Jurusan Teknik Sipil Program Studi Teknik Struktur ITS. Gelar Magister Teknik diperoleh penulis pada tahun 2016 dengan judul tesis "*Studi Lebar Efektif Pelat Struktur Flat Plate dengan Hollow Dua-Arah Dibawah Beban Gempa*".

Email: [noermanbunyu@yahoo.co.id](mailto:noermanbunyu@yahoo.co.id)