

ANALISIS PERKUATAN STRUKTUR KERANGKA BANGUNAN BERTINGKAT TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN INFILLED FRAME

Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT.¹, Agustini Ernawati, ST. M.Tech.²

¹Rekayasa Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram, mayasardepa@gmail.com

²Rekayasa Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram, ettysad@yahoo.co.uk

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 23-05-2020
Disetujui: 02-07-2020

Kata Kunci:

dinding pengisi
open frame
infilled frame
kekakuan struktur

ABSTRAK

Abstrak: Dinding pengisi pada umumnya dianggap sebagai elemen nonstruktural dalam struktur rangka terbuka yang dalam pemasangannya dilakukan setelah struktur utama balok, kolom, dan pelat selesai dipasang. Akibatnya dalam proses desain, dinding pengisi seringkali diabaikan. Dalam berbagai kasus, bila ada beban gempa yang besar, dinding pengisi memberi sumbangan yang besar terhadap kekakuan dan kekuatan struktur. Penelitian ini mengambil contoh gedung pertokoan yang dianalisa dalam empat model yaitu Model I struktur tanpa adanya dinding pengisi (*open frame*), Model II struktur dengan dinding pengisi sebagai *shell element*, Model III struktur dengan dinding pengisi sebagai ekuivalen *diagonal strut*. Model IV struktur dengan dinding pengisi sebagai *shell element* dan penambahan kolom. Parameter pembandingan adalah gaya-gaya dalam, kekakuan, dan deformasi struktur. Berdasarkan hasil analisa, Model II 19 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I, Model III 100 % lebih kaku dari Model I dan Model IV, 9 % lebih kaku dibandingkan Model I ditinjau dari gempa arah X. Model II, 95 % lebih kaku dibandingkan Model I, Model III 22 % lebih kaku dari Model I, dan Model IV 78 % lebih kaku dibandingkan Model I ditinjau dari gempa arah Y. Nilai momen dan gaya lintang Model II, Model III, Model IV relatif lebih kecil dibandingkan Model I. Berdasarkan hasil analisa, dengan adanya penambahan kolom pada struktur gedung (Model IV) tegangan yang terjadi pada dinding pengisi menjadi semakin kecil. Dari segi keamanan, *infilled frame* jauh lebih aman dibandingkan dengan *open frame* dan sangat memenuhi syarat untuk digunakan pada daerah yang beresiko gempa tinggi.

A. LATAR BELAKANG

Dinding pengisi pada umumnya dianggap sebagai elemen nonstruktural dalam struktur rangka terbuka. Dalam proses konstruksi, pemasangan dinding pengisi dilakukan setelah seluruh struktur utama seperti balok, kolom dan pelat selesai dipasang. Akibatnya dalam proses desain, dinding pengisi seringkali diabaikan. Dalam berbagai kasus, bila ada beban lateral yang besar (akibat gempa), dinding pengisi memberi sumbangan yang besar terhadap kekakuan dan kekuatan struktur, sehingga perilaku keruntuhannya berbeda dibanding portal terbuka.

Pemasangan dinding pengisi mengakibatkan struktur menjadi lebih kaku, yang terkadang dapat menyebabkan terjadinya perilaku keruntuhan yang berbeda antara *open frame* (struktur tanpa dinding pengisi) dan *infilled frame* (struktur rangka dengan dinding pengisi). Hal demikian mempengaruhi kapasitas

dan daktilitas struktur secara keseluruhan. Begitu banyak kesalahan dalam perencanaan, perubahan geometri struktur yang sering dilakukan dan cukup banyak terdapat bangunan *open frame*. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi dinding pengisi dengan kerangka sangat efektif meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan kinerja struktur dalam menahan beban lateral akibat gempa. Kaushik et.al. (2006) menyatakan bahwa dinding pengisi *masonry* (batako ataupun batu bata) menghasilkan penambahan kekakuan yang luar biasa pada struktur rangka beton bertulang. Kekakuan lateral kerangka yang dianalisis dengan dinding pengisi meningkat hingga 25 kali dibandingkan dengan kerangka terbuka (Sukrawa, 2010).

Pada bangunan sederhana, dinding berfungsi sebagai struktur yang sudah terbukti kuat sejak dulu kala. Pada bangunan dengan bentangan lebih besar dan bertingkat, lebih banyak digunakan kerangka beton

bertulang atau kerangka baja sebagai struktur utama, sedangkan dinding pemisah ruang yang ada di antara kolom struktur dianggap bukan bagian dari struktur. Hotel, apartemen dan rumah susun bertingkat merupakan contoh struktur bangunan kerangka dengan dinding pengisi yang banyak dibuat di Indonesia dan negara-negara lain. Kadang kala struktur portal terbuka yang direncanakan dapat berperilaku sebagai portal daktail saat gempa, akibat adanya dinding pengisi yang tidak merata dapat berubah menjadi struktur yang mempunyai mekanisme keruntuhan soft-story yang berbahaya. Maka dengan meninjau hal tersebut diperlukan perkuatan struktur rangka dengan penambahan dinding pengisi (*infilled frame*).

Bangunan yang dibangun pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa. Trend perencanaan terkini yaitu *performance-based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisis non-linear berbasis komputer untuk mengetahui perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa) dan selanjutnya dapat dilakukan tindakan bilamana tidak memenuhi persyaratan yang diperlukan.

Perencanaan konstruksi tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah struktur rangka bertingkat dengan penambahan dinding pengisi (*infilled frame*) mampu memperkuat struktur dan bagaimanakah kondisi struktur tersebut sebelum dan sesudah diperkuat dengan dinding pengisi ketika menerima beban lateral (beban gempa). Parameter perbandingan dalam penelitian ini adalah gaya-gaya dalam, kekakuan, dan deformasi struktur.

Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini maka dilakukan pembatasan sebagai berikut :

1. Dimensi struktur yang direncanakan sudah memenuhi syarat berdasarkan ketentuan Tata

Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI-03-2847 dengan analisis struktur metode linier.

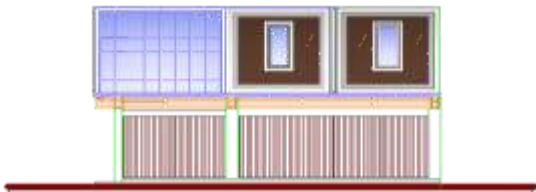
2. Pemodelan *infilled frame* terhadap struktur gedung 2 (dua) lantai, dalam hal ini studi analisis terhadap salah satu gedung pertokoan, rumah-toko (ruko) yang ada di Pulau Lombok.
3. Analisa dilakukan dengan memodel dinding pada *software*, dimana model struktur tersebut antara lain: Model I sepenuhnya menggunakan elemen *frame*, sedangkan pelat akan dimodel dengan *elemen shell*. Model II merupakan struktur yang dimodel dengan mengikutsertakan dinding pengisi sebagai *shell element* pada pemodelannya. Model III adalah pemodelan struktur portal dengan dinding pengisi sebagai ekuivalen *diagonal strut*. Model IV merupakan struktur yang dimodel dengan mengikutsertakan dinding pengisi sebagai *shell element* pada pemodelannya dimana terdapat penambahan kolom struktur pada konstruksi gedung. Pemodelan dinding pengisi dilakukan hanya pada lantai dasar.
4. Struktur yang dianalisis merupakan struktur beton bertulang dengan anggapan perilaku bahan linier sepanjang analisis dan pembebanan.
5. Penelitian ini hanya menganalisa peran dinding pengisi terhadap bangunan ditinjau dari gaya-gaya dalam, kekakuan, dan deformasi struktur (analisa tulangan pondasi, balok, kolom, pelat diabaikan dan menggunakan data komponen struktur yang sudah ada di lapangan).
6. Deformasi yang ditinjau adalah pada *object/elemen/di titik* yang sama.

B. METODE PENELITIAN

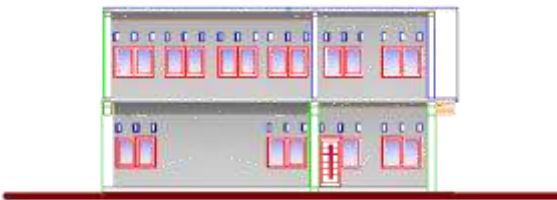
Dalam penelitian ini mengambil contoh gedung pertokoan yang akan dianalisa dalam empat model. Model I sepenuhnya menggunakan elemen *frame*, sedangkan pelat dimodel dengan *elemen shell*. Model II merupakan struktur yang dimodel dengan mengikutsertakan dinding pengisi sebagai *shell element* pada pemodelannya. Model III adalah pemodelan

struktur portal dengan dinding pengisi sebagai ekuivalen *diagonal strut*. Model IV merupakan struktur yang dimodel dengan mengikutsertakan dinding pengisi sebagai *shell element* pada pemodelannya dimana terdapat penambahan kolom struktur pada konstruksi gedung. Parameter pembandingan dalam penelitian ini adalah gaya-gaya dalam, kekakuan, dan deformasi struktur.

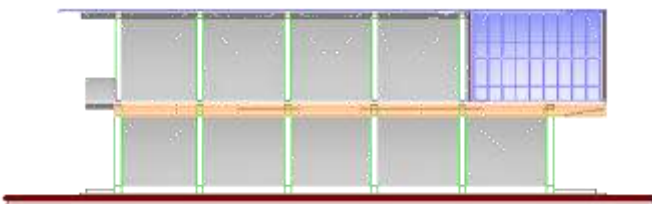
Instrumen dari penelitian ini adalah program SAP 2000 V.16 dimana beberapa penelitian sebelumnya juga menggunakan program ini dan dianggap sebagai program yang relevan dalam pemodelan *infilled frame*. Adapun denah, tampak dari bangunan dan rencana penempatan dinding pengisi dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 – gambar 7.



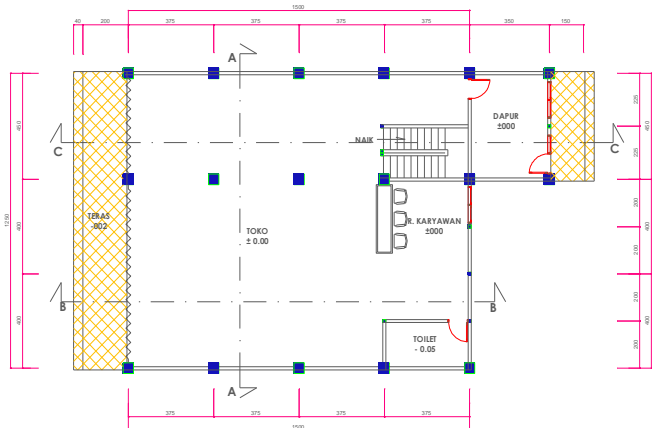
Gambar 1. Tampak Depan



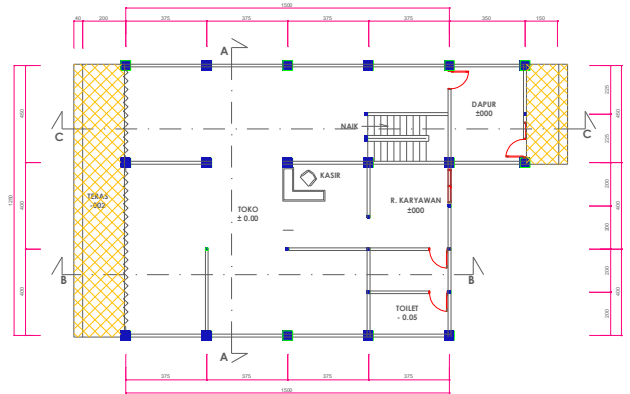
Gambar 2. Tampak Belakang



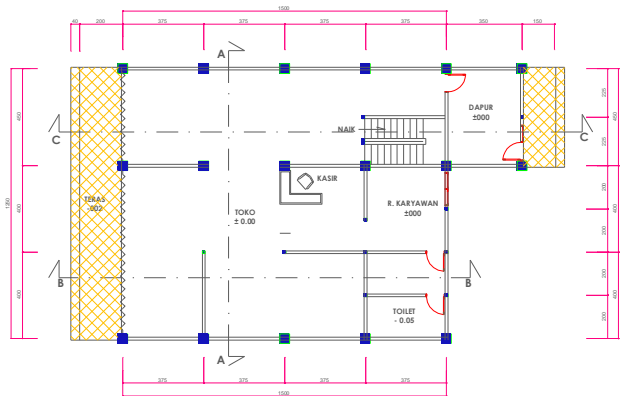
Gambar 3. Tampak Samping



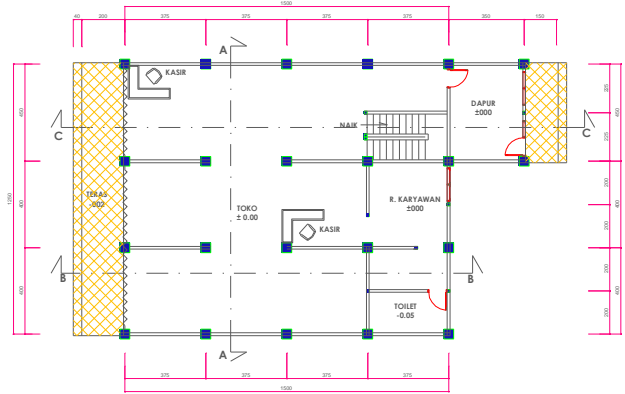
Gambar 4. Denah Ruko Lantai 1, Open Frame (Model I)



Gambar 5. Denah Ruko Lantai 1, Infilled Frame (Model II)



Gambar 6. Denah Ruko Lantai 1, Infilled Frame (Model III)



Gambar 7. Denah Ruko Lantai 1, Infilled Frame (Model IV)

Untuk membandingkan hasil analisis dan pemodelan pada struktur dengan dan tanpa dinding pengisi dengan bantuan software SAP2000 V.16, dimensi balok dan kolom diambil dari perolehan data yang ada di lapangan. Pada aplikasi SAP2000, langkah awal yang dilakukan adalah menggambar model struktur secara keseluruhan dan mendefinisikan sifat material yang digunakan yaitu:

1. *Open Frame*

- f_c = 28 MPa
 f_{yl} = 300 Mpa
 f_{ys} = 240 MPa
 Tinggi kolom = 370 mm
 Dimensi balok = 200/250 (sloof), 300/350 (lantai II), dan 200/350 (atap)
 Dimensi kolom = 450/450 (lantai I), dan 400/400 (lantai II)
2. Dinding pengisi

f_c bata = 11 MPa
 f_c mortar = 9 MPa
 Ketebalan = 150 mm
 3. Diagonal Strut

f_y = 240 MPa
 \emptyset = 6 mm
 f_c bata = 11 MPa
 f_c mortar = 9 MPa
 Ketebalan = 150 mm

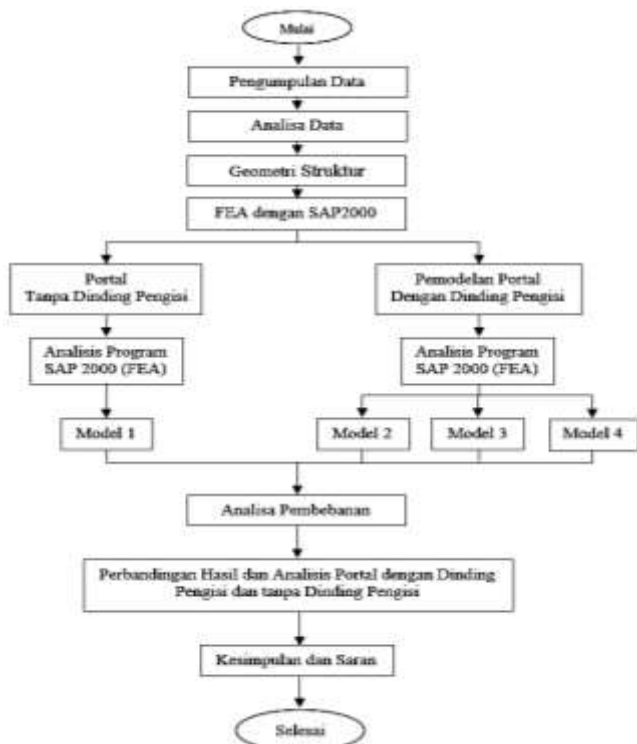
Langkah-langkah pemodelan struktur gedung tersebut adalah sebagai berikut:

 1. Menentukan *grid* dalam pemodelan, Langkah awal ialah menentukan sistem *grid* yang digunakan untuk pendekatan model struktur, yaitu dengan menggunakan *grid only* pada menu *file-new model*.
 2. Mendefinisikan *element property*, Pada tahap ini, selain dilakukan pendimensian terhadap elemen-elemen *frame (define-frame section)* seperti balok dan kolom juga dilakukan pendimensian terhadap *elemen shell (define area section)* untuk pemodelan dinding pengisi sebagai elemen hingga dan pendimensian strut pada model dinding pengisi sebagai ekivalen *diagonal strut*.
 3. Pemodelan struktur, Setelah menentukan *section properties*, dilanjutkan dengan pemodelan struktur. Pemodelan struktur ini dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas *drawing/drafting control*, yang tersedia pada program SAP2000v16. Setelah model siap maka dilanjutkan dengan penentuan perletakan (*assign join restraint*).
 4. Memasukkan karakteristik material, Setelah model struktur sesuai dengan desain struktur yang ada, masukan data-data material seperti mutu kuat tekan beton (f_c), berat jenis (*weight per unit volume*), *poisson rasio* (U) dan data material lainnya melalui *fasilitas define material*.
 5. *Meshing area dan devide fframe*, Agar antar elemen saling terhubung, maka dilakukan proses *mesh area (edit-mesh area)* pada *element shell* dan *devide frames (edit-devide frames)* pada *element frames*. Banyaknya elemen hasil dari proses *devide frame* harus sama dengan banyaknya elemen hasil dari proses *mesh area* pada *shell elemen*. Hal ini dilakukan agar titik-titik pada *shell elemen* bertemu dan terhubung dengan titik-titik pada *frame element*, sehingga memungkinkan adanya transfer gaya.
 6. Menentukan pembebanan, Untuk analisis struktur ini diperlukan tiga macam *load case* yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa. Beban mati terdiri dari beban sendiri struktur dan beban mati tambahan. Beban mati struktur pada pemodelan ini akan dihitung oleh *software* sedangkan beban mati tambahan berupa berat spesi, berat plafond dan penggantung serta instalasi akan dihitung dan nilainya dimasukkan menggunakan fasilitas *assign shell load*. Pemberian beban gempa yang dihitung dengan metode statik ekuivalen pada struktur dilakukan dengan menggunakan fasilitas *assign joint load*.
 7. Menentukan Kombinasi Beban dan Parameter Desain, Pada tahap ini tipe kombinasi bebannya ditentukan melalui fasilitas *define combination*. Pada tahap ini pemodelan struktur telah selesai dan memasuki tahap analisis dengan menu *analyze*. Sebelumnya pada tampilan *set analysis option* digunakan *space frame* untuk pemodelan tiga dimensi.
 8. Langkah terakhir adalah *run analysis*. Analisis dan perencanaan struktur portal dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 1. Analisis struktur Analisis struktur dilakukan menggunakan SAP 2000v16 dengan meninjau perilaku struktur serta momen dan gaya geser yang dihasilkan oleh beban kombinasi yang dikerjakan pada elemen struktur

tersebut. Pada pemodelan struktur dengan dinding pengisi akan dilakukan analisis terhadap tegangan yang terjadi pada dinding pengisi berdasarkan analisa SAP 2000v16 dan dengan pendekatan empiris.

2. Membandingkan hasil analisis dan perencanaan
Setelah analisis dan perencanaan model selesai, selanjutnya dilakukan perbandingan hasil analisis. Tahapan analisis dengan metode diagonal tekan ekuivalen adalah sebagai berikut:
 - a. Menetapkan parameter.
 - b. Menentukan daya dukung horizontal portal berdasarkan mode keruntuhan yang terjadi.
 - c. Menghitung deformasi.
 - d. Membandingkan dengan hasil analisis elemen hingga dan dilakukan penyesuaian hingga hasilnya mendekati hasil analisis elemen hingga.
 - e. Menghitung parameter (*properties*) diagonal tekan ekuivalen, yaitu berkaitan dengan luasnya.

Langkah analisis dalam penelitian ini seperti terlihat pada gambar 8 :



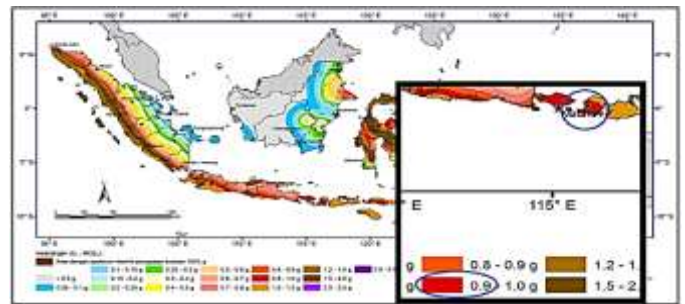
Gambar 8. Bagan Rancangan Penelitian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

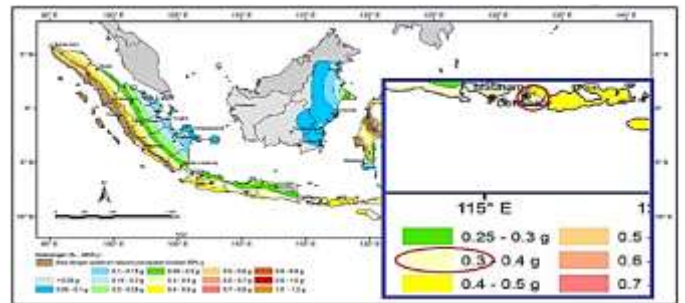
1. Hasil Analisa Pembebanan Gempa

Analisis struktur terhadap pembebanan gempa pada gedung dilakukan dengan analisis metode statik

ekivalen dengan kondisi struktur tanah sedang mengacu pada SNI 03-1726-2012. Berdasarkan peta zona wilayah gempa dibagi menurut percepatan respon spektra yaitu percepatan respon spektra periode pendek (percepatan respon spektra 0,2 detik di batuan dasar) dengan probabilitas 2% serta faktor redaman 5%, dalam penelitian ini Kota Mataram memiliki percepatan respon spektra 0,9 g (gambar 9) dan percepatan respon spektra periode 1 detik di batuan dasar dengan probabilitas 2% serta faktor redaman 5% Kota Mataram memiliki percepatan respon spektra 0,3 g (gambar 10).



Gambar 9. Peta gempa dengan Respon spektra percepatan 0,2 detik (Sumber: SNI 03-1726-2012)



Gambar 10. Peta gempa dengan Respon spectra percepatan 1 detik (Sumber: SNI 03-1726-2012)

Faktor keutamaan gedung berdasarkan Tabel 2 dalam SNI 03-1726-2012 untuk ruko dengan faktor resiko II diperoleh faktor keutamaan (I) = 1,00 dengan kondisi struktur tanah sedang (SD), dimana F_a atau F_v ditentukan dengan menggunakan masing-masing koefisien situs sesuai Tabel 4 dan Tabel 5 dalam SNI 03-1726-2012, dan didapat nilai $F_a = 1.14$ dan $F_v = 1.80$. Spektrum respon desain ditentukan dengan menggunakan persamaan (7) dan persamaan (8) yang ada dalam SNI 03-1726-2012 pasal 6(3), didapat nilai percepatan respon periode pendek (SD_s) = 0.684 dan Percepatan respon periode 1 detik (SD_1) = 0.360.

Periode fundamental struktur pendekatan ditentukan dalam pasal 7.8.2.1 SNI 03-1726-2012. Berdasarkan tabel parameter periode fundamental pendekatan (T_a) dengan rangka gedung beton bertulang sesuai nilai parameter perioda pendekatan yang terdapat pada halaman 56 SNI 03-1726-2012, diperoleh nilai waktu getar $T_a = 0.282$ detik.

Gedung pertokoan dalam penelitian ini merupakan rangka beton bertulang pemikul momen, sesuai dengan pasal 7.2.2 SNI 03-1726-2012 diperoleh dari tabel faktor koefisien modifikasi respon $R = 5$. Maka diperoleh nilai koefisien respon seismik (pasal 7.8.1.1 SNI 03-1726-2012) $C_s = 0.137$.

Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan data koefisien respon seismik (C_s) dan berat seismik efektif (W) sebagaimana telah ditetapkan dalam pasal 7.7.2 SNI 03-1726-2012 menjelaskan bahwa W harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya, didapat besar geser dasar seismik (V) 75,65 kg dan gaya gempa lateral (F_x) pada masing-masing tingkat struktur harus dihitung dengan menggunakan persamaan yang telah ditetapkan dalam pasal 7.8.3 SNI 03-1726-2012, didapat besar beban gempa tiap lantai dalam tabel 1 dengan F_x beban gempa arah sumbu X (100%) dan F_y beban gempa arah sumbu Y (30%).

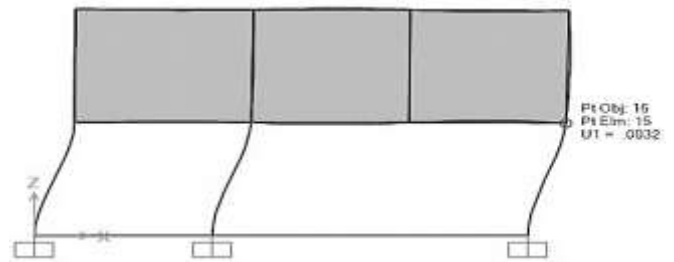
TABEL 1.
Beban Gempa

	F_x (Kg)	$F_y=30\%F_x$ (Kg)
atap	21.614	6.484
lantai	54.036	16.211
Jumlah	75.65	22.70

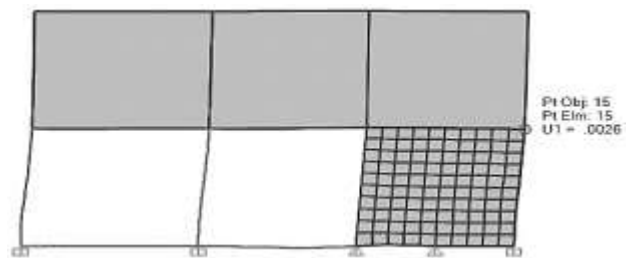
2. Deformasi Struktur

Dari hasil running model pada software SAP2000 v.16, dapat diketahui besar *displacement* yang terjadi pada saat struktur menerima beban lateral, yang ditinjau terhadap salah satu titik pada bagian struktur yang bersangkutan. *Deformed shaped* dan *displacement* yang terjadi pada empat model struktur ditampilkan pada gambar 11 sampai dengan gambar 14 dan pada tabel 2 untuk struktur dengan deformasi akibat beban gempa arah X. Gambar 15 sampai dengan gambar 18 dan pada

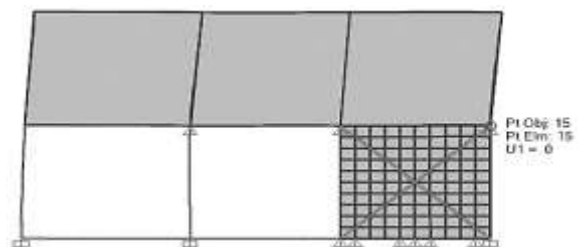
tabel 3 untuk struktur dengan deformasi akibat beban gempa arah Y. Gambar 19 sampai dengan gambar 22 dan pada tabel 4 untuk struktur dengan deformasi gempa arah X akibat kombinasi pembebanan (beban mati + beban hidup + beban gempa). Gambar 23 sampai dengan gambar 26 dan pada tabel 5 untuk struktur dengan deformasi gempa arah Y akibat kombinasi pembebanan (beban mati + beban hidup + beban gempa).



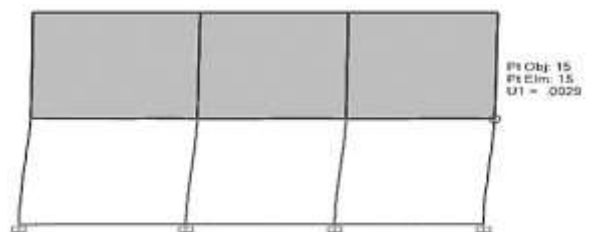
Gambar 11. Model I dengan Deformasi Akibat Gempa Arah X



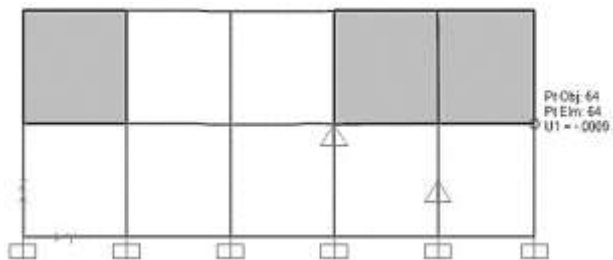
Gambar 12. Model II dengan Deformasi Akibat Gempa Arah X



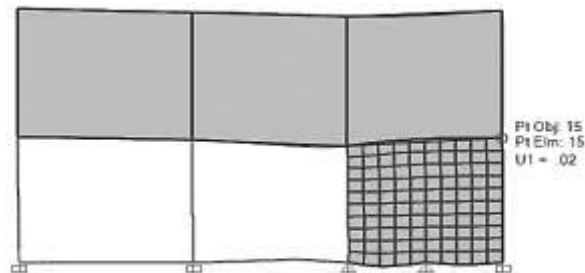
Gambar 13. Model III dengan Deformasi Akibat Gempa Arah X



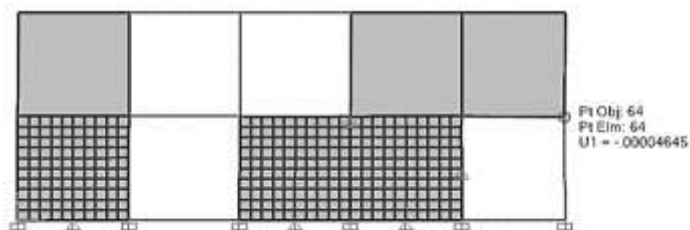
Gambar 14. Model IV dengan Deformasi Akibat Gempa Arah X



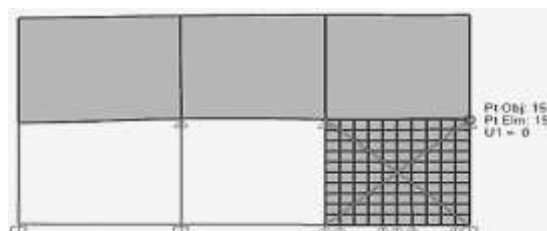
Gambar 15. Model I dengan Deformasi Akibat Beban Gempa Arah Y



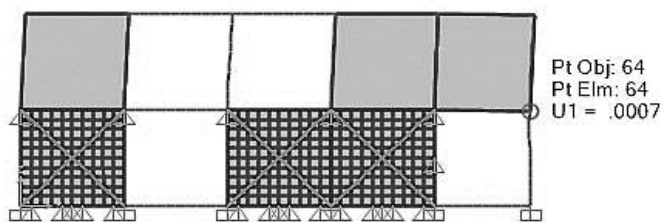
Gambar 20. Model II dengan Deformasi Gempa Arah X, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)



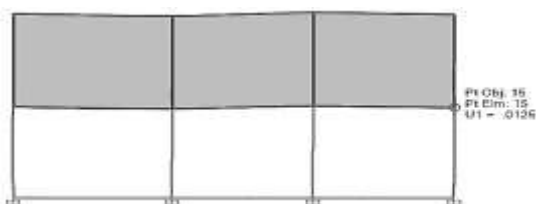
Gambar 16. Model II dengan Deformasi Akibat Beban Gempa Arah Y



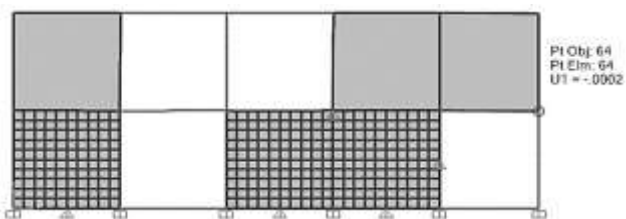
Gambar 21. Model III dengan Deformasi Gempa Arah X, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)



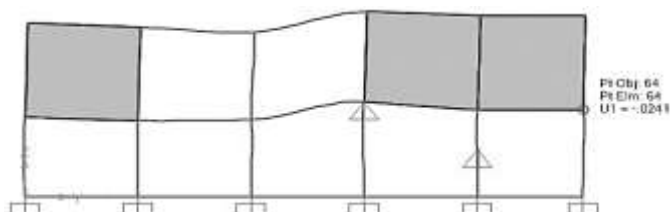
Gambar 17. Model III dengan Deformasi Akibat Beban Gempa Arah Y



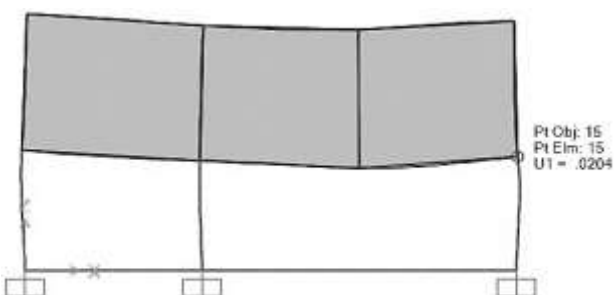
Gambar 22. Model IV dengan Deformasi Gempa Arah X, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)



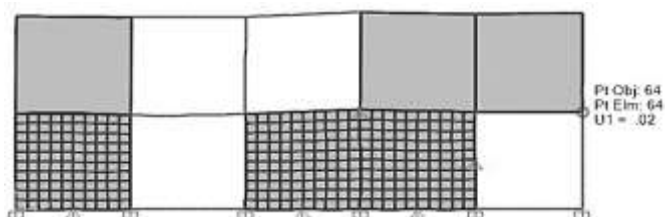
Gambar 18. Model IV dengan Deformasi Akibat Beban Gempa Arah Y



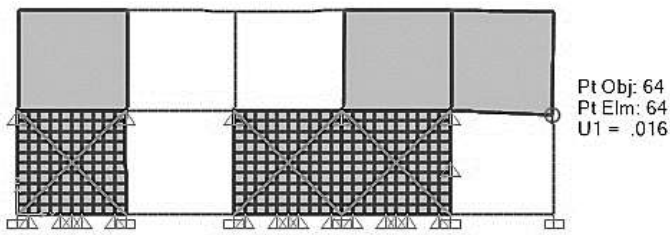
Gambar 23. Model I dengan Deformasi Gempa Arah Y, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)



Gambar 19. Model I dengan Deformasi Gempa Arah X, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)

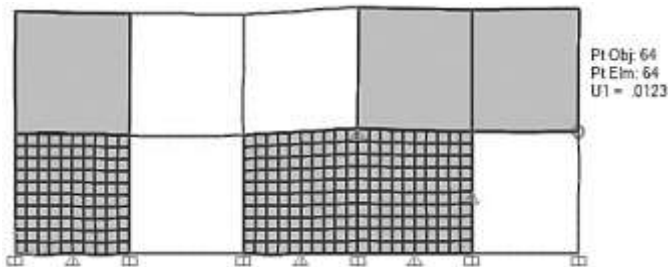


Gambar 24. Model II dengan Deformasi Gempa Arah Y, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)



Gambar 25. Model III dengan Deformasi Gempa Arah Y, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)

Model	Displacement (mm)	Deformasi
I	0.0009	
II	0.000046	
III	0.0007	
IV	0.0002	



Gambar 26. Model IV dengan Deformasi Gempa Arah Y, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)

TABEL 4. Deformasi Gempa Arah X, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)

Model	Displacement (mm)	Deformasi
I	0.02	
II	0.02	
III	0	
IV	0.0125	

TABEL 5.

Deformasi Gempa Arah Y, Kombinasi Pembebanan (Beban Mati + Beban Hidup + Beban Gempa)

Model	Displacement (mm)	Deformasi
I	0.024	
II	0.02	
III	0.016	
IV	0.0123	

Dapat dilihat pada gambar 11 struktur mengalami deformasi yang cukup besar karena tidak dimodel dengan dinding pengisi pada lantai dasar yang dimana pada bagian lantai atas terdapat banyak dinding sebagai partisi karena digunakan sebagai tempat tinggal, sedangkan bagian bawah karena digunakan sebagai tempat usaha (toko) relatif sedikit dinding pengisinya. Kondisi tersebut menyebabkan bagian atas relatif sangat kaku dibandingkan bagian bawah sehingga ketika terjadi gempa, struktur bagian bawah mengalami deformasi yang cukup besar dibandingkan deformasi pada lantai atas.

TABEL 2.

Deformasi Akibat Beban Gempa Arah X

Model	Displacement (mm)	Deformasi
I	0.0032	
II	0.0026	
III	0	
IV	0.0029	

TABEL 3.

Deformasi Akibat Beban Gempa Arah Y

Dari gambar 11 sampai dengan gambar 18, tabel 2 dan tabel 5 diatas, berdasarkan hasil running model pada software SAP2000 v.16 perbandingan empat model struktur dapat dilihat bahwa *displacement* untuk rangka struktur dengan dinding pengisi (*infilled frame*) jauh lebih kecil dibandingkan dengan struktur rangka terbuka (*open frame*). Rangka struktur dengan dinding pengisi yang menggunakan *diagonal strut* jauh lebih kaku jika dibandingkan dengan 3 (tiga) model lainnya apabila ditinjau terhadap beban gempa arah X.

3. Kekakuan Struktur

Tingkat kekakuan dari 4 (empat) model struktur ditinjau terhadap beban gempa baik beban gempa arah X maupun beban gempa arah Y (Tabel 6).

TABEL 6.

Prosentase Perbandingan Tingkat Kekakuan Struktur

	Model I	Model II	Model III	Model IV
Gempa Arah X	0.0032	0.0026	0	0.0029
Prosentase Perbandingan	-	19 % lebih kaku	100 % lebih kaku	9 % lebih kaku
Gempa Arah Y	0.0009	0.000046	0.0007	0.0002
Prosentase Perbandingan	-	95 % lebih kaku	22 % lebih kaku	78 % lebih kaku

Dari tabel 6 memperlihatkan bahwa *infilled frame* untuk Model II, 19 % lebih kaku dibandingkan dengan *open frame* (Model I); sedangkan Model III, 100 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I; dan Model IV, 9 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I yang jika ditinjau dari akibat beban gempa arah X. Jika ditinjau dari akibat beban gempa arah Y, Model II, 95 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I; sedangkan Model III, 22 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I; dan Model IV, 78 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I

4. Gaya-Gaya Dalam pada Struktur

Selain membandingkan besar *displacement* dari 4 (empat) model struktur, dalam penelitian ini juga membandingkan besar momen (gambar 27, tabel 7 dan tabel 8), gaya lintang (gambar 28, tabel 9 dan tabel 10) yang terjadi ditinjau terhadap salah satu *object/*elemen dan perbandingan tegangan yang terjadi pada dinding pengisi (tabel 11 dan tabel 12).

TABEL 7.

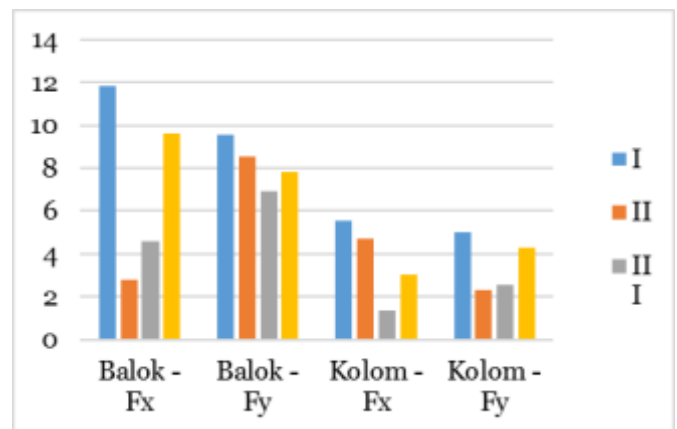
Momen yang Terjadi Akibat Gempa Arah X (KNm)

Model	Balok	Kolom
I	11.82	5.53
II	2.77	4.72
III	4.60	1.35
IV	9.60	3.01

TABEL 8.

Momen yang Terjadi Akibat Gempa Arah Y (KNm)

Model	Balok	Kolom
I	9.56	4.99
II	8.54	2.34
III	6.95	2.58
IV	7.80	4.26



Gambar 27. Grafik Besar Momen yang Terjadi (KNm) pada Balok dan Kolom

Dari gambar 27, tabel 7 dan tabel 8, nilai momen rangka struktur dengan dinding pengisi lebih kecil dibandingkan dengan struktur rangka terbuka (*open frame*), dan demikian pula dengan besar gaya lintang yang terjadi pada rangka struktur dengan dinding pengisi (Model II, Model III, Model IV) lebih kecil dibandingkan dengan struktur rangka terbuka (Model I) baik ditinjau akibat beban gempa arah X (tabel 9) maupun akibat beban gempa arah Y (tabel 10) dan gambar 28.

TABEL 9.

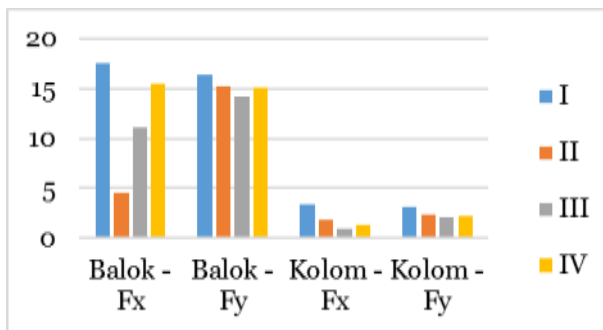
Gaya Lintang yang Terjadi Akibat Gempa Arah X (KN)

Model	Balok	Kolom
I	17.54	3.32
II	4.56	1.78
III	11.13	0.98
IV	15.46	1.27

TABEL 10.

Gaya Lintang yang Terjadi Akibat Gempa Arah Y (KN)

Model	Balok	Kolom
I	16.37	3.08
II	15.23	2.39
III	14.20	2.14
IV	15.10	2.20



Gambar 28. Grafik Besar Momen yang Terjadi (KNm) pada Balok dan Kolom

TABEL 11.

Tegangan pada Dinding Pengisi Akibat Gempa Arah X

Model	Nilai (KN/m ²)	Deformasi
II	14.12	
III	20.48	
IV	12.62	

TABEL 12.

Tegangan pada Dinding Pengisi Akibat Gempa Arah X

Model	Nilai (KN/m ²)	Deformasi
II	44.78	
III	28.36	
IV	14.94	

Dari tabel 11 dan tabel 12, tegangan yang terjadi pada dinding pengisi Model II lebih besar dibandingkan dengan Model IV dan jauh lebih kecil dibandingkan dengan Model III jika ditinjau akibat beban gempa arah X. Sedangkan jika ditinjau akibat beban gempa arah Y, tegangan yang terjadi pada dinding pengisi Model II jauh lebih besar dibandingkan dengan Model IV dan Model III. Berdasarkan hasil analisa, dengan adanya penambahan kolom pada struktur gedung, tegangan yang terjadi pada dinding pengisi menjadi semakin kecil.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Analisa tentang kekakuan struktur dengan adanya dinding pengisi telah dilakukan melalui kajian pustaka dan running model pada program SAP2000 V.16, dengan 4 (empat) model yaitu: Model I sepenuhnya menggunakan elemen frame sedangkan pelat akan dimodel dengan elemen shell, Model II merupakan struktur yang dimodel dengan mengikutsertakan dinding pengisi sebagai shell element pada pemodelannya, Model III adalah pemodelan struktur portal dengan dinding pengisi sebagai ekuivalen *diagonal strut*, dan Model IV merupakan struktur yang dimodel dengan mengikutsertakan dinding pengisi sebagai *shell element* pada pemodelannya dimana terdapat penambahan kolom struktur pada konstruksi gedung. Dari hasil analisa, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model II, 19 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I; sedangkan Model III, 100 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I; dan Model IV, 9 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I yang jika ditinjau dari akibat beban gempa arah X. Jika ditinjau dari akibat beban gempa arah Y, Model II, 95 % lebih kaku dibandingkan Model I; sedangkan Model III, 22 % lebih kaku dibandingkan dengan

Model I; dan Model IV, 78 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I.

2. Nilai momen dan gaya lintang Model II, Model III, Model IV lebih kecil dibandingkan dengan Model I baik ditinjau akibat beban gempa arah X maupun akibat beban gempa arah Y.
3. Tegangan yang terjadi pada dinding pengisi Model II lebih besar dibandingkan dengan Model IV dan jauh lebih kecil dibandingkan dengan Model III jika ditinjau akibat beban gempa arah X. Sedangkan jika ditinjau akibat beban gempa arah Y, tegangan yang terjadi pada dinding pengisi Model II jauh lebih besar dibandingkan dengan Model IV dan Model III. Berdasarkan hasil analisa, dengan adanya penambahan kolom pada struktur gedung, tegangan yang terjadi pada dinding pengisi menjadi semakin kecil.
4. Dari segi keamanan, struktur gedung bertingkat yang menggunakan dinding pengisi jauh lebih aman dan lebih kaku dibandingkan dengan struktur rangka terbuka dan sangat memenuhi syarat untuk digunakan pada daerah yang beresiko gempa tinggi.

2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Untuk memperkecil besar simpangan/displacement yang terjadi pada suatu struktur gedung bertingkat, akan menjadi lebih baik jika merencanakan penempatan dinding pengisi dengan memperhatikan mutu dan kualitas material yang digunakan.
2. Dalam proses konstruksi, pemasangan dinding pengisi sebaiknya dilakukan setelah struktur utama seperti balok, kolom dan pelat selesai dipasang, karena keberadaan dinding pengisi memberi sumbangan yang besar terhadap kekakuan dan kekuatan struktur, sehingga deformasinya berbeda dibanding portal terbuka pada saat menerima beban lateral yang besar (akibat gempa).
3. Untuk penelitian lebih lanjut mengenai perkuatan struktur kerangka bangunan bertingkat terhadap beban gempa dengan infilled frame, perlu

dilakukan berbagai variasi penempatan dinding pengisi di tiap lantai dengan variasi proporsi campuran mortar, kelas bata merah yang dipergunakan, dan tebal plesteran.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Anonimus, 2007, *Analysis Reference Manual SAP 2000*, Computer and Structures, Inc. California, USA.
- [2] Anonimus, 2007, *Contents and Index SAP 2000*, Computer and Structures, Inc. California, USA.
- [3] Asteris, P.G., 2008, *Finite Element Micro-Modeling of Infilled Frames*, Electronic Journal of Structural Engineering (8) 2008.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-1726-2012, 2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*, Bandung.
- [5] Bell, D.K. and Davidson, B.J. (2001), *Evaluation of Earthquake Risk Buildings with Masonry Infill Panels*, NZSEE 2001 Conference.
- [6] Das, D., Murty, C.V.R., 2004, *Brick Masonry Infill in Seismic Design of RC Framed Buildings: Part I – Cost Implications*. July 2004 - The Indian Concrete Journal.
- [7] Dewobroto, W., 2005, *Analisis Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan Equivalent Diagonal Strut*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Edisi Vol. 12/4, Oktober 2005.
- [8] Dorji, J. 2009. *Seismic Performance of Brick Infilled RC Frame Structures in Low and Medium Rise Buildings in Bhutan* (Tesis). Queensland University of Technology.
- [9] Gunawan, K.M, 2011, *Analisis Konstruksi Bertahap Pada Struktur Rangka Dengan Dinding Pengisi*, Tesis Sarjana S2 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana, Denpasar.
- [10] Holmes, M. (1961), *Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling*, Proceeding Institute of Civil Engineers, London, England, Part 2. Vol. 19, 473 – 478.
- [11] Kaushik, H.B., Rai, D.C., Jain, S.K. 2006, *Code Approaches to Seismic Design of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames: A State of the Art Review*. Earthquake Spectra, Volume 22, No. 4, 961-983, 2006.
- [12] Korkmaz, K.A., Demir, F., Mustafa S.VR., 2007, *Earthquake Assessment of R/C Structures with Masonry Infill Walls*, International Journal of Science & Technology, Volume 2, No 2, 155-164, 2007.
- [13] Smith, B.S., Coull, A., 1991, *Tall Building Structures; Analysis and Design*, John Wiley and Sons, Inc.
- [14] Sukrawa, M., 2010, *Penjertaan Dinding Pengisi dalam Pemodelan Kerangka Beton Bertulang dan Pengaruhnya terhadap Hasil Perencanaan Struktur*, Draft Paper dalam Konteks 4 di Sanur-Bali, 2-3 Juni 2010.
- [15] Vaseva, E. 2009. *Seismic Analysis of Infilled R/C Frames with Implementation of a Masonry Panel*.