

DESAIN TULANGAN LENTUR PELAT PADA STRUKTUR FLAT PLATE BER-HOLLOW DUA ARAH DENGAN METODE LEBAR EFEKTIF

Noerman Adi Prasetya¹, Ahmad Hernadi²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Borneo Tarakan

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Borneo Tarakan

E-mail¹: noerman@borneo.ac.id

E-mail²: ahernadi@borneo.ac.id <mailto:noerman@borneo.ac.id>

Abstrak

Untuk mendesain tulangan pelat pada struktur *flat plate* ber-hollow dua arah perlu penyederhanaan dari bentuk distribusi tegangan yang terjadi, caranya adalah dengan memanfaatkan lebar efektif dari *column strip area* dan *middle strip area*, dengan cara ini bentuk momen yang berkontur 3-dimensi diubah menjadi lembaran-lembaran 2-dimensi yang sederhana. Metode desain tulangan memanfaatkan lebar efektif pelat dari struktur *flat plate* ber-hollow dua arah yang menggunakan *hollow* berbentuk trapesium, selanjutnya tegangan pelat yang sebelumnya tidak merata didistribusikan merata pada lebar efektif pelatnya dengan konsep redistribusi momen. Hasil desain lentur dengan menggunakan tulangan ber-diameter 13 mm maka diperoleh spasi terkecil dan terbesar pada *column strip* sebesar 75 mm dan 140 mm, sedangkan spasi terkecil dan terbesar pada *middle strip* adalah sama besar yakni 140 mm. Hal ini membuktikan bahwa tegangan pada bagian *column strip* terbilang lebih bervariasi, sedangkan pada bagian *middle strip* terbilang relatif kecil dan sama besar.

Kata kunci - Lebar Efektif Pelat, Redistribusi Momen

Abstract

Designing plate plates on a two-way hollow flat plate structure needs to be simplified from stress distribution form, the way is to utilize effective width of the column strip area and middle strip area, in this way the shape of 3-dimensional contoured moment is transformed into 2- simple dimensions. Reinforcement design method utilizes the effective width of the plate from a two-way hollow flat plate structure using a trapezoid-shaped hollow, then an unevenly distributed plate tension is distributed evenly over the effective width of the plate with the concept of moment redistribution. The result of bending design using 13 mm diameter reinforcement is obtained by the smallest and largest spacing in the column strips of 75 mm and 140 mm, while the smallest and largest spacing of the middle strip is as large as 140 mm. This proves that stress on the column strip part is more varied, while in the middle of the strip is relatively small and equal.

Keywords - *Effective Width, Moment Redistribution*

1. PENDAHULUAN

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 [4]. Sistem BHS merupakan evolusi dari gabungan sistem *waffle slab* (pelat rusuk) dan *hollow slab* satu arah.

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, Lihat Gambar 1. 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 di lebar efektifnya, untuk lebih jelas lihat Gambar 1.



Gambar 1. Model Lebar Efektif Flat Plate

Lebar efektif pelat dihitung dengan menggunakan normalisasi persamaan, umumnya didasarkan pada perhitungan dengan *Finite Element method* [6] dan eksperimen statis atau *quasi-static* [7].

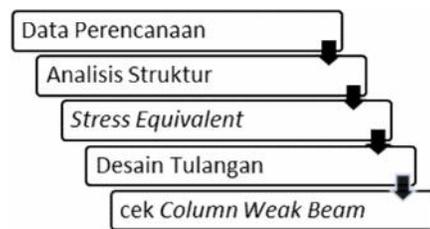
2. METODE

Penelitian dibagi menjadi beberapa sub fase yang saling berkaitan untuk memetakan proses penelitian. Gambar 2 menampilkan fase-fase penelitian yang dilakukan, meliputi data perencanaan, analisis struktur, stress equivalent, desain tulangan, dan cek column weak beam. Data perencanaan berisi tentang data-data perencanaan yang meliputi fungsi bangunan; lokasi; tinggi tipikal lantai; mutu beton; mutu baja tulangan; panel; bentang; solid width; dan ukuran hollow.

Analisis struktur adalah tahap mencari gaya-gaya yang terjadi pada struktur berdasarkan beban rencana meliputi beban mati (berat sendiri dan beban tetap), beban hidup (beban sementara), dan beban gempa. stress equivalent merupakan tahap menyederhanakan bentuk tegangan yang tidak seragam menjadi bentuk tegangan yang sederhana dan seragam tetapi sama besar. Dengan penyederhanaan ini perhitungan desain dapat menggunakan kaidah-kaidah yang umum, sehingga hasil desain lebih akurat dan cepat.

Desain tulangan merupakan tahapan akhir dari proses perhitungan tulangan lentur struktur flat plate ber-hollow dua arah, dalam tahap ini struktur pelat didesain mampu menahan momen nominal akibat beban-beban ultimate.

Tahap terakhir adalah tahap cek column weak beam, tahap merupakan tahap untuk mengontrol kekuatan pertemuan di antara elemen balok dan elemen kolom. Perlunya tahap ini untuk memastikan bahwa tipe dari keruntuhan struktur adalah runtuh tarik, atau elemen balok mengalami keruntuhan lebih dahulu.



Gambar 3. Skema Tahapan Desain

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

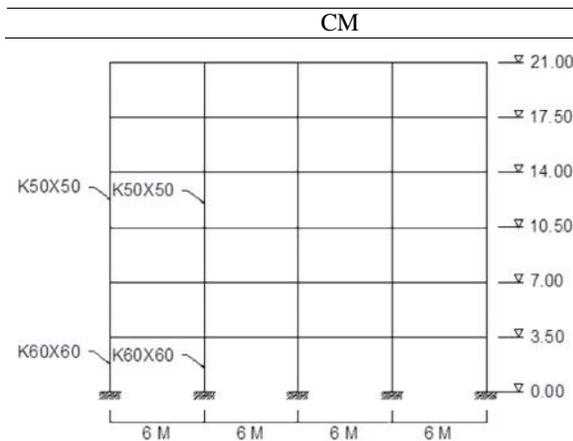
Proses perhitungan tulangan lentur struktur flat plate ber-hollow dua arah yang menjadi pokok penelitian dibagi menjadi 4 tahap proses, yaitu concept design, initial design dan detail design dimana satu tahap dengan tahap selanjutnya saling berkaitan [5].

3.1 Data Perencanaan

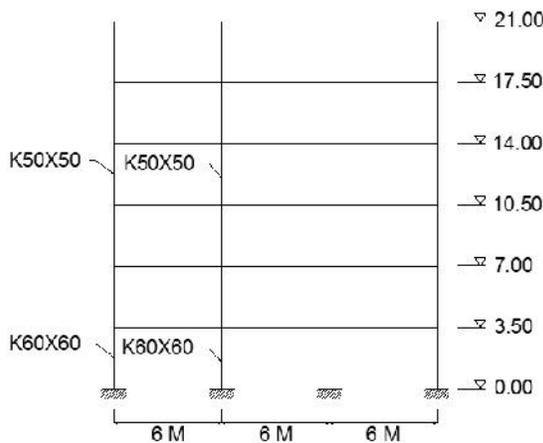
Pada tahap ini diberikan data perencanaan untuk struktur flat plate ber-hollow dua arah dibawah beban gempa sebagai berikut:

Tabel 1. Data perencanaan

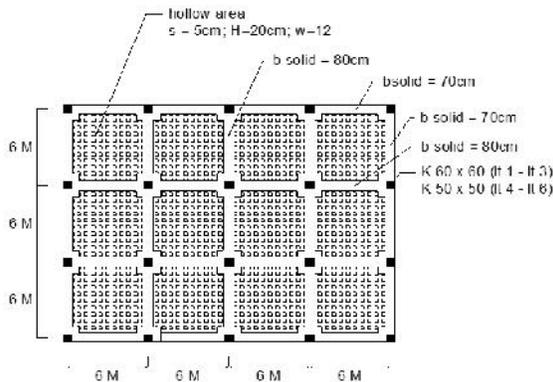
| Item | Nilai |
|-----------------------|--|
| Fungsi bangunan | : Perkantoran |
| Lokasi | : Padang; Tanah sedang |
| Tinggi lantai tipikal | : 3.5 M |
| Mutu beton | : 30 Mpa |
| Mutu tulangan | : 400 Mpa |
| Panel | : 4 x 3 (12 panel) |
| Bentang | : $I_x = 6 \text{ M}$; $I_y = 6 \text{ M}$ |
| Solid width | : b_s ekterior = 70 CM b_s interior = 80 CM |
| Hollow area | : $s = 5 \text{ CM}$; $H = 20 \text{ CM}$; $w = 12 \text{ CM}$; $h_{tot} = 30$ |



Gambar 2. Tampak Rangka Arah Panjang



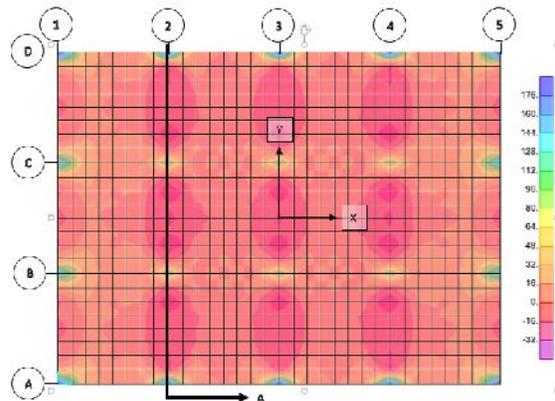
Gambar 3. Tampak Rangka Arah Pendek



Gambar 4. Geometri Denah Lantai

3.2 Analisis Struktur

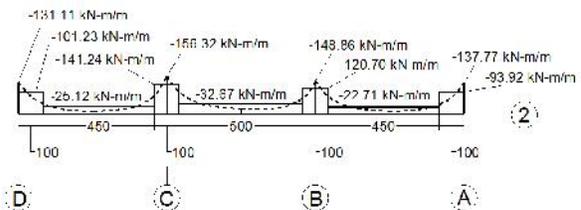
Pada tahap ini dilakukan perhitungan gaya momen untuk pelat terhadap beban terfaktor *envelope* / maksimal untuk masing-masing kedua arahnya, hasil kontur gaya momen arah - x atau arah panjang rangka (M_x) untuk lantai 1 dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 5. Kontur M_x -aktual Pelat Lantai 1

3.3 Stress Equivalent

Pada tahap ini dilakukan perhitungan besaran gaya momen selebar b_{ef} untuk pelat terhadap beban terfaktor *envelope* / maksimal untuk masing-masing kedua arahnya. Sebagai gambaran perhitungan dilakukan pemotongan tepat sumbu - 2, dengan memotong tegak lurus arah beban lateral dari hasil kontur M_x untuk lantai 1 dapat divisualisasikan dengan jelas pengkondisian distribusi gaya momen selebar b_{ef} , hasilnya dapat dilihat pada Gambar. 8 di bawah ini.



Gambar 6. Pot A (potongan redistribusi momen)

Pada Gambar 8 terlihat bahwa adanya *equivalent stress* 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 terjadinya keruntuhan yang prematur.

3.4 Desain Tulangan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan beserta distribusinya dengan menggunakan acuan besar gaya momen terbesar yang mana secara praktis gaya momen untuk struktur *flat plate* ber-*hollow* dua arah dibagi menjadi *exterior frame* dan *interior frame*. Sebagai gambaran, perhitungan mengambil gaya 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. Tahapan selanjutnya adalah menghitung kebutuhan tulangan lentu dengan cara balok sederhana. 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 2 di bawah ini.

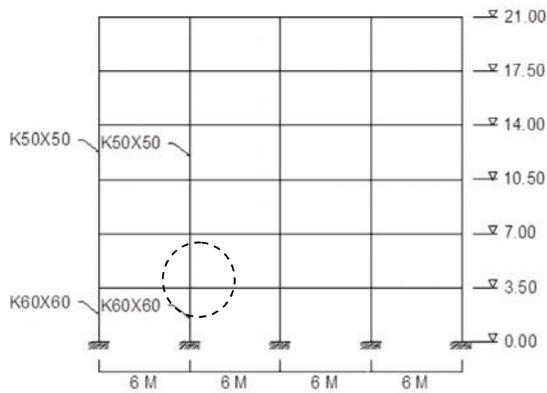
Tabel 2. Kebutuhan tulangan lentur/*strip*

| 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) |
| 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 | 151.69 | | 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 |

Adanya persamaan jumlah tulangan dengan nilai gaya yang jauh berbeda dikarenakan penggunaan rho min (ρ_{min}) pada perhitungan balok.

3.5 Cek Strong Column Weak Beam

Tahap ini merupakan tahap kontrol kekuatan pertemuan antara elemen balok dan elemen kolom. Perlunya tahap ini adalah untuk memastikan bahwa tipe keruntuhan struktur adalah runtuh tarik, atau elemen balok mengalami keruntuhan lebih dahulu sebelum elemen kolom. Tahap ini terbagi menjadi 3 tahap, diantaranya mendefinisikan kolom, cek konfigurasi penulangan, dan cek kapasitas balok-kolom.



Gambar 7. Lokasi Join Tinjau (2-B)

3.5.1 Mendefinisikan kolom

Berdasarkan SNI 2847-2002, 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 adalah

$$2195 \text{ kN} > A_g f_c' / 10 \text{ (OKE)}$$

- 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)

3.5.2 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 ρ_g dibatasi tidak kurang dari 0.01 dan tidak lebih dari 0.06.

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

$$0.01 < \rho_g < 0.06$$

3.5.3 Cek kapasitas balok-kolom

Berdasarkan SNI 2847-2002 Pasal 23.4.2.2 untuk kuat kolom ϕM_n harus memenuhi

$$\sum M_c \geq 1.2 \sum M_g.$$

Perhitungan kapasitas momen tulangan balok di join yang ditinjau (untuk goyangan ke kanan) dibuat simetris yaitu 145kN-m untuk tulangan atas dan 145kN-m untuk tulangan bawah. Akibat goyangan ke kanan, ϕM_n ujung-ujung balok adalah sebesar:

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

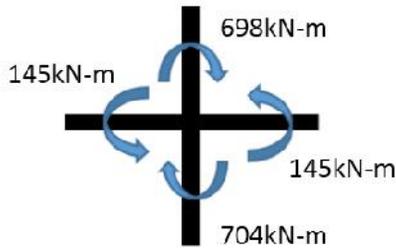
Untuk kolom lantai atas yang di tinjau diperoleh besarnya gaya aksial terfaktor yaitu

$$\phi P_n - abv = 1735 \text{ kN.}$$

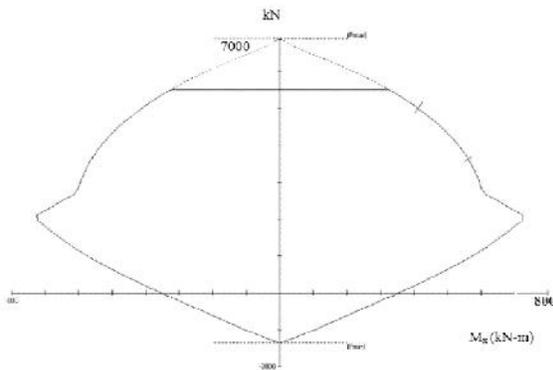
Dari diagram interaksi kolom, $\phi P_n - abv$ bersesuaian dengan ϕM_n sebesar 698 kN-m. Untuk kolom lantai atas yang di tinjau diperoleh besarnya gaya aksial terfaktor yaitu

$$\phi P_n - dsn = 2195 \text{ kN.}$$

Dari diagram interaksi kolom, $\phi P_n - dsn$ bersesuaian dengan ϕM_n sebesar 704 kN-m.



Gambar 8. Momen Kapasitas



Gambar 9. Diagram Interaksi Kolom

$$\begin{aligned} \sum M_c &= \phi M_{n-abv} + \phi M_{n-dsn} \\ &= 698 + 704 = 1402 \text{ kN-m} > \sum M_c \text{ (oke)} \end{aligned}$$

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

4. KESIMPULAN

Hasil desain lentur dengan menggunakan tulangan ber-diameter 13 mm maka diperoleh spasi terkecil dan terbesar pada *column strip* sebesar 75 mm dan 140 mm, sedangkan spasi terkecil dan terbesar pada *middle strip* adalah sama besar yakni 140 mm. Hal ini membuktikan bahwa tegangan pada bagian *column strip* terbilang lebih bervariasi, sedangkan pada

bagian *middle strip* terbilang relatif kecil dan sama besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini terutama mahasiswa, teknisi, dan para dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Badan Standarisasi Nasional, 2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002), Jakarta: Badan Standarisasi Nasional**
- [2] **Badan Standarisasi Nasional, 2002, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2002), Jakarta: Badan Standarisasi Nasional**
- [3] **Prasetya, N.A, Tavio, dan Raka, I.G.P. 2016. Studi Lebar Efektif Pelat Pada Struktur Flat Plate dengan Hollow – 2 arah dibawah Beban Gempa. Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXV. 2016 Surabaya. 30 Juli 2016. B-8-1**
- [4] **Taskin, T, dan Peker, K. 2014. Design Factors and The Economical Application of Spherical Type Voids in RC**

- Slabs, Proceedings of International Scientific Conference People, Buildings and Environment 2014, Hal: 448-458.***
- [5] ***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 StructuresS-7.May 23-28. Hal: 1729-1736.***
- [6] ***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.***
- [7] ***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.***