

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

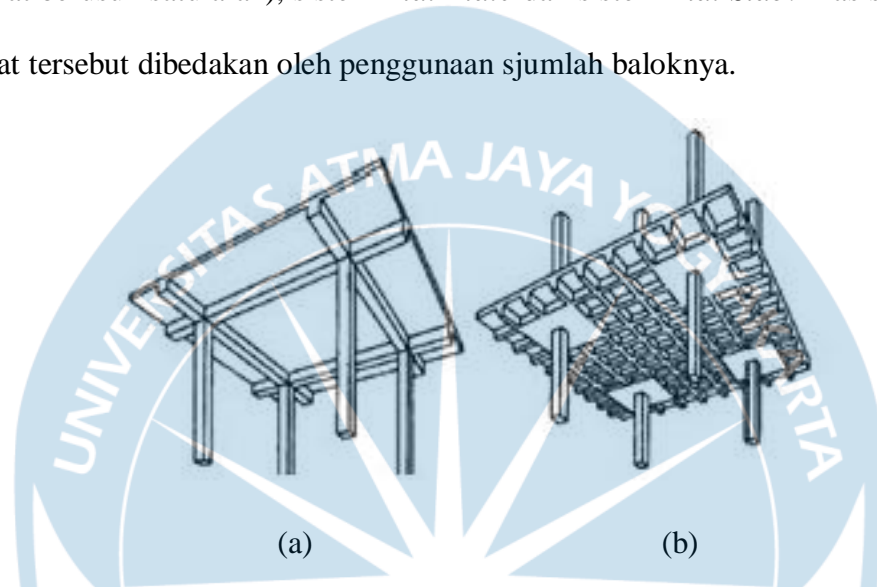
#### 2.1 Tinjauan Umum

Dari segi bentuk dan sistem balok *Joist* yang membentuk segmen-segmen balok dengan sistem grid (*Waffle Slab*) mempunyai kekuatan jauh lebih besar dibandingkan dengan balok biasa. Struktur grid didefinisikan sebagai struktur yang dibebani dengan beban yang tegak lurus terhadap bidang dari struktur tersebut. Dari sifat kaku dan kekuatannya, kelebihan struktur grid ini dapat mendukung sistem perancangan yang menghendaki adanya variasi bentuk struktur dengan bentangan yang lebar dan memberikan ruang yang lebih luas. Struktur grid merupakan model struktur yang ideal, karena sistem kerjanya yang mendekati kenyataan praktek dilapangan. Beberapa keuntungan yang dimiliki struktur grid adalah :

1. Mempunyai kekakuan dan kekuatan yang besar, terutama pada bentangan yang lebar pada arah horisontal pada portal bangunannya.
2. Mampu mendistribusi beban dan momen secara merata pada kedua arah bentangan
3. Pada struktur grid jumlah kolom dapat dikurangi, sehingga dapat memberikan ruang yang lebih luas.
4. Mempunyai bentuk yang seragam, dengan berbagai macam variasi sesuai yang diinginkan, sifat fleksibilitas ruang yang cukup tinggi dan sederhana sehingga lebih luwes dalam mengikuti pembagian panel-panel eksterior dan interiornya.

## 2.2 Sistem Pelat

Ada beberapa macam sistem pelat, diantaranya adalah sistem pelat konvensional, sistem *Waffle Slab* (pelat berusuk dua arah), sistem *One Joist Slab* (pelat berusuk satu arah), sistem *Flat Plate* dan sistem *Flat Slab*. Masing-masing pelat tersebut dibedakan oleh penggunaan jumlah baloknya.



**Gambar 2.1** Sistem Pelat Konvensional (a) Dan Sistem Pelat *Waffle Slab* (b)

Dalam konstruksi beton bertulang, pelat biasanya terdiri dari salah satu sistem di bawah ini:

### 1. Sistem Pelat Ditumpu oleh Dinding (*Wall-Supported Slab System*)

Pada sistem ini, tebal pelat berkisar antara 100-200 mm dengan panjang bentang sekitar 3-7,5 m ditumpu oleh *Load-Bearing Walls*. Sistem ini digunakan terutama pada bangunan tingkat rendah.

### 2. Sistem Pelat Ditumpu oleh Balok (*Beam-Supported Slab System*)

Sistem ini umumnya digunakan pada bangunan tingkat tinggi dan juga struktur rangka tingkat rendah. Beban gravitasi yang bekerja pada pelat diteruskan ke kolom melalui hubungan balok. Balok yang langsung berhubungan dengan

kolom disebut balok induk (atau *Girders*), sedangkan balok yang ditumpu oleh balok induk dinamakan balok anak.

Kemudian pelat dibedakan menjadi pelat satu arah dan pelat dua arah berdasarkan kemampuannya dalam menyalurkan gaya akibat beban. Hal ini ditentukan berdasarkan momen lentur yang lebih dominan pada bentang satu arah atau dua arah dengan membandingkan berdasarkan rasio bentang terpanjang dan bentang terpendeknya.

### **2.3 Sistem Pelat Waffle Slab**

Pelat dengan bentang yang panjang dan relatif memikul beban hidup yang ringan dapat di desain menggunakan konstruksi balok *Joist* menjadi sistem *Waffle Slab*. Menurut SNI 2847:2019, konstruksi balok *Joist* terdiri dari kombinasi monolit rusuk berspasi beraturan dan *Slab* di atasnya yang disusun untuk membentang dalam satu arah atau dua arah ortogonal. Ketentuan dalam menentukan jarak antar rusuk dan dimensi rusuk adalah sebagai berikut:

1. Lebar rusuk tidak boleh kurang dari 100 mm,
2. Tinggi rusuk tidak lebih dari 3½ kali lebar minimum badannya,
3. Spasi bersih antar rusuk tidak boleh melebihi 750 mm.

Konstruksi balok joist yang tidak memenuhi batasan di atas harus dirancang sebagai pelat dan balok.

### **2.4. Pembebanan Pada Struktur**

Pada suatu struktur bangunan, terdapat beberapa jenis beban yang bekerja. Struktur bangunan yang direncanakan harus mampu menahan beban-beban yang

bekerja pada struktur tersebut. Menurut (SNI 1727-2019) tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain, ada beberapa jenis beban yang dipikul oleh suatu stuktur bangunan, yaitu:

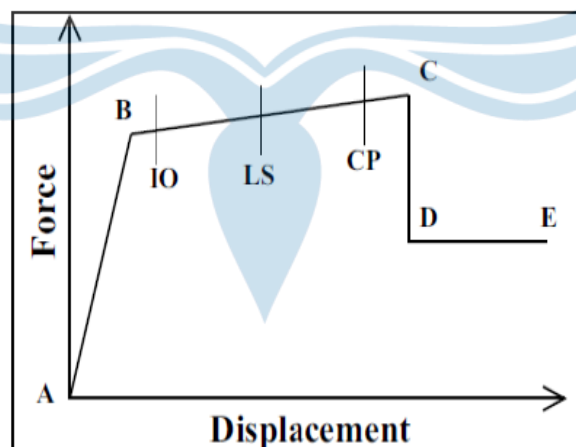
- a. Beban mati, adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung itu. (SNI 1727 : 2019)
- b. Beban hidup, adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu. (SNI 1727 : 2019)
- c. Beban gempa, adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang merupakan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

## **2.5 Sendi Plastis Balok dan Kolom**

Menurut Wibowo (2010) Sendi plastis adalah suatu tanda ketidakmampuan pada balok atau kolom dalam menahan gaya dalam. Permodelan pada sendi plastis digunakan untuk mendefinisikan terjadinya momen rotasi yang ditempatkan pada beberapa tempat disepanjang bentang balok kolom. Sendi diasumsikan terletak

pada masing-masing ujung pada elemen balok dan kolom. Apabila bangunan menerima beban gempa pada tingkatan tertentu, maka akan terjadi sendi plastis pada balok maupun kolom tersebut dan pada kondisi ini nilai momen tidak mengalami perubahan. Pada saat timbulnya sendi plastis pada suatu komponen struktur maka momen yang semula dihitung dengan cara elastis harus dihitung kembali sesuai dengan perubahan sifat konstruksi yang ditimbulkan oleh adanya sendi plastis tersebut.

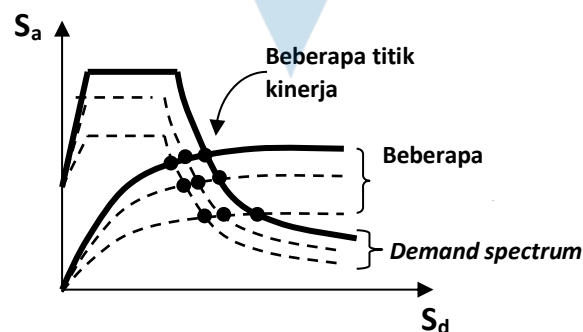
Pada elemen kolom menggunakan tipe sendi *Default* P-M2-M3, dengan pertimbangan bahwa elemen kolom terdapat hubungan gaya aksial dengan momen (diagram interaksi P-M). Sedangkan untuk elemen balok menggunakan *Default* V2 dan *Default* M3, dengan pertimbangan bahwa balok efektif menahan *Base Shear* pada sumbu lemah dan momen terhadap arah sumbu kuat, sehingga diharapkan sendi plastis terjadi pada balok



**Gambar 2.2.** Diagram Model Sendi Plastis Untuk Balok dan Kolom  
(Sumber: CSI, 2007)

## 2.6 Metode Spektrum Kapasitas

*Capacity Spectrum Method* adalah salah satu metode dari ATC – 40. *Capacity Spectrum Method* terdiri dari 2 buah grafik yang disebut spektrum, yaitu spektrum kapasitas (*Capacity Spectrum*) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya geser dasar struktur dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan), dan spektrum *Demand* yang menggambarkan besarnya *Demand* (tuntutan kinerja) akibat gempa. Spektrum *Demand* didapat dengan cara mengubah spektrum respons yang umumnya dinyatakan dalam spektral kecepatan dan periode menjadi format spektral percepatan dan spektral perpindahan. Format baru ini dinamakan *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS). Kurva kapasitas yang didapatkan dinyatakan dalam satuan gaya (kN) dan perpindahan (m), sedangkan spektrum *Demand* ini memiliki satuan percepatan ( $m/detik^2$ ) dan perpindahan (m). Satuan dari kedua kurva tersebut perlu diubah dalam format yang sama, yaitu spektral percepatan ( $S_a$ ) dan spektral perpindahan ( $S_d$ ) agar dapat ditampilkan dalam satu tampilan. (Ginsar, 2007)

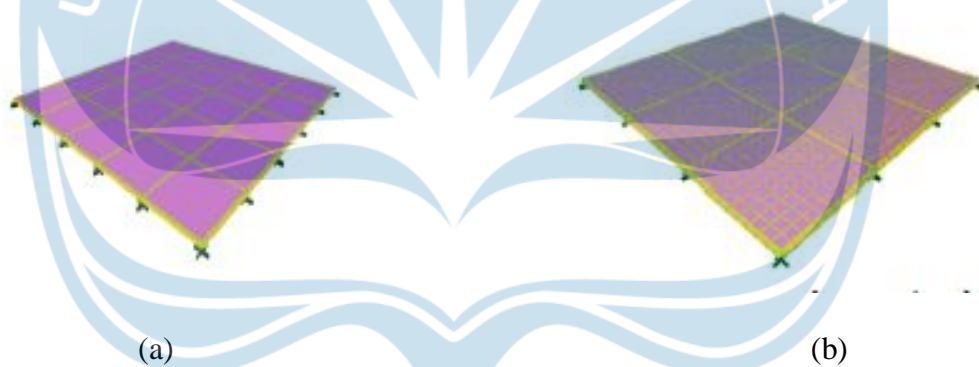


**Gambar 2.3.** Beberapa Titik Kinerja Dalam Satu Grafik Dalam CSM

## 2.7 Studi Perbandingan Desain Sistem Pelat Berusuk Dua Arah (*Waffle Slab*) dan Pelat Konvensional Menggunakan SAP 2000 v.14

Susanti, Dkk (2019), melakukan analisis serta membandingkan sistem pelat lantai konvensional terhadap sistem *Waffle Slab* ditinjau dari segi kekakuan, ketebalan pelat, jarak antar kolom dan penggunaan material beton serta tulangan.. Dengan menetapkan tebal pelat 120 mm, ukuran balok 40/60 dan ukuran balok rusuk 20/40 dengan pemodelan sebagai berikut:

Pemodelan 3D pelat pada program SAP 2000 v.14, menggunakan sistem *Waffle Slab* dan sistem pelat lantai konvensional.



**Gambar 2.4** Pemodelan SAP 2000 Untuk Sistem Pelat Konvensional (a) dan *Waffle Slab* (b)

Berdasarkan hasil analisis struktur pelat berupa momen, nilainya digunakan untuk analisis penulangan pelat. Hasil analisis penulangan pelat dengan sistem *Waffle Slab* dapat dilihat pada tabel 2.1. Dan hasil analisis penulangan pelat dengan sistem pelat konvensional dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini.

**Tabel 2.1** Rekapitulasi Penulangan Pelat Dengan Sistem *Waffle Slab*

| Arah X                   |            | Arah Y                   |            |
|--------------------------|------------|--------------------------|------------|
| As<br>(mm <sup>2</sup> ) | tul pasang | As<br>(mm <sup>2</sup> ) | tul pasang |
| 210                      | Ø8 - 200   | 163,33                   | Ø8 - 300   |

**Tabel 2.2** Rekapitulasi Penulangan Pelat Dengan Sistem Pelat Konvensional

| Arah X                   |               |                          |               | Arah Y                   |               |                          |               | Susut                    |               |
|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| Lapangan                 |               | Tumpuan                  |               | Lapangan                 |               | Tumpuan                  |               |                          |               |
| As<br>(mm <sup>2</sup> ) | tul<br>pasang | As<br>(mm <sup>2</sup> ) | tul<br>pasang | As<br>(mm <sup>2</sup> ) | tul<br>pasang | As<br>(mm <sup>2</sup> ) | tul<br>pasang | As<br>(mm <sup>2</sup> ) | tul<br>pasang |
| 503                      | Ø8 -<br>100   | 503                      | Ø8 -<br>100   | 503                      | Ø8 -<br>100   | 503                      | Ø8 -<br>100   | 180                      | Ø6 -<br>150   |

Berdasarkan hasil analisis struktur balok yaitu momen dan gaya lintang dilakukan analisis tulangan balok. Momen digunakan untuk analisis tulangan longitudinal balok. Hasil analisis tulangan longitudinal balok dengan sistem *Waffle Slab* dan konvensional dapat dilihat pada tabel 2.3. Dan gaya lintang, digunakan untuk analisis tulangan geser balok. Hasil analisis tulangan geser balok dengan sistem *Waffle Slab* dan konvensional dapat dilihat pada tabel 2.4.

**Tabel 2.3** Rekapitulasi Penulangan Longitudinal Balok

| Jenis Pelat        | Tulangan | Balok Tengah<br>(40/60) |             | Balok Tepi<br>(40/60) |             | Balok Rusuk<br>(20/40) |             |
|--------------------|----------|-------------------------|-------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|
|                    |          | Tul.<br>Tump            | Tul.<br>Lap | Tul.<br>Tump          | Tul.<br>Lap | Tul.<br>Tump           | Tul.<br>Lap |
| <i>Waffle Slab</i> | Tarik    | 12D22                   | 5D22        | 10D16                 | 5D16        | 6D14                   | 3D14        |
|                    | Tekan    | 4D22                    | 2D22        | 2D16                  | 2D16        | 2D14                   | 2D14        |
| Konvensional       | Tarik    | 2D12                    | 2D12        | -                     | -           | -                      | -           |
|                    | Tekan    | 2D12                    | 2D12        | -                     | -           | -                      | -           |



**Tabel 2.4** Rekapitulasi Penulangan Geser Balok

| Jenis Pelat  | Balok Tengah<br>(40/60) |              | Balok Tepi (40/60) |              | Balok Rusuk<br>(20/40) |              |
|--------------|-------------------------|--------------|--------------------|--------------|------------------------|--------------|
|              | Tul.<br>Tump            | Tul.<br>Lap  | Tul.<br>Tump       | Tul.<br>Lap  | Tul.<br>Tump           | Tul.<br>Lap  |
| Waffle Slab  | 3Ø8 -<br>100            | 3Ø8 -<br>100 | 3Ø8 -<br>100       | 3Ø8 -<br>100 | 3Ø8 -<br>100           | 3Ø8 -<br>100 |
|              | 3Ø8 -<br>100            | 3Ø8 -<br>100 | 3Ø8 -<br>100       | 3Ø8 -<br>100 | 3Ø8 -<br>100           | 3Ø8 -<br>100 |
| Konvensional | 3Ø8 -<br>100            | 3Ø8 -<br>100 | -                  | -            | -                      | -            |
|              | 3Ø8 -<br>100            | 3Ø8 -<br>100 | -                  | -            | -                      | -            |

Dari analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan jarak antar kolom yang sama dan tebal pelat yang sama, lendutan pelat dengan sistem pelat konvensional lebih besar dibanding sistem *Waffle Slab*. Bila dirata-rata, maka terdapat perbedaan nilai lendutan sebesar 200%.
2. Jarak antar perletakan maksimum pada pelat dengan sistem *Waffle Slab* adalah 10 meter dan pelat dengan sistem konvensional adalah 6 meter sehingga jarak antar perletakan pada sistem *Waffle Slab* lebih panjang 66,67% dibanding dengan sistem pelat konvensional.
3. Hal ini berdampak pada penggunaan jumlah kolom, pada sistem *Waffle Slab* memiliki jumlah kolom 16 buah dan pada sistem pelat konvensional memiliki jumlah kolom 36 buah sehingga sistem *Waffle Slab* dapat menghemat

penggunaan kolom sebesar 55,57% dibanding dengan sistem pelat konvensional.

4. Tebal pelat pada sistem *Waffle Slab* adalah 60mm dan tebal pelat dengan sistem konvensional adalah 120mm. Sehingga sistem *Waffle Slab* memiliki tebal pelat lebih tipis 40% dari sistem pelat konvensional.
5. Volume beton pada sistem *Waffle Slab* lebih boros 27,64% dari sistem pelat konvensional
6. Berat tulangan baja pada sistem *Waffle Slab* lebih boros 66,99% dari sistem pelat konvensional.

## **2.8 Kajian Efisiensi Sistem *Waffle Slab* Terhadap Pelat Lantai Konvensional.**

Paula dan Leo (2019), melakukan kajian efisiensi sistem struktur menggunakan sistem *Waffle Slab* terhadap pelat lantai konvensional. Penelitian ini dilakukan analisis dan desain kajian efisiensi dalam penggunaan sistem *Waffle Slab* terhadap pelat konvensional ditinjau dari segi kekakuan, ketebalan pelat, jarak antar kolom dan penggunaan material beton serta tulangan. berdasarkan analisis struktur menggunakan metode *Equivalent Frame Method* dan menggunakan *Finite Element Program*. Dengan data perencanaan dan hasil analisis sebagai berikut:

Data Spesifikasi :

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Tinggi <i>story</i>   | = 4 m    |
| $f'c$ balok dan pelat | = 35 MPa |
| $f'c$ kolom           | = 40 MPa |

|                                                 |                         |
|-------------------------------------------------|-------------------------|
| $f_y$                                           | = 400 MPa               |
| <i>Superimposed Dead Load, SDL</i>              | = 225 kg/m <sup>2</sup> |
| <i>Live Load</i> (fungsi bangunan perpustakaan) | = 479 kg/m <sup>2</sup> |
| Ukuran Kolom                                    | = 500/500 mm            |
| Ukuran Balok                                    | = 400/800               |

### 1. Analisis bentang maksimum pelat

Dengan menetapkan tebal pelat 125 mm, dan ukuran balok seperti pada data spesifikasi di atas, dilakukan analisis bentang maksimum pelat terhadap sistem *Waffle Slab* dan sistem pelat konvensional dengan kombinasi pembebanan 1 DL + 1 SDL + 1 LL didapatkan bahwa jarak antar kolom maksimum pada sistem pelat konvensional adalah 9,2 m, sedangkan pada sistem *Waffle Slab* adalah 12,5 m, maka jarak antar kolom pada sistem *Waffle Slab* lebih panjang 35% dibandingkan dengan sistem pelat konvensional.

### 2. Rekapitulasi Penulangan Pelat

Berdasarkan dari hasil analisis struktur *Equivalent Frame Method* dan *Finite Element Program* maka akan diperoleh momen yang kemudian digunakan untuk melakukan analisis penulangan pelat. Hasil rekapitulasi penulangan pada pelat dapat dilihat pada tabel 2.5 dan tabel 2.6.

**Tabel 2.5** Rekapitulasi Penulangan Pelat Konvensional

| <b>Arah Penulangan</b> | <b>Posisi Tulangan</b> |       | <b>Tipe Tulangan</b> |
|------------------------|------------------------|-------|----------------------|
| X                      | Tumpuan Lajur Kolom    | Atas  | D 13 – 150           |
|                        |                        | Bawah | D 13 - 70            |
|                        | Lapangan Lajur Kolom   | Atas  | D 19 - 75            |
|                        |                        | Bawah | D 13 – 150           |
|                        | Tumpuan Lajur Tengah   | Atas  | -                    |
|                        |                        | Bawah | D13 - 120            |
|                        | Lapangan Lajur Tengah  | Atas  | D13 - 120            |
|                        |                        | Bawah | D13 - 180            |
| Y                      | Tumpuan Lajur Kolom    | Atas  | D 13 – 90            |
|                        |                        | Bawah | D 13 – 80            |
|                        | Lapangan Lajur Kolom   | Atas  | D 13 – 80            |
|                        |                        | Bawah | D 13 – 80            |
|                        | Tumpuan Lajur Tengah   | Atas  | -                    |
|                        |                        | Bawah | D 13 – 120           |
|                        | Lapangan Lajur Tengah  | Atas  | D 13 – 100           |
|                        |                        | Bawah | D 13 – 180           |

**Tabel 2.6** Rekapitulasi Penulangan *Waffle Slab*

| <b>Arah Penulangan</b> | <b>Posisi Tulangan</b> |                    | <b>Tipe Tulangan</b> |
|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| X                      | Tumpuan Lajur Kolom    | Atas               | D 13 – 200           |
|                        |                        | Bawah              | 2D25/ribs (6 ribs)   |
|                        | Lapangan Lajur Kolom   | Atas               | D 19 - 145           |
|                        |                        | Bawah              | 2D19/ribs (6 ribs)   |
|                        | Tumpuan Lajur Tengah   | Atas               | -                    |
|                        |                        | Bawah              | 2D19/ribs (5 ribs)   |
| Lapangan Lajur Tengah  | Atas                   | D19 - 450          |                      |
|                        | Bawah                  | 2D19/ribs (5 ribs) |                      |
| Y                      | Tumpuan Lajur Kolom    | Atas               | D 13 – 200           |
|                        |                        | Bawah              | 2D25/ribs (6 ribs)   |
|                        | Lapangan Lajur Kolom   | Atas               | D 19 - 145           |
|                        |                        | Bawah              | 2D19/ribs (6 ribs)   |
|                        | Tumpuan Lajur Tengah   | Atas               | -                    |
|                        |                        | Bawah              | 2D19/ribs (5 ribs)   |
| Lapangan Lajur Tengah  | Atas                   | D 19 – 300         |                      |
|                        | Bawah                  | 2D19/ribs (5 ribs) |                      |

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Jarak antar kolom maksimum pada sistem pelat konvensional adalah 9,2 m, sedangkan pada sistem *Waffle Slab* adalah 12,5 m, maka jarak antar kolom pada sistem *Waffle Slab* lebih panjang 35 % dibandingkan dengan sistem pelat konvensional.

2. Untuk jarak antar kolom yang sama yaitu 9,2 m dan memenuhi syarat dari segi kekakuan dan segi kekuatan, tebal pelat pada sistem pelat konvensional adalah 200 mm dan tebal pelat pada sistem *Waffle Slab* adalah 80 mm, maka sistem *Waffle Slab* memiliki tebal pelat lebih tipis 150 % dari sistem pelat konvensional.
3. Untuk jarak antar kolom yang sama, volume beton pada sistem pelat konvensional sebesar 101,568 m<sup>3</sup>, sedangkan volume beton pada sistem *Waffle Slab* sebesar 83,1312 m<sup>3</sup>, maka volume beton pada sistem pelat konvensional lebih boros 22,178 % dari sistem *Waffle Slab*.
4. Untuk jarak antar kolom yang sama, volume tulangan baja pada sistem pelat konvensional sebesar 2,2241 m<sup>3</sup>, sedangkan volume tulangan baja pada sistem *Waffle Slab* sebesar 1,2933 m<sup>3</sup>, maka volume tulangan baja pada sistem pelat konvensional lebih boros 71,976 % dari sistem *Waffle Slab*.