

ANALISIS NON LINIER PERILAKU SOFT STOREY PADA BANGUNAN RUKO PADANGSIDIMPUAN DENGAN MEMPERHITUNGKAN BATA SEBAGAI STUKTUR

Sahrul Harahap^{*)}, Johannes Tarigan^{**)}

1) Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil USU

2) Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil dan Program Studi Magister Teknik Sipil USU

ABSTRAK

Gempa Bumi Sumatera Barat tahun 2009 terjadi dengan kekuatan 7,6 Skala Richter di lepas pantai Sumatera Barat pada tahun 2009. Gempa ini terjadi di lepas pantai Sumatera, sekitar 50 km barat laut Kota Padang. Dengan kejadian di Kota Padang kemungkinan besar akan terjadi di Kota Padangsidempuan, karena prinsip bangunan gedung di Kota Padangsidempuan adalah balok kuat kolom lemah yang diperoleh dari hasil survey visual lapangan. Sementara prinsip dalam mendesain bangunan gedung tahan gempa adalah kolom kuat balok lemah. Keruntuhan pada bangunan akibat gempa salah satunya yaitu pemilihan struktur *soft storey*. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pertambahan kekakuan, beban kapasitas maksimum akibat bata sebagai beban, struktur, struktur dengan kolom confinement dan struktur berdasarkan SNI terhadap bangunan ruko yang ditinjau di kota Padangsidempuan dengan kelayakan tahan terhadap gempa. Metode yang digunakan dalam penyelesaian tesis ini adalah simulasi numerik dengan metode elemen hingga. Dari hasil analisis data, dapat diambil kesimpulan: gaya geser dasar maksimum bata arah-x diperoleh: 1268,12 kg (bata sebagai beban), 2121,03 kg (bata sebagai struktur), 2339,96 kg (bata dengan kolom confinement) dan 2924,36 kg (bata berdasarkan SNI). Serta gaya geser dasar maksimum bata arah-x diperoleh: 1265,70 kg (bata sebagai beban), 6048,19 kg (bata sebagai struktur), 6395,49 kg (bata dengan kolom confinement) dan 6702,15 kg (bata berdasarkan SNI). Gaya geser dasar meningkat sebesar 1,75 kali (bata sebagai struktur), 1,85 kali (bata dengan kolom confinement) dan 2,31 kali (bata berdasarkan SNI) dibandingkan dengan bata diasumsikan sebagai beban. Kekakuan meningkat sebesar 4,52 kali (bata sebagai struktur), dan 5,08 kali (bata dengan kolom confinement) dan 5,54 kali (bata berdasarkan SNI).

Kata kunci: batu sebagai beban, struktur, gaya geser dasar dan kekakuan

ABSTRACT

An earthquake of magnitude 7.6 on Richter scale struck the offshore of West Sumatera in 2009. It took place approximately 50 km to the Northwest from Padang. The similar earthquake may very likely strike Padangsidempuan as the principle of building construction in Padangsidempuan uses the strong column weak beam as shown by the results of the visual field survey. Meanwhile, the principle in designing seismic-resistant building is the strong column weak beam. One of the reasons why a building fails in an earthquake is the selection of soft story structure. The research objective was to determine increase stiffness, maximum load capacity due to the brick as a load, the structure, structure the column confinement and structure based on SNI to a shop buildings in the city Padangsidempuan who reviewed the feasibility resistant to earthquakes. The method applied is the numeric simulation with finite element method. The result shows that the maximum base shear force of bricks in x axis is 1,268.12 kg (loading brick) 2,121.03 kg (brick as structure), 2,339.96 kg (confinement of brick column), and 2,924.36 kg (SNI standard brick). The result also shows that the maximum shear force base of bricks in x axis is 1,265.70 kg (loading brick) 6,048.19 kg (brick as structure), 6,395.49 kg (confinement of brick column), and 6,702.15 kg (SNI standard brick). The base shear force increases 1.75 times (brick as structure), 1.85 times (confinement of brick column), and 2.31 times (SNI standard brick) compared to the loading brick. The stiffness increases 4.52 times (brick as structure), 5.08 times (confinement of brick column), and 5.54 times (SNI standard brick).

Keywords: loading brick, structure, base shear force, and stiffness

1. Pendahuluan

Gempa Bumi yang terjadi di Sumatera Barat dengan kekuatan 7,6 Skala Richter di lepas pantai Sumatera Barat pada tahun 2009. Gempa ini terjadi di lepas pantai Sumatera, sekitar 50 km barat laut Kota Padang.

Dengan kejadian diatas kemungkinan besar akan terjadi di Kota Padangsidempuan, karena prinsip bangunan gedung di Kota Padangsidempuan adalah balok kuat kolom lemah yang diperoleh dari hasil survey visual lapangan. Sementara prinsip dalam mendesain bangunan gedung tahan gempa adalah kolom kuat balok lemah. Tingginya jumlah kerusakan gedung tidak terlepas dari jenis struktur bangunan itu sendiri. Pada dasarnya kolom yang mengalami *soft storey* dapat dikategorikan sebagai kolom yang menerima beban relatif kuat dari struktur diatasnya. Struktur dengan *soft storey* akan memperbesar deformasi lateral dan gaya geser pada kolom. Keruntuhan pada bangunan akibat gempa salah satunya yaitu pemilihan struktur *soft storey*.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pertambahan kekakuan, beban kapasitas maksimum akibat bata sebagai beban, struktur, struktur dengan kolom confinement dan struktur berdasarkan SNI terhadap bangunan ruko yang ditinjau di kota Padangsidempuan dengan kelayakan tahan terhadap gempa.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadi getaran pada permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa. Energi yang dilepaskan tersebut merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran. Berdasarkan kedalaman hiposentrumnya gempa bumi dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Gempa dangkal adalah gempa yang kedalaman hiposentrumnya kurang dari 50 km dari permukaan bumi. Gempa dangkal pada umumnya menimbulkan gempa yang sangat besar.
2. Gempa intermedier atau gempa sedang adalah gempa bumi yang hiposentrumnya pada kedalaman antara 50-300 km dari permukaan bumi.
3. Gempa dalam adalah gempa bumi yang kedalaman hiposentrumnya antara 300-700 km dari permukaan bumi. Gempa bumi dalam pada umumnya tidak membahayakan. Getaran gempa bumi merambat dari hiposentrum dan menyebar ke segala arah dalam wujud getaran gelombang primer dan sekunder. Sedangkan dari episentrum terjadi rambatan getaran gempa di permukaan bumi dalam bentuk gelombang panjang.

Gelombang gempa bumi dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Gelombang primer/longitudinal adalah gelombang yang merambat ke segala arah di lapisan kulit bumi, dengan kecepatan ± 8 km/s dan $T = 5-7$ s. Gelombang ini merupakan gelombang pertama yang sampai ke seismograf.
2. Gelombang sekunder/transversal adalah gelombang yang merambat ke segala arah, dan tegak lurus dengan gelombang primer, dengan kecepatan ± 4 km/s dan $T = 11-14$ s.
3. Gelombang panjang adalah gelombang yang telah sampai ke permukaan bumi dan merambat ke segala arah, dengan $v = 3-4$ km/s dan periode yang relatif lama.

Berdasarkan peristiwa yang menyebabkan terjadinya gempa dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Gempa vulkanik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas gunung api. Gempa ini tidak begitu hebat. Sumber kekuatan gempa bumi vulkanik hanya berasal dari aktivitas magma gunung api. Gempa vulkanik biasanya hanya dapat dirasakan oleh penduduk yang tinggal di sekitar gunung yang meletus.
2. Gempa tektonik adalah gempa bumi yang disebabkan oleh dislokasi atau perpindahan pergeseran lapisan bumi yang tiba-tiba terjadi dalam struktur bumi sebagai akibat adanya tarikan atau tekanan. Pergeseran lapisan bumi dapat secara vertikal ataupun secara horizontal. Gempa tektonik dapat menimbulkan kerusakan yang parah apabila episentrumnya dangkal.
3. Gempa runtuh adalah gempa bumi yang disebabkan oleh tanah longsor, runtuhnya atap gua/terowongan di bawah tanah. Intensitas gempa runtuh sangat kecil sehingga gempa ini tidak akan terasa pada jarak yang jauh.

2.2 Karakteristik Gerakan Tanah

Gerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditunjukan pada percepatan tanah, sekaligus menjadi parameter utama. Gerakan tanah sering disebut dengan istilah *ground motions*. *Ground motions* sering juga disebut dengan istilah percepatan tanah (*ground acceleration*), kecepatan gerakan (*ground velocity*) dan simpangan tanah (*ground displacement*). Untuk membahas *ground motions parameters* akan berkaitan dengan pemahaman karakter gempa itu sendiri dan hubungannya dengan akibat kerusakan yang ditimbulkan.

2.3 Dinding Pengisi

Dinding pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dinding batu bata merah, karena sangat banyak digunakan hampir di seluruh bangunan-bangunan pada wilayah negara Indonesia. Hal ini dikarenakan bata merah memiliki sifat harga yang ekonomis, mudah didapat, dan tahan terhadap cuaca.

Bata merah (*clay brick*) adalah bahan bangunan yang digunakan untuk pembuatan konstruksi bangunan, dibuat dari tanah liat dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lainnya yang dibentuk persegi panjang, dibakar pada suhu yang tinggi hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air.

Dinding pengisi bata biasa digunakan pada struktur bangunan beton bertulang ataupun struktur bangunan baja. Dinding dapat menutupi tembok bangunan secara keseluruhan dan ada juga yang memiliki bukaan untuk pintu dan jendela. Namun dalam perencanaan struktur bangunan, dinding pengisi hanya diperlakukan sebagai sekat atau partisi tanpa fungsi struktural. Padahal apabila terjadi gempa dinding pengisi dapat mempengaruhi kekakuan dan kekuatan struktur yang efeknya kadang tidak menguntungkan pada struktur tersebut sehingga dapat menimbulkan kerusakan (Dewobroto, 2005).

Gambar 1 menunjukkan salah satu efek yang tidak menguntungkan pada struktur akibat perilaku dinding bata, yaitu terjadinya keruntuhan *soft-storey* akibat gempa yang terjadi di Padang tahun 2009. Keruntuhan *soft-storey* ini terjadi karena penggunaan dinding pengisi yang sangat minim pada bagian dasar bangunan. Ketika terjadi gempa akan menimbulkan pergerakan lateral pada tanah sehingga lantai di atas yang lebih berat merespon gaya lateral yang lebih besar. Karena kolom di bawah yang lebih lemah, maka terjadi keruntuhan pada kolom bawah (*soft-storey mechanism*). Dan telah kita ketahui bersama bahwa tujuan utama sebuah kolom adalah memikul gaya aksial desak dan juga menopang balok, lantai dan seluruh beban di lantai sehingga kolom seharusnya tidak boleh runtuh sebelum balok.

Bangunan dengan perilaku *soft storey* tidak memenuhi kaidah "kolom kuat balok lemah" (*strong column weak beam*). Struktur gedung harus memenuhi persyaratan "kolom kuat balok lemah" ini agar ketika struktur memikul pengaruh gaya gempa, sendi-sendi plastis di dalam struktur tersebut hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki kolom saja.



Gambar 1. Keruntuhan *soft-storey* yang terjadi di kota Padang tahun 2009 (<https://wiryanto.wordpress.com/2009/10/26/foto-foto-gempa-di-padang>)

Dinding pengisi ini bersifat getas, selain itu juga dapat hancur jauh lebih awal, berat struktur jadi bertambah dan *base shear* desain menjadi bertambah. Dalam analisa tidak linear elemen dinding pengisi ini dimodelkan melalui sebuah elemen garis yang disebut dengan elemen tekan (*strut* atau *compressional member*). Elemen ini memiliki sifat kekuatan dan simpangan yang getas (*brittle*).

Perilaku portal dengan dinding bata terhadap pembebanan lateral telah lama diselidiki, misalnya oleh Holmes (1961), Smith (1966), Dawe dan Sheah (1989), Mehrabi et al (1996), Mehrabi dan Shing (1997), Madan et al (1997) dan lain-lain. Dari beberapa penelitian yang ada, pemodelan dinding bata sebagai *bracing* tekan yang diteliti oleh Saneinejad dan Hobbs (1995) dinilai paling sederhana namun representatif. Metode ini telah memperhitungkan perilaku elastis dan plastis portal isi dengan mempertimbangkan adanya daktilitas yang terbatas dari material dinding pengisi. Metode ini lebih dikenal dengan nama metode *Equivalent Diagonal Strut*.

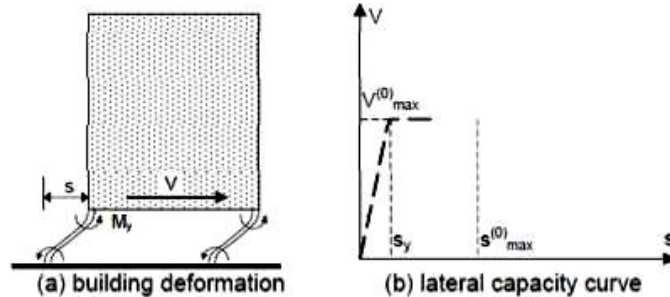
2.4 Soft Storey

Sebuah tingkat/lantai lunak (*soft storey*) dikenal juga sebagai lantai yang lemah (*weak storey*) didefinisikan sebagai tingkat pada gedung yang memiliki sebagian besar kekakuan atau kapasitas untuk menyerap energinya sangat kecil untuk melawan/menahan induksi tekanan akibat gempa terhadap gedung tersebut. Gedung dengan tingkat lunak memiliki karakteristik dengan bukaan yang cukup banyak. Bukaan ini seperti garasi yang kemudian memberi banyak jarak/ruang, atau bisa juga dengan adanya banyak jendela pada gedung tersebut.

Jika sebuah bangunan memiliki tingkat/lantai yang mana kekakuannya 70% lebih kecil dari kekakuan tingkat/lantai di atasnya atau kurang dari 80% dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya maka bangunan ini disebut sebagai bangunan dengan tingkat lunak (*soft storey*). *Soft storey* ini menghasilkan banyak titik lemah ketika gempa terjadi pada lokasi gedung berada, seperti yang kita ketahui umumnya sebuah gedung memiliki

lebih banyak bukaan seperti tempat parkir ataupun garasi yang terletak pada tingkat yang paling bawah, dan hal ini berarti bahwa akan sangat cepat terjadi keruntuhan (*collapse*). Keruntuhan ini dapat membuat seluruh bangunan jatuh dan kejadian ini sangat berakibat fatal yaitu bangunan tidak dapat digunakan kembali.

Akibat gempa, bangunan *soft storey* pada tingkat paling bawah akan bersifat seperti base isolator dimana pada saat gempa terjadi bagian gedung paling atas akan berperilaku sebagai rigid body dan yang mengalami deformasi hanya kolom bawah (berfungsi sebagai base isolator).



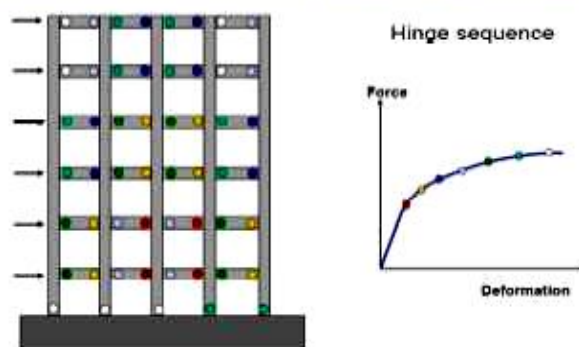
Gambar 2. Bangunan dengan *soft storey* (Rumbitaruna dan Panjaitan, 2011)

Pada saat sendi plastis terjadi pada kedua ujung kolom, maka rotasi demand θ_{maks}^o dan gaya geser terjadi V_{maks}^o , yaitu:

$$\theta_{maks}^o = \frac{S_{maks}^o}{H} \quad (1)$$

$$V_{maks}^o = \frac{\sum My}{\frac{H}{2}} \quad (2)$$

Increase Local Redundancy by Designing Hinge Sequence



Gambar 3. Struktur yang daktail (Rumbitaruna dan Panjaitan, 2011)

Bila kapasitas kekuatan dan rotasi kolom lebih kecil dari demand maka akan terbentuk *soft storey* mechanism. Dalam perencanaan pengaruh *soft storey* sebaiknya diperiksa dengan melakukan analisis dinamik seperti analisis static atau *dynamic push over*, sehingga dapat diperiksa urutan terjadinya sendi plastis sebelum terbentuk *soft storey mechanism* yang dapat menyebabkan keruntuhan bangunan. Dengan merancang urutan sendi plastis yang terjadi maka dapat diperoleh suatu bangunan yang daktail. Disamping itu untuk meningkatkan kapasitas rotasi dari kolom dibutuhkan confinement yang memadai. Confinement akan meningkatkan daktilitas dari penampang kolom.

2.5 Kekakuan Kolom (Stiffness)

Analisis statik non linier *pushover* (ATC 40, 1997) merupakan salah satu komponen *Performance based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Dasar analisis dilakukan dengan peningkatan beban statik tertentu dalam arah lateral yang nilainya ditingkatkan berangsur-angsur (*incremental*) secara proporsional pada struktur hingga mencapai target *displacement* atau mencapai mekanisme diambang keruntuhan. Prosedur analisisnya akan menjelaskan bagaimana mengidentifikasi bagian-bagian dari bangunan yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan penambahan beban akan ada elemen-elemen yang lain mengalami leleh dan mengalami deformasi *inelastic*.

Suatu struktur harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga pergerakannya dapat dibatasi. Kekakuan struktur K dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai bangunan, semakin kecil simpangan struktur maka

bangunan tersebut akan semakin kaku. Ada perbedaan antara *displacement* dan *drift*, *displacement* adalah simpangan suatu lantai di ukur dari dasar lantai sedangkan *drift* adalah simpangan suatu lantai di ukur dari dasar lantai di bawahnya. Sehingga rumus kekakuan menjadi:

$$K = \frac{P}{d} (N/mm) \quad (3)$$

Dimana:

- K = kekakuan
- P = Gaya (N)
- d = Perpindahan (mm)

Kekakuan bahan itu sendiri dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan dan ukuran elemen tersebut. Dan modulus elastisitas berbanding lurus dengan kekuatan bahan, maka semakin kuat bahan maka bahan tersebut juga semakin kaku. Namun bahan yang terlalu kaku bisa menjadi getas (patah seketika).

Pada prinsip bangunan geser (*shear building*) balok pada lantai tingkat dianggap tetap horizontal baik sebelum maupun sesudah terjadi pergoyangan. Adanya pelat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak selalu kasar. Pada prinsip desain bangunan tahan gempa dikehendaki agar kolom lebih kuat dibanding balok, namun rasio tersebut tidak selalu linier dengan kekakuannya.

2.6 Analisis Statik Non-Linier (Pushover Analysis)

Analisis statik non linier *pushover* (ATC 40, 1997) merupakan salah satu komponen *Performance based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Dasar analisis dilakukan dengan peningkatan beban statik tertentu dalam arah lateral yang nilainya ditingkatkan berangsur-angsur (*incremental*) secara proporsional pada struktur hingga mencapai target *displacement* atau mencapai mekanisme diambang keruntuhan. Prosedur analisisnya akan menjelaskan bagaimana mengidentifikasi bagian-bagian dari bangunan yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan penambahan beban akan ada elemen-elemen yang lain mengalami leleh dan mengalami deformasi *inelastic*.

Analisis *pushover* adalah suatu cara analisis statik non-linier dimana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis.

Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linear sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linear. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Tahapan utama dalam analisa *pushover*, adalah:

1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekuivalen dengan distribusi dari gaya inerti, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.

Hasil akhir dari analisis ini berupa nilai-nilai gaya-gaya geser dasar (*base shear*) untuk menghasilkan perpindahan dari struktur tersebut. Nilai-nilai tersebut akan digambarkan dalam bentuk kurva kapasitas yang merupakan gambaran perilaku struktur dalam bentuk perpindahan lateral terhadap beban yang diberikan. Selain itu, analisis *pushover* dapat menampilkan secara visual elemen-elemen struktur yang mengalami kegagalan, sehingga dapat dilakukan pencegahan dengan melakukan pendetailan khusus pada elemen struktur tersebut.

Pada analisis *pushover* ini mode yang akan digunakan ialah mode pertama. Analisis yang menggunakan mode-mode yang lebih tinggi menghasilkan analisis yang lebih akurat dalam menggambarkan perilaku struktur, tetapi untuk mendapatkannya dibutuhkan variable dan data yang rumit, selain itu masih sangat sedikit analisis yang bisa digunakan untuk mendapatkan nilai ragam yang lebih tinggi.

3. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini Analisa yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang baik adalah Analisa *Pushover*. Metode yang digunakan adalah metode pendekatan numerik, yaitu menggunakan bantuan program numerik (ETABS). Analisa statik nonlinear merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, yang dikenal sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik.

Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statik *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinear) untuk bangunan regular dan tidak tinggi. Adapun tahapan utama dalam analisa *pushover* adalah:

1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* dari berbagai pola distribusi gaya lateral yang ekuivalen dengan gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama dengan gempa sebenarnya. Karena sifat gempa tidak pasti, perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral.
3. Estimasi besarnya target perpindahan, titik kontrol di dorong sampai target tersebut, yaitu perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja.

Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan.

3.1 Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa statik linear dan analisa statik non-linear pada struktur bangunan yang dimodelkan sebagai portal 3 dimensi dan terdiri dari 4 model yaitu: bata sebagai beban, bata sebagai struktur, bata sebagai struktur berdasarkan SNI dan bata sebagai struktur dengan kolom confinement. Analisa statik yang digunakan adalah Analisa Statik Ekuivalen dan Analisa Ragam Spektrum Respons, sedangkan untuk analisa perilaku non liniernya menggunakan Analisa Beban Dorong Statik (*Static Pushover Analysis*).

Semua model struktur terdiri dari 4 lantai dan 3 bentang, sesuai dengan aktual dilapangan. Tinggi untuk lantai pertama untuk semua model adalah 4 m, sedangkan untuk lantai-lantai lainnya 3,5 m. Masing-masing mempunyai panjang bentang 5 m kecuali di bagian tengahnya 3 m. Perletakan diasumsikan jepit. Struktur diasumsikan terletak di atas tanah sedang dan berada di zona gempa sedang dan tinggi. Peruntukan bangunan diasumsikan sebagai perhotelan. Untuk *preliminary design* ditetapkan dimensi balok 30 x 50 cm, kolom 30 x 30 cm, dan tebal plat lantai 12 cm.

Jumlah bangunan yang dimodelkan yaitu: 4 model. Pada keempat model struktur dikerjakan kombinasi pembebanan yang sama. Beban yang bekerja pada struktur terdiri dari beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa. Beban gravitasi didapatkan berdasarkan PPIUG 1987, sedangkan beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012.

3.2 Propertis Bata

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa statik linear dan analisa statik non-linear pada struktur bangunan yang dimodelkan sebagai portal 3 dimensi dan terdiri dari 4 model yaitu: bata sebagai beban, bata sebagai struktur, bata sebagai struktur berdasarkan SNI dan bata sebagai struktur dengan kolom confinement. Analisa statik yang digunakan adalah Analisa Statik Ekuivalen dan Analisa Ragam Spektrum Respons, sedangkan untuk analisa perilaku non liniernya menggunakan Analisa Beban Dorong Statik (*Static Pushover Analysis*).

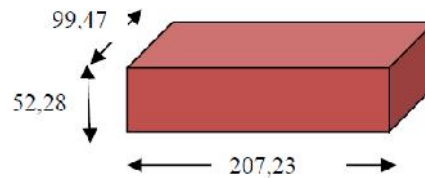
Dalam studi ini digunakan bata merah sebagai material dinding pengisi. Karakteristik dinding bata yang akan digunakan dalam studi ini didasarkan pada karakteristik dinding bata hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh Aryanto (2008). Berdasarkan eksperimen diperoleh data sebagai berikut:

1. Parameter individu bata dan mortar:
 - a. Kuat tekan unit bata 4,57 Mpa
 - b. Kuat tekan rata-rata mortar 10,45 Mpa
2. Parameter dinding pengisi (pasangan bata):
 - a. Kuat tekan rata-rata pasangan bata (fm') 3,54 Mpa
 - b. Modulus elastisitas dinding pengisi 2478 Mpa
 - c. Kuat Lekat/ bond pasangan bata 0,39 MPa
 - d. Regangan pada tegangan maksimum, $\epsilon_c = 0,002$

Propertis fisik bata merah yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 4.

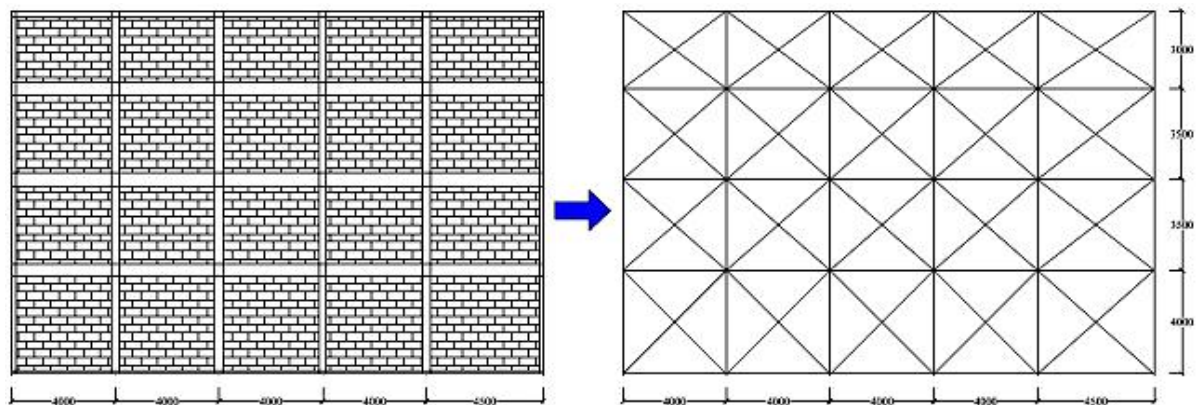
Tabel 1. Rata-rata propertis fisik bata merah (Aryanto, 2008)

Propertis	Bata Merah	Satuan
Panjang	207,23	mm
Tinggi	52,28	mm
Tebal	99,47	mm
Berat Jenis	1473,55	kg/m ³

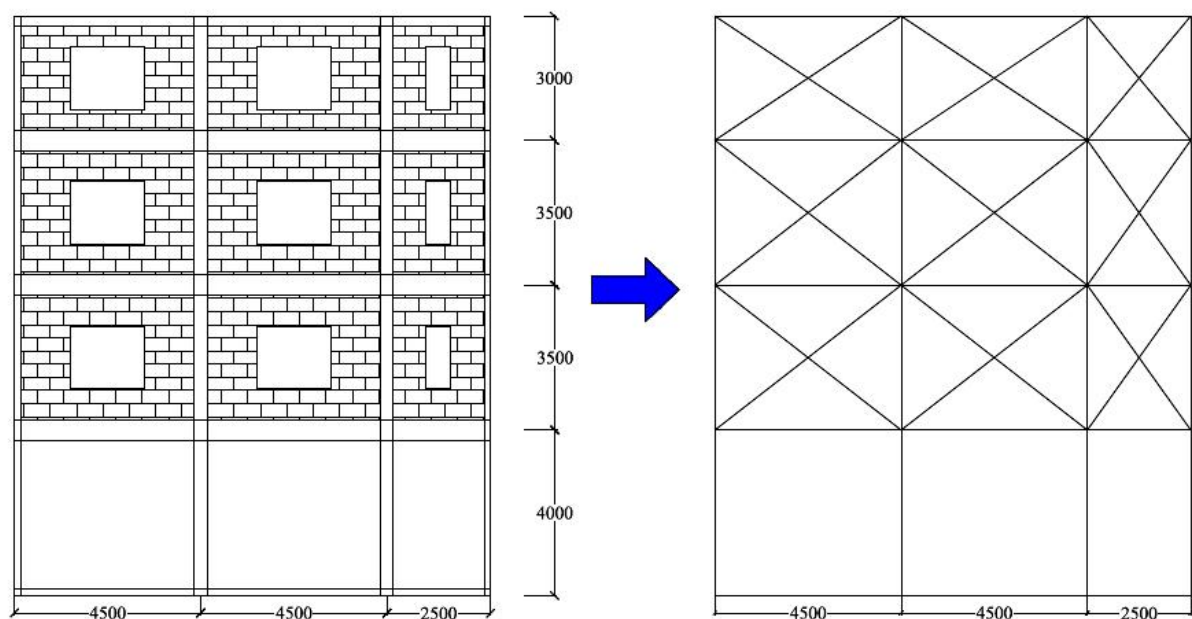


Gambar 4. Rata-rata dimensi bata merah (Aryanto, 2008)

Di dalam studi ini pemodelan dinding bata menggunakan metode *diagonal compression strut*, dinding bata akan dianggap sebagai *bracing* diagonal tekan. *Diagonal compression strut* memodelkan kekakuan ekuivalen non linier dinding pengisi bata dengan menggunakan batang tekan diagonal sehingga dengan metode seperti ini akan mempermudah analisa perhitungan. Dimensi ekuivalen *diagonal compression strut* didapat dengan menggunakan formula FEMA 273 dengan memperhatikan faktor bukaan pada dinding pengisi (Asteris,2003).



Gambar 5. Model dinding bata dengan bukaan sebagai strut elemen



Gambar 6. Model dinding bata tanpa bukaan sebagai strut elemen

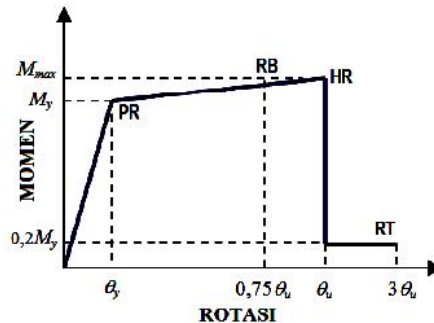
3.3 Sendi Plastis Balok, Kolom dan Dinding Bata

Pada studi ini elemen balok, kolom dan dinding bata dimodelkan sebagai balok Giberson atau dikenal juga dengan sebutan *lumped plasticity model* untuk pemodelan elemen nonlinear. Model ini mengandung elemen batang linear yang diapit oleh elemen pegas tidak linear tidak elastis pada kedua ujung-ujungnya (Faisal, 2013).

Pemakaian elemen pegas disini adalah untuk mewakili sendi plastis pada struktur beton akibat gaya gempa. Elemen pegas ini memiliki parameter-parameter tidak linear tidak elastis dalam bentuk hubungan gaya-deformasi seperti momen-kurvatur atau momen-rotasi; interaksi gaya aksial-momen, gaya geser, simpangan geser dan gaya aksial-simpangan. *Lumped plasticity model* ini ada di semua program komputer tidak linier yang memiliki elemen garis seperti Etabs.

Kondisi tidak linear tidak elastis pada sendi plastis di elemen garis diwakili oleh parameter-parameter momen-rotasi untuk balok dan kolom. Pada studi ini kekuatan lentur diasumsikan menurun mencapai 20% dari momen maksimum pada titik rotasi ultimit didasarkan pada hasil studi Rozman dan Fajfar (2009) tentang pemodelan komputer struktur versus hasil eksperimental uji *pseudo*-dinamis struktur gedung beton bertulang 3 dimensi.

Pada model ini kerusakan struktur yang terjadi dianggap masih dapat dibatasi pada kondisi rotasi leleh θ_y , kondisi rusak berat (RB) pada $0,75 \theta_u$, kondisi hampir rubuh (HR) pada θ_u , dan rubuh total pada $3 \theta_u$ seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Haselton et al (2007) membatasi nilai $\theta_p = 0,0035-0,0085$; $\theta_{pc} = 0,015-0,10$; dan $M_c/M_y = 1,17-1,21$.

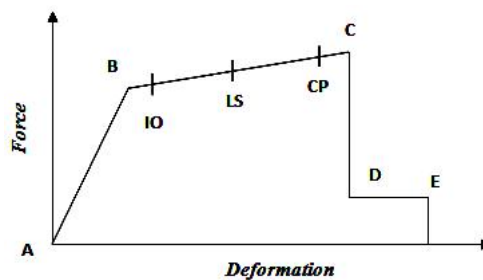


Gambar 7. Hubungan momen-rotasi pada ujung-ujung elemen (Rozman dan Fajfar, 2009)

Tabel 2. Nilai properti sendi plastis pada salah satu balok

Points	Force/SF	Displacement
Panjang	207,23	Mm
Tinggi	52,28	Mm
Tebal	99,47	Mm
Berat Jenis	1473,55	Kg/m3

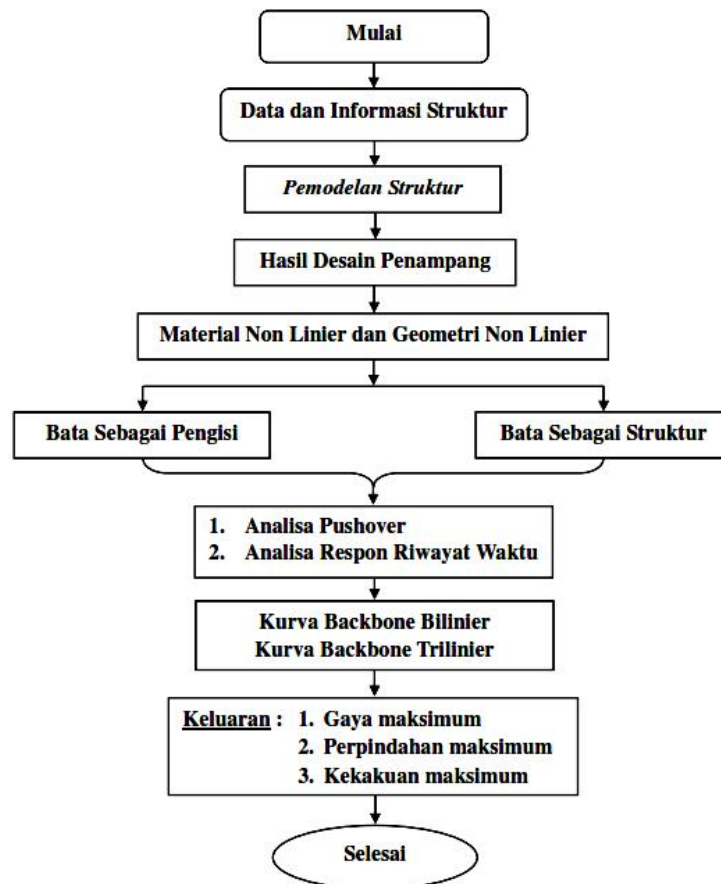
Kurva kapasitas yang dihasilkan oleh analisis *pushover* menggambarkan tahapan terbentuknya sendi plastis (lihat Gambar 8). Tahapan tersebut memperlihatkan kapan terjadinya pelelehan pertama dan kapan struktur tersebut mengalami keruntuhan. Dapat dilihat pada Gambar 3.13, A-B adalah kondisi elastik dan B-C memperlihatkan kondisi plastis. Di antara B dan C terdapat IO (*immediate occupancy*), LS (*life safety*) dan CP (*collapse prevention*).



Gambar 8. Kurva kapasitas dari analisis *pushover*

Elemen dinding pengisi dimodelkan menjadi sebuah elemen garis yang memiliki kekuatan dan simpangan yang getas (*brittle*). Untuk mendapatkan parameter ini digunakan persamaan yang diajukan oleh Saneinejad-Hobbs (1995) seperti yang telah dibahas sebelumnya. Elemen garis (*strut*) ini hanya menerima gaya tekan akibat beban lateral.

Adapun tahapan kajian secara simulasi numerik (ETABS) dalam penyelesaian dalam tesis ini, dapat dilihat pada diagram alir berikut (Gambar 9).



Gambar 9. Diagram alur penelitian

4. Hasil Pehitungan

Pada penelitian ini pemodelan struktur yang dimaksud adalah pemodelan struktur gedung beton bertulang 3 dimensi sebagai perbandingan dengan gedung yang sudah ada (aktual) dan dengan model desain berdasarkan SNI 2012, kedua struktur gedung dengan efek *soft storey*.

Setelah selesai dilakukan *run analysis*, maka tahap selanjutnya mengontrol dari hasil analisis, yaitu periode getar alami, gaya geser (*base shear*) dan perpindahan. Setelah didapatkan hasil analisis linear struktur bangunan gedung masih aman, maka dilanjutkan analisis *pushover*. Analisa beban statik non-linear akan dilaksanakan mengikuti petunjuk FEMA 356 dan menggunakan program ETABS. Adapun langkah-langkah dalam menganalisis *pushover*, yaitu:

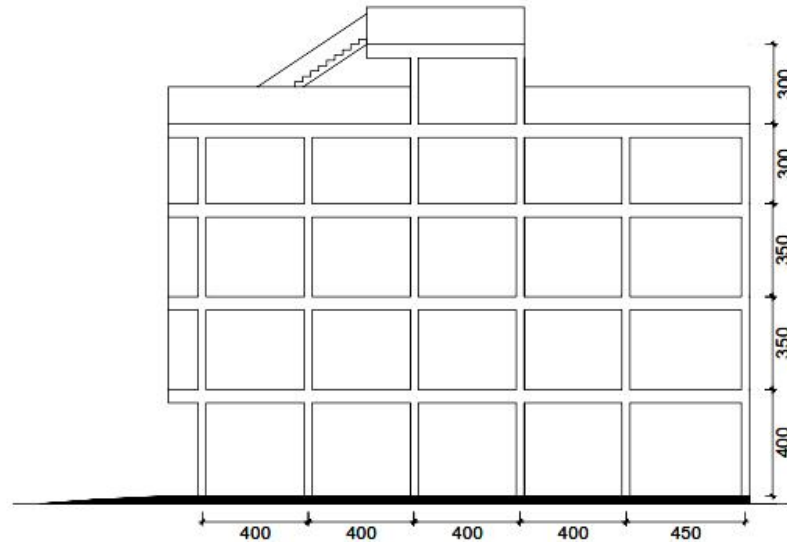
1. Memasukkan *pushover* case pada software ETABS.
2. Menempatkan properti sendi pada ujung balok dan kolom. Untuk balok pakai default- M_3 (arah sumbu kuat), dan untuk kolom pakai default P-MM ($M_2 M_3$) untuk arah sumbu kuat dan sumbu lemah.
3. Menentukan titik kontrol pada lantai atas atau atap.
4. Setelah langkah 1 sampai langkah 3 selesai dimasukan, kemudian lakukan run analysis statik nonlinier *pushover*.
5. Analisis beban dorong dilakukan dalam 2 tahap; pertama struktur diberi beban gravitasi berupa beban mati dan beban hidup yang tereduksi. Analisis tahap pertama belum memperhitungkan kondisi nonlinear. Kedua struktur diberikan pola beban lateral yang diberikan secara monotonik bertahap.
6. Pembebanan lateral ditingkatkan sampai komponen struktur yang paling lemah berdeformasi yang menyebabkan kekakuannya berubah secara signifikan (terjadi leleh dari penampang).
7. Proses pembebanan dilanjutkan sampai batas kinerja terdeteksi dari perpindahan titik kontrol pada atap. Langkah 5 sampai langkah 7 dilakukan secara otomatis oleh program ETABS.
8. Kurva *pushover* diplotkan agar menggambarkan respons perilaku nonlinier.

Pada penelitian ini pemodelan struktur yang dimaksud adalah pemodelan struktur gedung beton bertulang 3 dimensi sebagai perbandingan dengan gedung yang sudah ada (aktual) dan dengan model desain berdasarkan SNI 2012, kedua struktur gedung dengan efek *soft storey*.

Ada beberapa input data yang dibutuhkan pada saat menganalisis *Soft Storey* Bangunan Ruko, yaitu: data struktur, metode analisis, spesifikasi material, pembebanan dan kombinasi beban.

Adapun data struktur yang dibutuhkan dalam penyelesaian tesis ini sesuai dengan aktual hasil survey lapangan, yaitu:

1. Fungsi bangunan yang ditinjau yaitu: rumah toko seperti Gambar 10
2. Struktur beton bertulang dengan balok kolom yang ditinjau secara 3 dimensi
3. Jumlah lantai yaitu: 5 lantai (Gambar 10)
4. Tebal pelat beton = 12 cm
5. Dimensi Kolom = 30 x 30 cm
6. Dimensi balok = 30 x 50 cm dan 10 x 50 cm untuk balok level

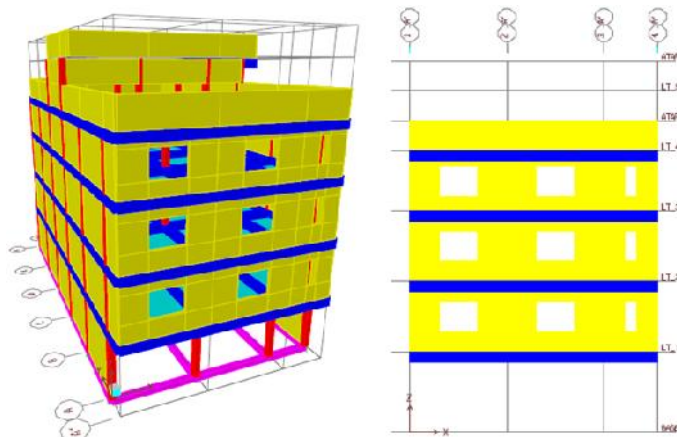


Gambar 10. Tampak samping kondisi aktual dilapangan

Spesifikasi material dari Bangunan Ruko yang ditinjau adalah disesuaikan berdasarkan data aktual yang diperoleh dari lapangan. Adapun spesifikasi material dari Bangunan Ruko yang ditinjau yaitu:

1. Mutu Baja yang digunakan terdiri dari 2 jenis, yaitu:
 - a. Mutu baja (f_y) = 400 MPa (BJTD 40), untuk $\varnothing > 10$ mm.
 - b. Mutu baja (f_y) = 240 MPa (BJTP 24), untuk $\varnothing < 10$ mm.
2. Mutu Beton Pelat, Balok, Kolom = K-225 ($f'_c = 18,67$ MPa).
3. Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700 \cdot \sqrt{18,67} = 20310$ Mpa
4. Mutu Batu Bata, yaitu:
 - a. Berat Jenis = $1,70 \text{ kN/m}^3$
 - b. Kuat tekan (f'_c) = 10 MPa
 - c. Elastisitas (E) = 14000 Mpa.

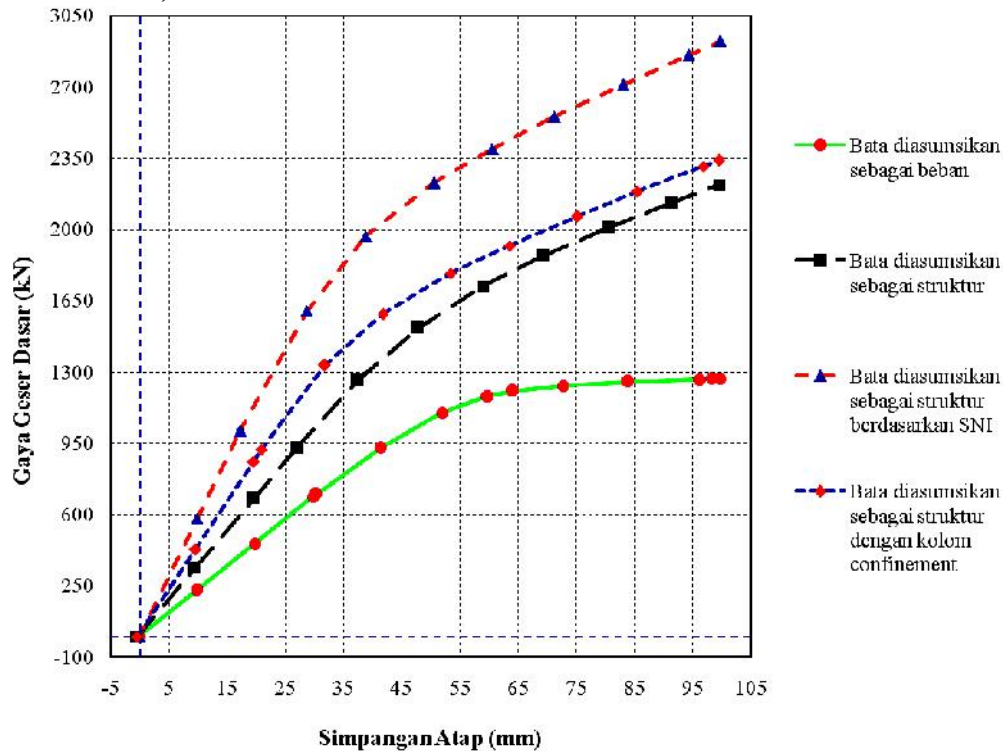
Analisis struktur portal utama: dimodelkan dengan metode elemen hingga 3 dimensi dengan bantuan program ETABS 2013. Hasil metode analisis yang diperoleh seperti terlihat pada Gambar 11.



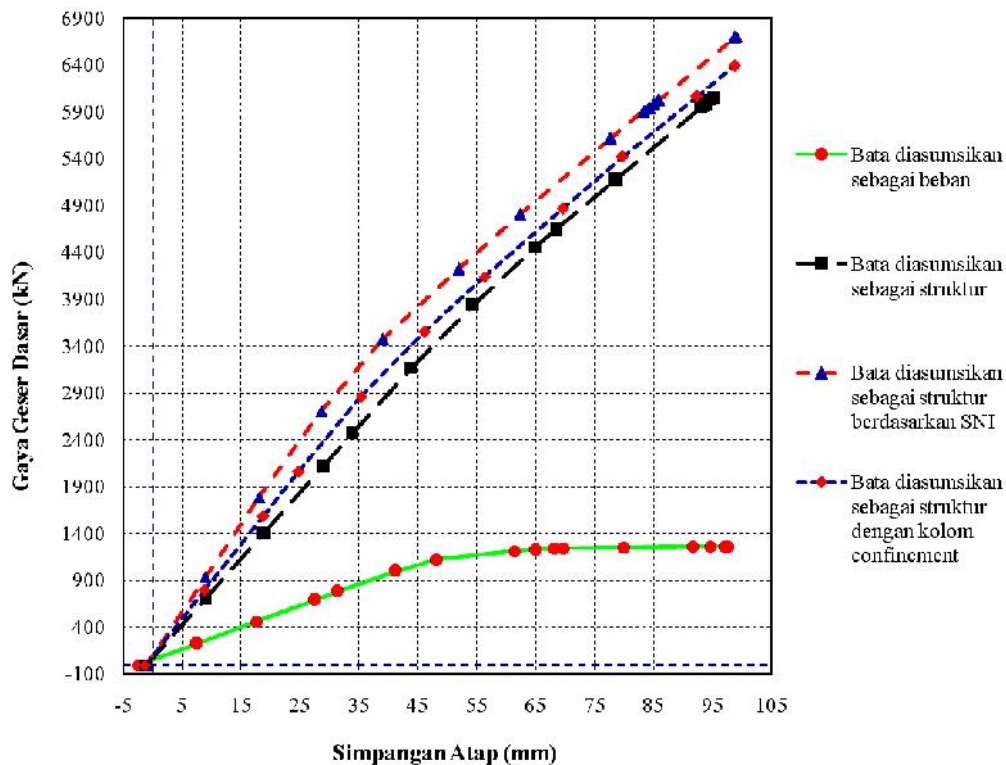
Gambar 11. Pemodelan simulasi numerik (ETABS) 3 dimensi dan tampak depan

Setelah program struktur selesai dijalankan, maka diperoleh hasil analisa atau *output* yang dihasilkan dari program numerik ini berupa gaya dan perpindahan serta simpangan antar tingkat melalui analisa pushover. Dalam hal ini grafik yang dihasilkan, yaitu: kurva maksimum simpangan antar lantai menurut SNI 1726-2012 dan aktual serta kurva kapasitas hubungan antara gaya, perpindahan, simpangan dan kekakuan masing-masing setiap lantai.

Perbandingan titik kinerja (*performance point*) dan daktilitas dari semua model struktur dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4, Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Perbandingan kurva kapasitas arah-x



Gambar 13. Perbandingan Kurva Kapasitas arah-y

Dari grafik di atas diperoleh gaya geser dasar, daktilitas serta kekakuan maksimum arah-x masing masing type dapat kita lihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Gaya geser dasar, daktilitas dan kekakuan maksimum arah-x

No	Jenis simulasi	Gaya geser dasar maksimum (kN)	Daktilitas	Kekakuan maksimum (kN/mm)
1	Bata diasumsikan sebagai beban	1268,12	1,930	10,00
2	Bata diasumsikan sebagai struktur	2221,03	2,101	21,70
3	Bata diasumsikan sebagai struktur dengan kolom confinement	2349,96	2,803	27,12
4	Bata diasumsikan sebagai struktur berdasarkan SNI	2924,36	2,585	31,61

Dari grafik di atas diperoleh gaya geser dasar, daktilitas serta kekakuan maksimum arah-y masing-masing type dapat kita lihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Gaya geser dasar, daktilitas dan kekakuan maksimum arah-y

No	Jenis simulasi	Gaya geser dasar maksimum (kN)	Daktilitas	Kekakuan maksimum (kN/mm)
1	Bata diasumsikan sebagai beban	1265,70	2,000	10,00
2	Bata diasumsikan sebagai struktur	6048,19	2,109	45,17
3	Bata diasumsikan sebagai struktur dengan kolom confinement	6395,49	2,347	50,76
4	Bata diasumsikan sebagai struktur berdasarkan SNI	6702,15	2,469	55,43

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis sambungan balok dengan menggunakan baut dan pelat penyambung yang dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

- Dari grafik gaya geser dasar (V) terhadap simpangan (Δ) diperoleh gaya geser maksimum (V_{maks}) bata, yaitu:
 - Ditinjau arah-x, $V_{maks I} = 1268,12$ kg (sebagai beban), $V_{maks II} = 2121,03$ kg (sebagai struktur), $V_{maks III} = 2339,96$ kg (dengan kolom confinement) dan $V_{maks IV} = 2924,36$ kg (berdasarkan SNI).
 - Ditinjau arah-y, $V_{maks I} = 1265,70$ kg (sebagai beban), $V_{maks II} = 6048,19$ kg (sebagai struktur), $V_{maks III} = 6395,49$ kg (dengan kolom confinement) dan $V_{maks IV} = 6702,15$ kg (berdasarkan SNI).
- Dari grafik gaya geser dasar (V) terhadap simpangan diperoleh simpangan maksimum (Δ_{maks}) bata, yaitu:
 - Ditinjau arah-x, $\Delta_{maks I} = 99,70$ mm (sebagai beban), $\Delta_{maks II} = 99,50$ mm (sebagai struktur), $\Delta_{maks III} = 99,50$ mm (dengan kolom confinement) dan $\Delta_{maks IV} = 99,80$ mm (berdasarkan SNI).
 - Ditinjau arah-y, $\Delta_{maks I} = 97,60$ mm (sebagai beban), $\Delta_{maks II} = 95,10$ mm (sebagai struktur), $\Delta_{maks III} = 99,00$ mm (dengan kolom confinement) dan $\Delta_{maks IV} = 98,80$ mm (berdasarkan SNI).
- Dari hasil analisis data diperoleh kekakuan maksimum bata, yaitu:
 - Ditinjau bata arah-x, sebesar = 10,00 kN/mm (sebagai beban), 21,70 kN/mm (sebagai struktur), 27,12 kN/mm (dengan kolom confinement) dan 31,61 kN/mm (berdasarkan SNI).
 - Ditinjau bata arah-y, sebesar = 10,00 kN/mm (sebagai beban), 45,17 kN/mm (sebagai struktur), 50,76 kN/mm (dengan kolom confinement) dan 55,43 kN/mm (berdasarkan SNI).
- Jika kita dibandingkan dengan bata sebagai beban, maka gaya geser dasar maksimum (V_{maks}), meningkat sebesar:
 - Ditinjau arah-x: 1,75 kali (bata sebagai struktur), 1,85 kali (bata dengan kolom confinement) dan 2,31 kali (bata berdasarkan SNI).
 - Ditinjau arah-y: 4,78 kali (bata sebagai struktur), 5,05 kali (bata dengan kolom confinement) dan 5,30 kali (bata berdasarkan SNI).
- Jika kita dibandingkan dengan bata sebagai beban, maka kekakuan maksimum, meningkat sebesar:
 - Ditinjau arah-x: 2,17 kali (bata sebagai struktur), 2,71 kali (bata dengan kolom confinement) dan 3,16 kali (bata berdasarkan SNI).
 - Ditinjau arah-y: 4,52 kali (bata sebagai struktur), 5,08 kali (bata dengan kolom confinement) dan 5,30 kali (bata berdasarkan SNI).

5.2. Saran

Berdasarkan hasil pengerjaan tesis ini, saran yang dapat saya berikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Kekuatan dan kekakuan bata sebagai beban harus diperhatikan oleh perencana dalam proses desain bangunan gedung karena dari hasil studi menunjukkan bahwa keberadaan bata dapat mempengaruhi kinerja dari struktur utama.
2. Untuk panel penutup bangunan gedung agar menggunakan bahan yang memiliki kekuatan yang rendah agar tidak mengganggu deformasi dan kinerja struktur utama.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 1726-2002*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Aryanto, A. 2008. *Kinerja Portal Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi Bata Ringan terhadap Beban Gempa*. Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Budiono, W and Supriatma, L 2011. Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201X, ITB Bandun.
- Dewobroto, W. 2005. Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Universitas Pelita Harapan.
- Dewobroto, W. 2005. *Analisa Inelastis Portal-Dinding Pengisi dengan Equivalent Diagonal Strut*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 12.
- Mamesah, H. Y. 2014. Analisis *Pushover* Pada Bangunan Dengan *Soft First Story*. Jurnal Sipil Statik, Volume 2, No 4. Universitas Sam Ratulangi.
- Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Pranata, Y. A. 2006. Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan *Pushover Analysis*. Jurnal Teknik Sipil, Volume 3, No. 1. Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- Riantoby, I. K. 2014. Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan Software Etabs. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 2.
- Rozman, M., dan Fajfar, P. 2009. Seismic response of a RC frame building designed according to old and modern practices. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7(3), 779-799.
- Rumbitaruna, D dan Panjaitan R. 2011. Tinjauan Kerusakan Bangunan Akibat Pengaruh Torsional Dan Soft/Weak Story. Seminar HASTAG.
- Saneinejad, A dan Hobbs, B. 1995. Inelastic design of infilled frames. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 121 (4), 634-650.
- Sudarman. 2014. Analisa *Pushover* pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. Jurnal Sipil Statik, Volume 2, No 4. Universitas Sam Ratulangi.
- Turang, R. B. E. 2014. Analisa Portal Dengan Dinding Tembok Pada Rumah Tinggal Sederhana Akibat Gempa. Jurnal Sipil Statik, Volume 2, No 4. Universitas Sam Ratulangi.
- Yanto, Dwi. 2010. Evaluasi Perilaku Seismik Gedung Balai Kota Surakarta Pasca Gempa Dengan Nonlinier Static *Pushover Analysis* Metode Spectrum Kapasitas. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta.