

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan adalah struktur konstruksi yang menghubungkan dua wilayah karena adanya rintangan seperti sungai, irigasi, lembah, ataupun jalan. Jembatan merupakan peran penting bagi infrastruktur transportasi karena dalam pembangunan lebih ekonomis dibanding harus membangun infrastruktur sesuai kontur tanah yang ada. Jembatan juga berpengaruh penting terhadap ekonomi masyarakat sekitar, karena dengan adanya jembatan dapat mempermudah dua daerah yang terhubung untuk melakukan kegiatan. Tidak hanya untuk kendaraan, ada juga jembatan pejalan kaki (penyebrangan), jembatan rel kereta api, dan jembatan air (pipa atau saluran).

2.2 Jembatan Rangka Baja

Jembatan rangka (*truss bridge*) adalah jembatan yang dibentuk oleh berbagai batang yang dapat mendistribusikan beban pada setiap rangka-rangkanya. Batang batang pada jembatan rangka terdiri dari batang tarik dan batang tekan.

Batang tarik merupakan batang yang menerima beban tarik yang didasarkan atas ijin tegangan tarik. Batang tekan merupakan batang yang dibebani gaya tekan aksial searah panjang bantangnya.

Adapun bagian bagian pada jembatan rangka baja, diantara lain sebagai berikut:

1. Balok Melintang (*Cross Girder*)

Balok melintang merupakan balok yang memikul beban dari *stringer* atau pelat lantai yang kemudian disalurkan ke rangka utama. Balok melintang dipasang di perhubungan pelat buhul.

2. Balok Memanjang (*Stringer*)

Balok memanjang berfungsi untuk menahan beban yang berasal dari pelat lantai yang disalurkan menuju balok melintang.

3. Pelat Buhul (*Joint*)

Pelat buhul berfungsi untuk penghubung antara elemen-elemen jembatan yang diperkuat oleh baut. Koneksi pelat buhul ini bertujuan agar tidak ada momen yang bekerja pada rangka batang.

4. Rangka Utama

Rangka utama berfungsi untuk menerima gaya-gaya yang bekerja pada pelat lantai, balok memanjang, balok melintang, dan gaya-gaya lainnya. Gaya tersebut ditahan oleh profil baja yang digunakan.

5. Pelat lantai

Pelat lantai merupakan komponen pertama yang menerima beban dari lalu lintas atau beban di atasnya.

6. Ikatan Angin (*Wind Brace*)

Ikatan angin ini berfungsi untuk menyalurkan gaya akibat angin menuju perletakkan. Gaya akibat angin bekerja pada setiap rangka atau *joint*.

7. Pengaku (skur)

Pengaku digunakan untuk jembatan rangka terbuka, namun pengaku ini juga terdapat pada jembatan rangka tertutup namun bedanya ukuran pengakunya lebih kecil.

8. Perletakkan

Perletakkan berfungsi untuk menyalurkan seluruh gaya-gaya dari struktur menuju abutmen atau pilar yang akan diteruskan ke pondasi.

9. *Railing*

Railing berfungsi sebagai pembatas atau sandaran pada ujung struktur jembatan.

10. *Expansion Joint*

Expansion Joint merupakan struktur penyambung atau penutup celah antara jembatan ke pilar atau abutmen dan juga sebaliknya. *Expansion Joint* berfungsi untuk meredam getaran akibat adanya celah antara komponen struktur rangka dan abutmen atau pilar.

11. Pondasi

Pondasi merupakan suatu konstruksi struktur bawah jembatan yang berfungsi untuk menerima beban dari struktur atas dan disalurkan ke lapisan tanah dibawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan atau penurunan tanah (*settlement*).

12. Abutmen

Abutmen merupakan bagian struktur bawah jembatan yang terdapat pada ujung bentang jembatan yang berfungsi untuk dukungan dari jembatan dan sebagai penahan tanah pada oprit jembatan.

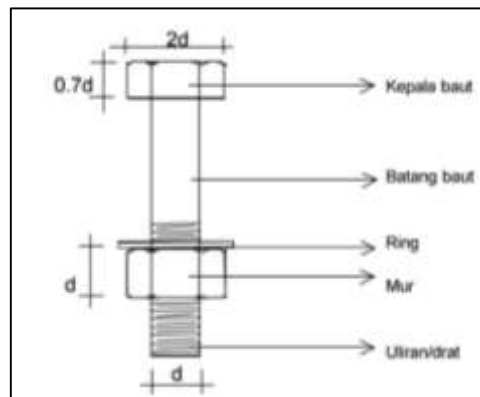
13. Pilar

Pilar merupakan konstruksi pemikul yang terletak diantara kedua abutmen jembatan dan berfungsi untuk mengalirkan beban dari bangunan atas ke pondasi.

2.3 Sambungan Baut (*Bolt Connection*)

Baut merupakan alat sambung dengan batang bulat berulir yang salah satu ujungnya dibentuk kepala baut dan ujung lainnya dipasang mur atau pengunci. Dilapangan, baut dapat digunakan untuk konstruksi sambungan tetap, sambungan bergerak, ataupun sambungan sementara yang dapat dilepas atau dibongkar kembali. Adapun keuntungan jika menggunakan sambungan baut, antara lain:

1. Lebih mudah dalam pemasangan dan penyetelan sambungan di lapangan.
2. Sambungan baut dapat di bongkar pasang.
3. Sambungan baut dapat digunakan untuk jumlah tebal baja lebih dari 4 (empat) kali diameter baut, tidak seperti paku keling yang tebal bajanya dibatasi maksimum 4 (empat) kali diameternya.



Gambar 2.1 Baut

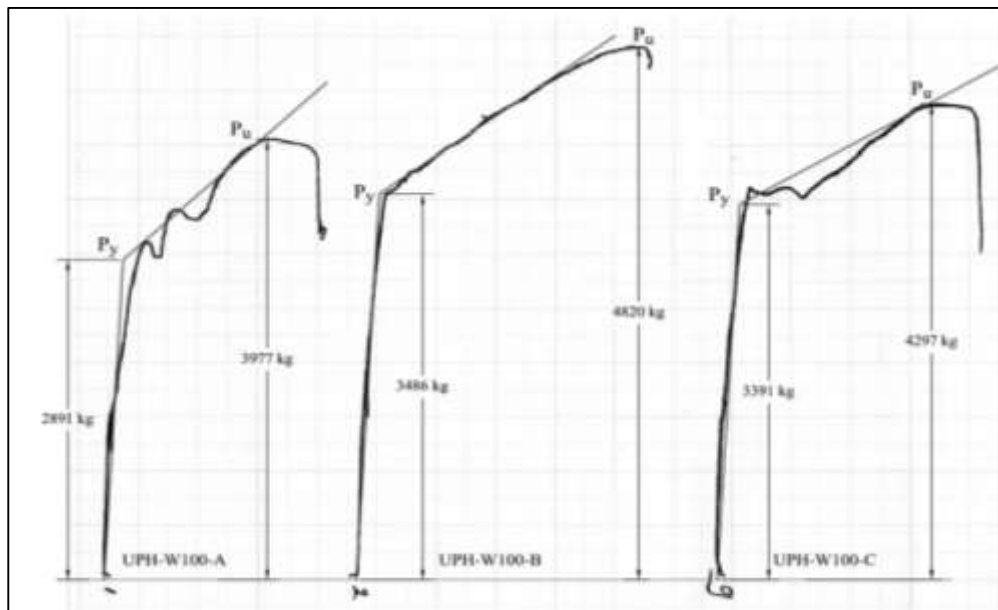
(Sumber: <http://teknikmesin.id/pengertian-dan-jenis-baut/>)

Ada jenis baut yang biasa dipakai pada konstruksi baja, yang pertama adalah baut biasa yang digunakan pada struktur ringan atau sedang seperti bangunan gedung. Baut yang kedua yaitu baut mutu tinggi (*high tension bolt / HTB*) yang digunakan pada struktur berat seperti jembatan jalan raya.

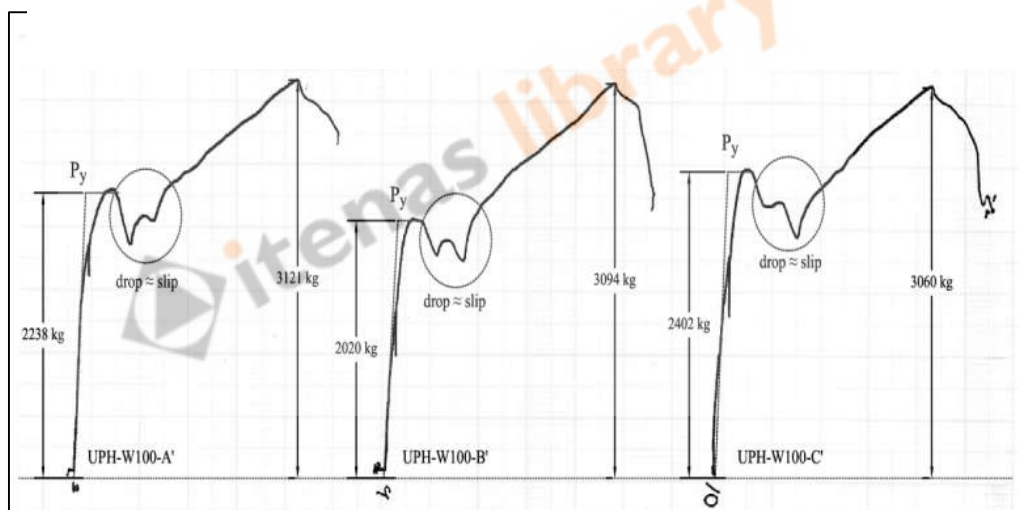
Adapun perbandingan kinerja sambungan baut biasa dan baut mutu tinggi berulir ukuran 0,5 inch dengan pelat baja tipis antara lain:

Tabel 2.1 Kinerja sambungan baut 0,5 inch berulir (Wiryanto, 2012)

No.	Jenis Baut	Notasi	P_y (Kg)	Mean	P_u (Kg)	Mean
1	HTB	W100A	2891	3256 (147%)	3977	4365 (141%)
2	HTB	W100B	3486		4820	
3	HTB	W100C	3391		4297	
4	Biasa	W100A'	2238	2220 (100%)	3121	3092 (100%)
5	Biasa	W100B'	2020		3094	
6	Biasa	W100C'	2402		3060	



Gambar 2.2 Grafik uji tarik pelat baja tipis dengan sambungan baut mutu tinggi tinggi
(Wiryanto, 2012)



Gambar 2.3 Grafik uji tarik pelat baja tipis dengan sambungan baut biasa
(Wiryanto, 2012)

Berdasarkan persyaratan pada SNI, bahwa suatu baut yang memikul gaya terfaktor R_u harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

ϕ adalah faktor reduksi kekuatan baut ($\phi = 0,75$)

R_n adalah kekuatan nominal baut

2.4 Jenis Keruntuhan pada Sambungan

Pada suatu sistem kekuatan sambungan dengan baut atau paku keling dievaluasi dengan meninjau beberapa kemungkinan kegagalan dalam sambungan. Kekuatan sambungan biasanya dihitung dengan mempertimbangkan pelat dan batang yang disambung. Beberapa syarat keruntuhan sambungan antara lain:

1. Leleh tarik pada penampang bruto

Keruntuhan penampang bruto tidak memperhatikan lubang baut pada sambungan seperti pada **Gambar 2.4** sehingga didapat rumus sebagai berikut:

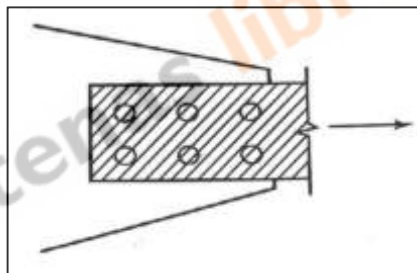
$$P_n \leq \phi \cdot f_y \cdot A_g \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

ϕ adalah faktor keruntuhan penampang bruto ($\phi = 0,9$)

f_y adalah tegangan leleh (MPa)

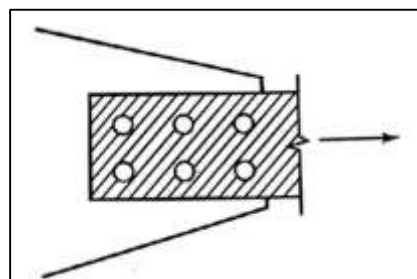
A_g adalah luas bruto (mm²)



Gambar 2.4 Keruntuhan penampang bruto

2. Keruntuhan Tarik pada penampang efektif netto

Adanya lubang pada sambungan, akan mengurangi kapasitas tarik pada sambungan itu sendiri, maka keruntuhan pada penampang efektif netto, luas penampang dikurangi sebanyak lubang baut yang ada seperti **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Keruntuhan fraktur netto

sehingga rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_n \leq \phi \cdot f_u \cdot A_e \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

ϕ adalah faktor keruntuan penampang efektif netto ($\phi = 0,75$)

f_u adalah kuat Tarik (MPa)

A_e adalah luas penampang efektif netto (mm²) dimana

$$A_e = U \cdot A_n \dots\dots\dots (2.4)$$

U adalah faktor efektifitas penampang

$$U = 1 - \bar{x}/l \dots\dots\dots (2.5)$$

\bar{X} adalah jarak dari titik berat profil penampang ke bidang kontak sambungan

l adalah panjang sambungan

A_n adalah luasan netto

$$A_n = A_g - A_h \dots\dots\dots (2.6)$$

A_g adalah luas penampang baut

A_h adalah luas lubang baut

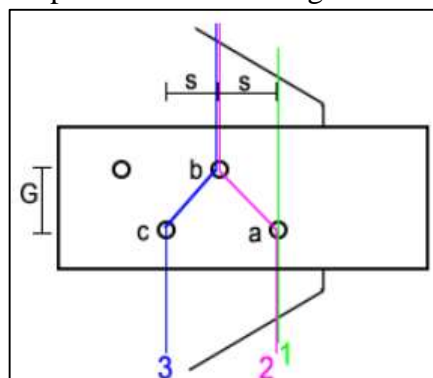
$$A_h = dh \times t \dots\dots\dots (2.7)$$

dh adalah diameter baut

$$dh = db + 5 \dots\dots\dots (2.8)$$

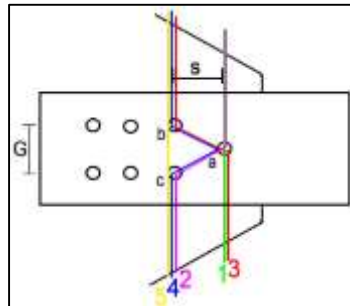
t adalah tebal penampang

pada komponen sambungan tidak selamanya baut dipasang simetris tetapi terkadang juga dipasang secara zig-zag, sehingga pada kapasitas fraktur netto terjadi perubahan rumus pada luas netto sebagai berikut:



Gambar 2.6 Staggered fasteners model 1

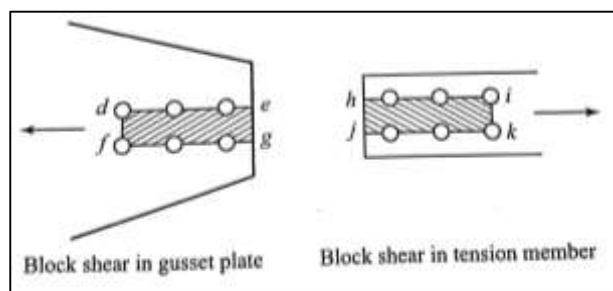
- 1) $An = Ag - 1 Ah$ (2.9)
- 2) $An = Ag - 2 Ah + (S^2/4G) . t$ (2.10)
- 3) $An = [Ag - 2 Ah + (S^2/4G).t] . 4/3$ (2.11)



Gambar 2.7 Staggered fasteners model 2

- 1) $An = Ag - 1 Ah$ (2.12)
- 2) $An = Ag - 2 Ah + (S^2/4G_1) . t$ (2.13)
- 3) $An = Ag - 2 Ah + (S^2/4G_1) . t$ (2.14)
- 4) $An = Ag - 3 Ah + (S^2/4G_1).t + (S^2/4G_2) . t$ (2.15)
- 5) $An = (Ag - 2 Ah) . 7/6$ (2.16)

3. Keruntuhan geser pada batang tarik (*block shear of tension member*) dan keruntuhan geser pada pelat yang tersambung (*block shear of gussed of plate*) Konfigurasi sebuah segmen di ujung komponen dapat terjadi keruntuhan yang disebabkan oleh beban yang diterima. Keruntuhan pada batang tarik terjadi di ujung komponen batang seperti pada .



Gambar 2.8 Block Shear

ϕ BSTM / ϕ BSGP

$$Pu \leq \phi . Rn$$
(2.17)

Dengan :

ϕ adalah faktor keruntuhan geser ($\phi = 0,75$)

R_n dipilih nilai yang terkecil untuk menentukan kapasitasnya

$$R_n = [0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt} \leq 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt}] \dots(2.18)$$

$$A_{gv} = b \cdot t_m \cdot N_s \dots\dots\dots(2.19)$$

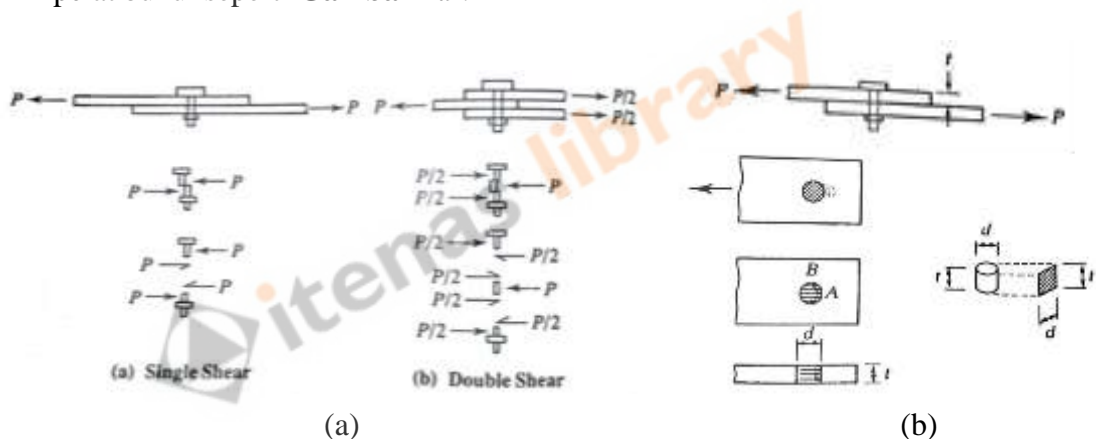
$$A_{nv} = A_{gv} - \sum A_h \dots\dots\dots (2.20)$$

$$A_{gt} = h \cdot t_m \dots\dots\dots(2.21)$$

$$A_{nt} = A_{gt} - \sum A_h \dots\dots\dots(2.22)$$

4. Keruntuhan tumpu pada pelat (*bearing failure of plate*) dan keruntuhan tumpu pada baut (*bearing failure of bolt*)

Keruntuhan tumpu pada pelat dan juga baut merupakan hal yang terjadi dalam hubungan pengencangan sambungan. Hal ini dapat terjadi pada baut ataupun pelat buhul seperti **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 (a) Kapasitas tumpu pada baut (b) Kapasitas tumpu pada pelat

(Sumber : *Steel Design* William T. Segui)

Keruntuhan tumpu dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_u \leq \phi \cdot R_{n \text{ total}} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$P_u \leq \phi \cdot [n_{b \text{ ujung}} \cdot R_{n \text{ ujung}} + n_{b \text{ lainnya}} \cdot R_{n \text{ lainnya}}] \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan :

ϕ adalah faktor keruntuhan tumpu ($\phi = 0,75$)

R_n dipilih nilai yang terkecil untuk menentukan kapasitasnya

$$R_n = [1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u \leq F_{nv} \cdot A_b \cdot n_s] \dots\dots\dots(2.25)$$

f_u adalah kuat tarik

l_c adalah jarak bersih dari lubang baut satu ke baut lainnya / baut satu ke

ujung tepi dimana

l_c untuk baut tepi

$$l_c = l_e - d_h / 2 \dots \dots \dots (2.26)$$

l_e adalah jarak lubang baut paling ujung ke tepi pelat

l_c untuk baut ujung

$$l_c = s - d_h \dots \dots \dots (2.27)$$

s adalah jarak spasi antar lubang

t adalah ketebalan pelat/penampang

n_s adalah jumlah bidang geser

F_{nv} adalah nilai kapasitas tumpu baut seperti pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Nilai kapasitas Tumpu Baut

Baut	F_{nv} MPa
A307	188
Grup A (A325, A449)	
In	372
Ex	457
Grup B (A490, A490M)	
In	457
Ex	84 (579)

5. *Slip Critical*

Sambungan dengan baut mutu tinggi di klasifikasikan sebagai *slip critical connection* atau *bearing type connection*. *Slip critical connection* adalah sambungan yang memungkinkan selip sehingga gaya gesekan tidak boleh dilampaui. *Slip critical connection* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \dots \dots \dots (2.28)$$

Dengan:

μ adalah koefisien slip rata-rata (0,3 untuk kelas A)

D_u adalah rasio rata-rata *actual bolt pretension* = 1,13

H_f adalah factor pengisi = 1

T_b adalah minimal *bolt pretension* (AISC Tabel J3.1 atau Tabel J3.1 M) seperti pada **Tabel 2.3**

n_s adalah jumlah bidang slip.

Tabel 2.3 AISC Tabel J3.1 M *Minimum Bolt Pretension*

TABLE J3.1M		
Minimum Bolt Pretension, kN^[a]		
Bolt Size, mm	Group A (e.g., A325M Bolts)	Group B (e.g., A490M Bolts)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

^[a] Equal to 0.70 times the minimum tensile strength of bolts, rounded off to nearest kN, as specified in ASTM F3125/F3125M for Grade A325M and Grade A490M bolts with UNC threads.

2.5 Studi Literatur

Studi literatur yang berkaitan dengan tugas akhir ini dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Studi Literatur

No.	Penulis	Judul	Kesimpulan
1	Haris Sidiq Prmono (Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa Yogyakarta, 2018)	Analisis Sambungan Baut Pada Titik Buhul Jembatan Rangka Menggunakan Metode Elemen Hingga	Metode elemen hingga sangat baik untuk diaplikasikan pada analisis struktur rangka batang sederhana maupun yang lebih kompleks. Metode ini dapat diaplikasikan pada struktur rangka batang statis tertentu maupun statis tak tentu menggunakan software ABAQUS CAE 6.11-1 atau software-software yang berbasis analisis 3D maupun 2D.

2	Fauzi Ahmad Shobur Gunawan (Institut Teknologi Nasional Bandung, 2018)	Kajian Numerik Sambungan Baut Balok Kolom Baja Canai Dingin	Dari hasil analisis menggunakan ANSYS bahwa pada setiap pemodelan sambungan terjadi local buckling akibat adanya distribusi tegangan dan regangan yang terjadi disekitar pelat penyambung dan disekitar profil kolom.
3	Andre Pranata Setialaksana (Institut Teknologi Nasional Bandung, 2017)	Kajian Ekonomis Perancangan Sistem Sambungan Struktur Baja Pada Rangka Atap Dengan Variasi Ukuran Baut, Konfigurasi Baut, Dan Mutu Baut	Variasi berpengaruh pada kekuatan-kekuatan sistem sambungan baja seperti kekuatan geser, kekuatan lubang-lubang baut, dan kekuatan geser blok yang sangat efisien, hal ini ditunjukkan oleh nilai ϕR_n dari masing-masing tipe keruntuhan yang nilainya berdekatan satu sama lain.

Perbedaan pada penelitian ini dengan literatur pertama adalah pada penelitian ini menggunakan perhitungan manual sedangkan pada literatur menggunakan ABAQUS. Pada literatur kedua memiliki perbedaan pada model yang digunakan yaitu sambungan pada bangunan gedung. Untuk literatur ketiga perbedaannya yaitu membahas tentang variasi sambungan rangka atap.