

ANALISIS KEGAGALAN STRUKTUR BANGUNAN RUMAH TINGGAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA LINIER

Yosafat Aji Pranata, Leny Elvira Jurusan
Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha Jln
Suria Sumantri 65, Bandung 40164, Jawa Barat
e-mail : yosafat.ap@gmail.com

Abstract: The main components of the structure of residential buildings are the columns and beams. The brick wall is actually a major structural component of all, however, is often assumed to be a nonstructural component in accordance with SNI 03-2847-2002, so in general the effect of the strength and stiffness of the brick walls are rarely taken into value in the design of the building. The purpose of this research is to create a model two storeys residential house in 3D (existing building) using the finite element method. The analysis was made with two-dimensional modeling (shell elements). Modeling of residences include beams, columns, floor slabs, brick walls, and window-frames. Design loads are gravity load and lateral (earthquake) load, so as to determine its effect on the residential structure. Then studied and analyzed on the beam deformation and stress S_{11} is occurring on the beam, floor slabs, brick walls, columns and window-frames. There was a failure in some region's beams, walls, and floors, with an indication of the value of the stress (S_{11}) that occurred has exceeded that limit the strength of a concrete. While the simulation results show that the stress (S_{22}) that occurs in the column is still smaller than the compressive strength of concrete, so the column is still in strong shape. Simulation results show that the stress that occurs in the window-frames is smaller than the value of tensile strength and compressive strength of red meranti wood, so the frame is still in strong condition. In general, information on the structural failure of the brick-wall section illustrates the danger of damage to a residential house caused by the earthquake.

Key words: House, Earthquake, Structural failure, Finite element method, Linear.

Abstrak: Komponen utama penyusun struktur bangunan rumah tinggal adalah kolom dan balok. Dinding bata sebenarnya merupakan komponen struktur utama pula, namun sering diasumsikan sebagai komponen non-struktural dalam peraturan SNI 03-2847-2002, sehingga pada umumnya pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata jarang diperhitungkan dalam perencanaan bangunan. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model rumah tinggal dua lantai secara 3D (bangunan *eksisting*) dengan metode elemen hingga. Analisis dibuat dengan pemodelan dua dimensi (elemen *shell*). Pemodelan rumah tinggal meliputi balok, kolom, pelat lantai, dinding bata, kusen dan tulangan balok. Beban yang direncanakan adalah beban gravitasi dan beban lateral (gempa), sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap struktur rumah tinggal. Kemudian dipelajari dan dianalisis deformasi pada balok dan tegangan S_{11} yang terjadi pada balok, pelat lantai, dinding bata, kolom dan kusen. Hasil yang diperoleh dari penelitian adalah memperlihatkan bahwa lendutan yang terjadi pada semua balok masih memenuhi batasan lendutan ijin. Terjadi kegagalan pada beberapa daerah balok, dinding, dan lantai, dengan indikasi dari informasi besarnya tegangan (S_{11}) yang terjadi telah melebihi batasan kuat tekan beton. Sedangkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa tegangan (S_{22}) yang terjadi pada kolom masih lebih kecil daripada nilai kuat tekan beton, sehingga kolom masih dalam kondisi kuat. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa tegangan yang terjadi pada kusen lebih kecil daripada nilai kuat tarik dan kuat tekan kayu jenis meranti merah, sehingga kusen masih dalam kondisi utuh. Secara umum informasi kegagalan struktur pada bagian dinding bata menggambarkan bahayanya kerusakan rumah tinggal akibat gempa.

Kata kunci: Rumah tinggal, Gempa, Kegagalan struktur, Metode elemen hingga, Linier.

PENDAHULUAN

Hampir setiap kejadian gempa, di wilayah manapun, menyebabkan kerugian baik korban jiwa maupun kerugian materiil. Korban jiwa

terjadi pada umumnya karena tertimpa reruntuhan bangunan. Dari sudut pandang struktur, rumah sederhana atau *non engineering building* terdiri dari kolom praktis, balok, dan dinding bata. Namun fungsi dinding bata

sebagai komponen *non-struktural* dalam peraturan tingkat Nasional (SNI 03-2847, 2002) mengakibatkan pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata sering tidak diperhitungkan. Pada elemen struktur tekan bekerja tegangan normal yaitu gaya tekan dibagi dengan luas penampang, termasuk dalam kategori elemen struktur tekan adalah kolom. Sedangkan pada elemen struktur lentur bekerja tegangan normal (lentur) dan tegangan geser, termasuk dalam kategori elemen struktur lentur adalah balok.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis metode elemen hingga model struktur bangunan gedung akibat beban gravitasi dan beban lateral (beban gempa) dan mempelajari perilaku gedung, meliputi lendutan balok, hasil tegangan pada balok, kolom, pelat lantai, dinding bata dan kusen serta reaksi tumpuan.

Ruang lingkup penelitian antara lain bangunan yang ditinjau adalah rumah tinggal bertingkat dengan jumlah lantai dua (bangunan eksisting), yang terletak di Bandung (termasuk ke dalam wilayah gempa empat di Indonesia, jenis tanah lunak), peraturan yang digunakan peraturan beton Indonesia SNI 03-2847-2002 dan peraturan gempa Indonesia SNI 1726-2002, perangkat lunak yang digunakan adalah SAP2000 nonlinier, pembahasan yang dipelajari adalah lendutan balok, tegangan pada balok, kolom, pelat, dinding, serta kusen pintu dan jendela.

Properti material beton, yaitu diasumsikan kekuatan tekan beton (f'_c) adalah sebesar 25 MPa, kekuatan leleh baja tulangan diasumsikan sebesar 410 MPa (tulangan utama) dan 250 MPa (tulangan geser). Data modulus elastisitas batu bata diambil dari tinjauan literatur (Siregar, 2010) sedangkan data kekuatan tekan batu bata diperoleh dari data primer yaitu pengujian eksperimental dilaboratorium. Sedangkan data properti kayu diambil dari hasil penelitian sebelumnya (Pranata dkk., 2011).

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Bangunan Beton Bertulang

Salah satu persyaratan dalam suatu elemen struktur beton bertulang adalah adanya lekatan antara baja tulangan dan beton, sehingga ketika

pada struktur beton tersebut diberikan beban tidak akan terjadi slip antara baja tulangan dan beton. Diameter dan panjang penyaluran tulangan sangat berpengaruh pada kelekatan beton dan tulangan. Keruntuhan suatu struktur dapat disebabkan salah satunya karena kurangnya lekatan antar tulangan dengan beton. Untuk itu perlu diperhatikan kuat lekat antara beton dan baja tulangan agar diperoleh keseimbangan gaya antara baja tulangan dan beton. Tegangan lekat pada beton bertulang yang besarnya dapat dihitung berdasarkan gaya persatuan luas nominal baja tulangan yang diselubungi oleh beton. Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan/deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja. Lendutan yang dihitung tidak boleh melebihi nilai yang ditetapkan dalam SNI 03-2847-2002.

Dinding Batu Bata

Dari segi struktur, rumah sederhana atau *non engineering building* terdiri dari kolom praktis, balok, dan dinding bata. Namun fungsi dinding bata sebagai komponen *non-struktural* dalam peraturan SNI 03-2847-2002 mengakibatkan pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata sering tidak diperhitungkan dalam perencanaan suatu bangunan. Penggunaan asumsi bangunan sebagai struktur *open frame* dengan dinding bata non struktural hanya sebagai beban gravitasi yang bekerja pada balok lebih sering digunakan dalam perencanaan. Pada kenyataannya, dinding bata tersusun oleh material batu bata dan mortar yang memiliki nilai kekuatan dan kekakuan tertentu meskipun kualitas batu bata bervariasi tergantung kualitas bahan yang tersedia di suatu daerah, dan ketrampilan pengerjaannya. Hal ini dapat dilihat pada kenyataan dalam berbagai kasus gedung dengan pengaruh gempa, ternyata dinding bata ikut memikul beban lateral. Keretakan yang terjadi pada dinding bata menunjukkan terjadi transfer beban dari portal ke dinding bata.

Pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata tidak begitu signifikan terhadap kinerja struktur bangunan bertingkat tinggi. Hal ini dikarenakan, dimensi yang besar untuk balok dan kolom pada bangunan tingkat tinggi,

memberikan kekakuan dan kekuatan yang lebih besar bila dibandingkan dengan dinding bata *non-struktural*.

Berbeda dengan bangunan bertingkat rendah atau rumah sederhana, dimensi balok dan kolom yang tidak begitu besar mengakibatkan selisih kekuatan dan kekakuan portal tidak berbeda jauh dengan dinding bata. Sehingga kekuatan dan kekakuan dinding bata memiliki pengaruh yang signifikan pada kinerja rumah sederhana. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Siregar (Siregar, 2010), modulus elastisitas pasangan bata dapat dilihat pada Tabel 1.

Kayu

Kebutuhan kayu sebagai salah satu bahan konstruksi selain material beton dan baja terus meningkat, terutama dalam penggunaan kayu sebagai material yang memiliki nilai estetika tinggi. Selain itu kayu juga banyak dipergunakan sebagai bahan bangunan nonstruktur seperti kusen daun pintu dan jendela. Beberapa jenis kayu yang sering dipakai membuat kusen pintu dan jendela ialah kayu meranti, bayam, dan jati. Selain daya tahannya yang baik dan teksturnya yang indah (meranti, jati), beberapa jenis kayu tersebut

(bayam, jati) juga sangat kuat dan tahan air (*water resistant*). Dalam penelitian ini digunakan kayu jenis meranti merah, dengan sifat mekanika kayu diambil dari hasil penelitian Pranata dkk. (Pranata dkk., 2011).

Data sifat mekanika kayu Meranti Merah (Tabel 2) yang digunakan adalah kekuatan tekan sejajar ($F_{cy//}$) dan tegak lurus serat kayu ($F_{cy\perp}$), modulus elastisitas arah longitudinal yang didapat dari uji lentur (E_{sb}), serta kekuatan tarik sejajar ($F_{//}$) dan tegak lurus serat kayu (F_{\perp}).

Beban

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, *finishing*, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang merupakan bagian gedung yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut (PBI, 1987).

Tabel 1. Modulus Elastisitas Pasangan Bata Merah

No.	Jenis Pasangan	E (MPa)
1	Tanpa Plesteran	2237,50
2	Dengan Plesteran	3201,86
3	Dengan Komprot + Plesteran	2135,80

Sumber: Siregar 2010.

Tabel 2. Sifat mekanis kayu Meranti Merah

Sifat Mekanika	Kayu Jenis Meranti Merah
$F_{cy//}$ (MPa)	33,67
E_{sb} (MPa)	11506,77
$F_{cy\perp}$ (MPa)	6,96
$F_{//}$ (MPa)	87,58
F_{\perp} (MPa)	3,71

Sumber : Pranata dkk., 2011.

Beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung akibat adanya pergerakan tanah. Namun pada umumnya percepatan tanah arah horizontal lebih besar daripada arah vertikalnya, sehingga pengaruh gempa horizontal jauh lebih menentukan daripada gempa vertikal (PBI, 1987). Dalam penelitian ini, perhitungan beban gempa menggunakan analisis statik ekuivalen, dimana gaya geser dasar dihitung dengan Persamaan 1 sebagai berikut,

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t \quad (1)$$

dimana C_1 adalah nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana menurut SNI 03-1726-2002 untuk waktu getar alami fundamental T_1 , sedangkan W_t adalah berat total gedung. Gambar 1 memperlihatkan peta gempa (SNI 03-1726, 2002) yang digunakan dalam penelitian ini, dimana Bandung terletak di wilayah gempa 4.

Metode Elemen Hingga Linier

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan tingkat ketelitian yang dapat diterima (Cook, 1990), oleh karena itu untuk menyelesaikan masalah ini diperlukan solusi numerik. Pada dasarnya, elemen hingga merupakan bagian-bagian kecil dari struktur aktual (sebenarnya). Sebagai contoh apabila ujung-ujung elemen dikendalikan untuk tetap lurus, maka elemen yang bersebelahan

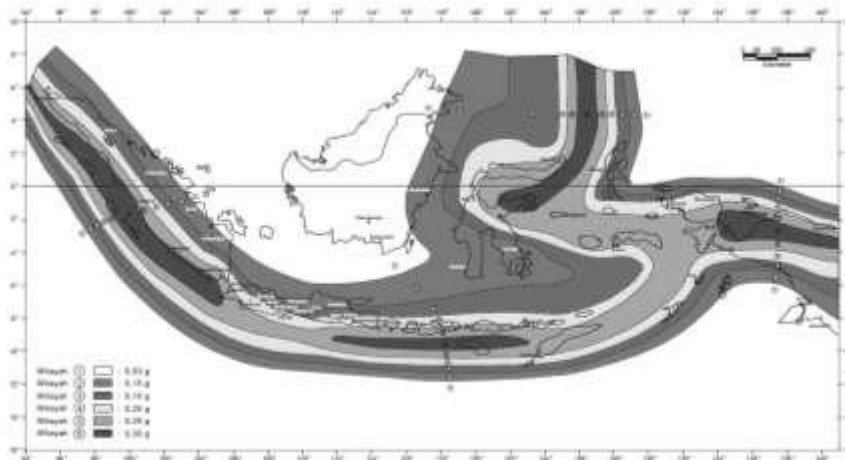
dengannya tidak akan tumpang tindih maupun terpisahkan.

Elemen *shell* umumnya mempunyai empat titik nodal untuk persegi dan tiga titik nodal untuk segitiga. Pada persegi, elemen *shell* mempunyai enam permukaan dan untuk segitiga mempunyai lima permukaan dan tiap-tiap permukaan dihubungkan dengan titik nodal. Tegangan dan regangan didefinisikan sebagai gaya yang bekerja terhadap area permukaan benda tersebut, dimana arah tegangan bekerja sesuai dengan sumbu koordinat dari benda tersebut. Tegangan S_{11} , S_{22} , S_{33} mengakibatkan tegangan langsung dan mengalami perubahan terhadap panjang benda, sedangkan S_{12} , S_{13} , S_{23} akan mengakibatkan tegangan geser dan menyebabkan terjadinya perubahan sudut. Hubungan tegangan dan regangan material yang digunakan dan yang mewakili dalam bentuk modulus elastisitas.

STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

Data Struktur dan Data Material

Studi kasus menggunakan gedung yaitu dengan fungsi Bangunan untuk Rumah Tinggal (berdasarkan SNI 03-1726-2002 maka digunakan faktor keutamaan $I = 1$), jenis struktur adalah struktur bangunagedung beton bertulang, jumlah lantai 2 (dua) lantai, elevasi lantai dasar adalah 0,0 m; lantai 1 adalah +3,4 m; lantai 2 adalah +3,4 m. Ukuran balok yaitu B1 150 x 300 mm dan B2 150 x 150 mm.

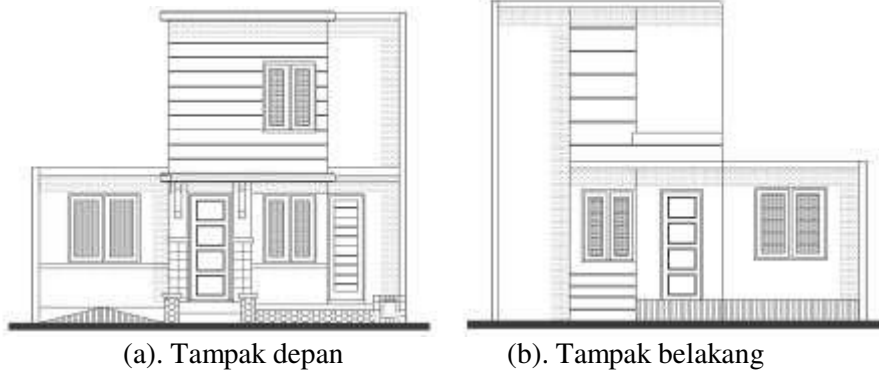


Sumber: SNI 03-1726, 2002

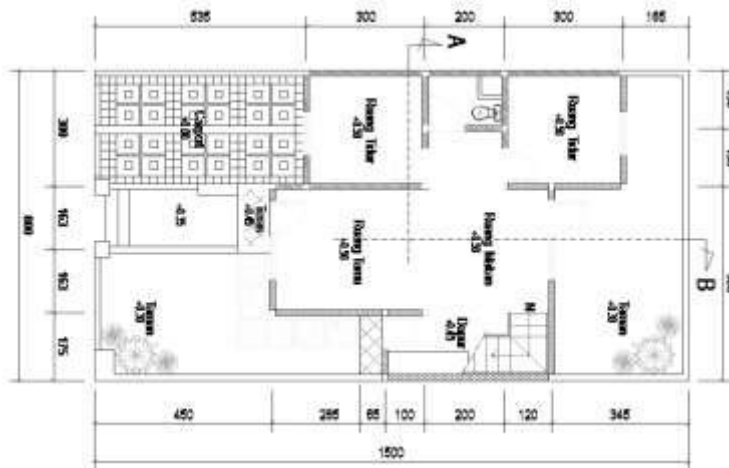
Gambar 1. Wilayah Gempa Indonesia Dengan Percepatan Puncak Batuan Dengan Dasar Periode Ulang 500 Tahun

Ukuran kolom yaitu K1 150 x 300 mm dan K2 150 x 150 mm. Tebal pelat lantai dan atap (diasumsikan atap menggunakan dak beton) sebesar 120 mm. Jenis kayu untuk kusen jendela dan pintu adalah meranti merah. Gambar 2 memperlihatkan tampak depan dan belakang bangunan. Gambar 3

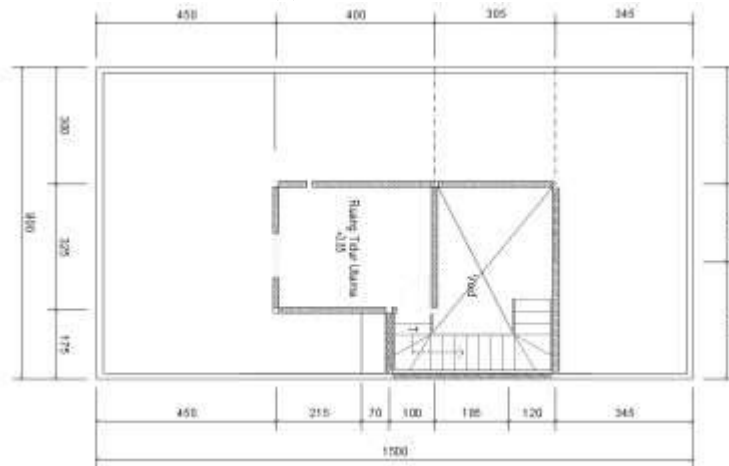
memperlihatkan gambar arsitektur untuk denah lantai 1 (lantai dasar) dan lantai 2. Gambar 4 memperlihatkan potongan A-A dan potongan B-B. Gambar 5 memperlihatkan denah pembalokan untuk lantai 1 dan lantai 2. Gambar 6 memperlihatkan denah kolom lantai 1.



Gambar 2. Tampak depan dan belakang bangunan

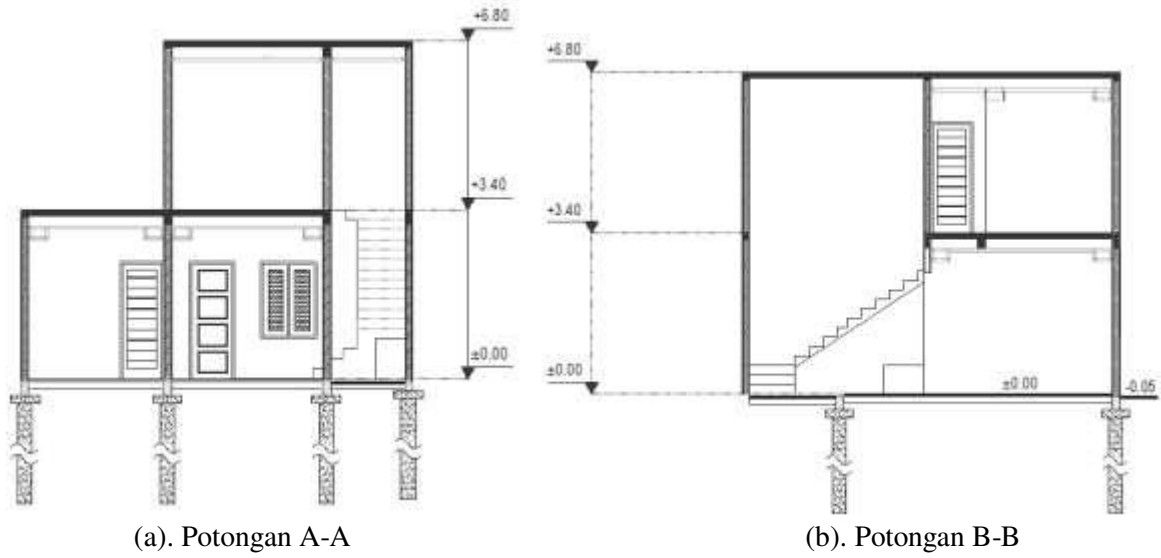


(a). denah lantai 1

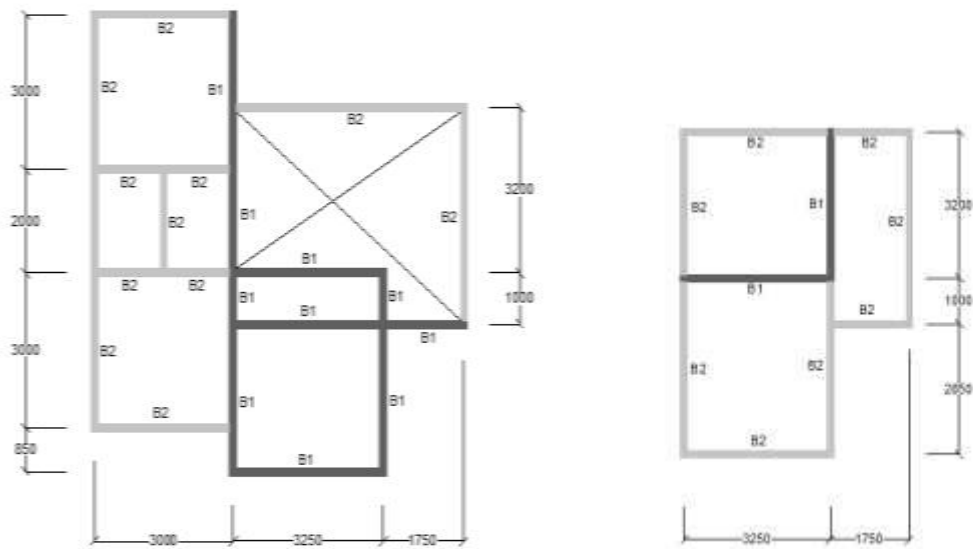


(b). denah lantai 2

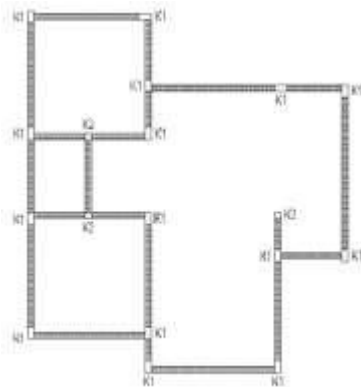
Gambar 3. Denah lantai 1 dan lantai 2 (unit satuan cm)



Gambar 4. Potongan A-A dan Potongan B-B (elevasi dalam satuan meter)



Gambar 5. Denah pembalokan lantai 1 dan lantai 2 (unit satuan cm)



Gambar 6. Denah kolom lantai 1

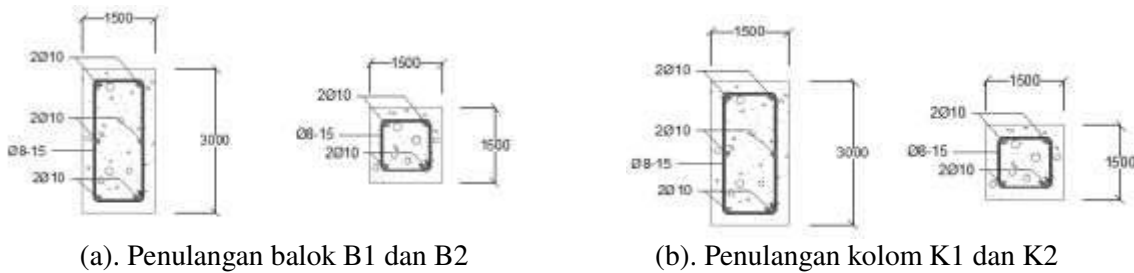
Penelitian dalam penulisan ini menggunakan data struktur eksisting, dimana detail penulangan balok dan kolom telah didapatkan sebelumnya. Perhitungan preliminari untuk mendapatkan jumlah tulangan nominal menggunakan acuan literatur peraturan beton Indonesia SNI 03-2837-2002 (SNI 03-2847, 2002).

Tujuan penelitian adalah melakukan simulasi numerikal menggunakan metode elemen hingga linier untuk mendapatkan informasi perilaku struktur bangunan akibat adanya beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa rencana, yang mana gaya geser dasar dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

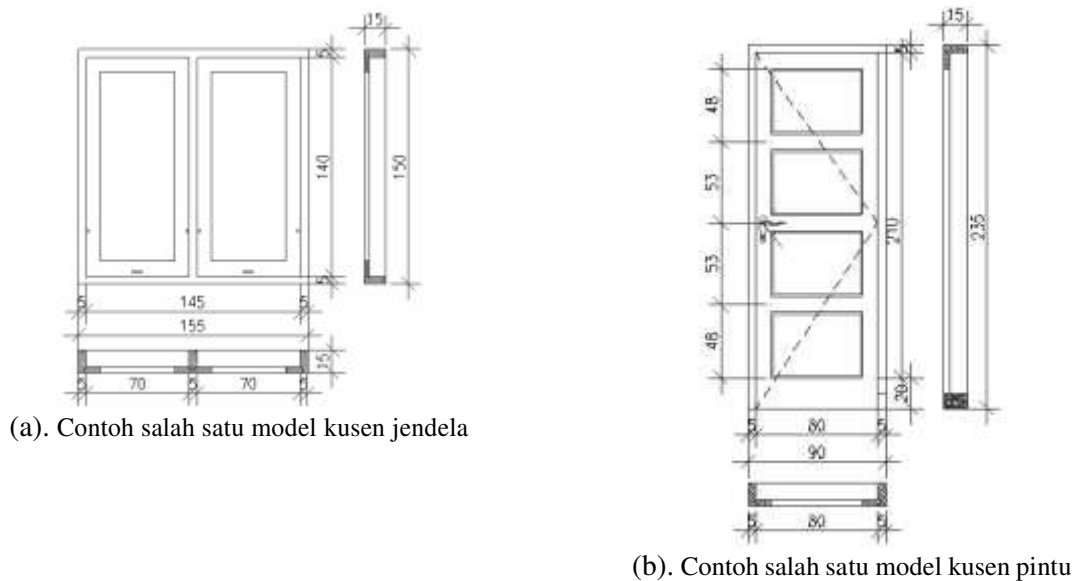
Detail penulangan untuk masing-masing balok dan kolom selengkapnya ditampilkan pada Gambar 7. Gambar 8a dan Gambar 8b memperlihatkan contoh salah satu model kusen jendela dan pintu (unit satuan dalam cm) terbuat dari kayu.

Analisis dengan Metode Elemen Hingga Linier

Pemodelan dan analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 (CSI, 2009). Hasil pemodelan bangunan rumah tinggal (3D) ditampilkan pada Gambar 9. Dalam pemodelan tersebut, masing-masing balok, kolom, pelat lantai, pelat atap (dak), dan dinding dimodelkan dengan elemen *shell*. Untuk memodelkan baja tulangan utama, maka digunakan elemen *truss* untuk memodelkan baja tulangan, dengan luas penampang tulangan dan jumlah tulangan seperti telah dijelaskan pada Gambar 7. Baja diasumsikan melekat pada beton, sehingga terjadi kompatibilitas regangan. Beban mati (plesteran, keramik, penggantung, plafon, ME, dan furnitur) adalah sebesar 149 kg/m^2 (lantai 1) dan untuk lantai atap (dak) hanya terdiri dari plesteran sebesar 141 kg/m^2 . Beban hidup lantai 1 digunakan sebesar 250 kg/m^2 dan lantai atap sebesar 125 kg/m^2 .



Gambar 7. Detail penulangan balok dan kolom (unit satuan mm)



Gambar 8. Contoh salah satu model kusen jendela dan pintu (unit satuan cm)

Beban gempa adalah gaya lateral (horizontal) yang dihitung dengan persamaan 1, beban diaplikasikan pada titik nodal yang dianggap sebagai pusat massa bangunan (lantai 1). Properti material beton, baja, dan batubata menggunakan parameter modulus elastisitas masing-masing material. Sedangkan data kekuatan diperlukan sebagai parameter tegangan ijin (batasan ijin).

Data modulus elastisitas batu bata diambil dari literatur yaitu sebesar 2237,50 MPa (Siregar, 2010). Sedangkan data kekuatan tekan batu bata diperoleh melalui pengujian tekan. Hasil pengujian tekan batu bata adalah sebesar $f_{bc}' = 7,98 \text{ N/mm}^2$.

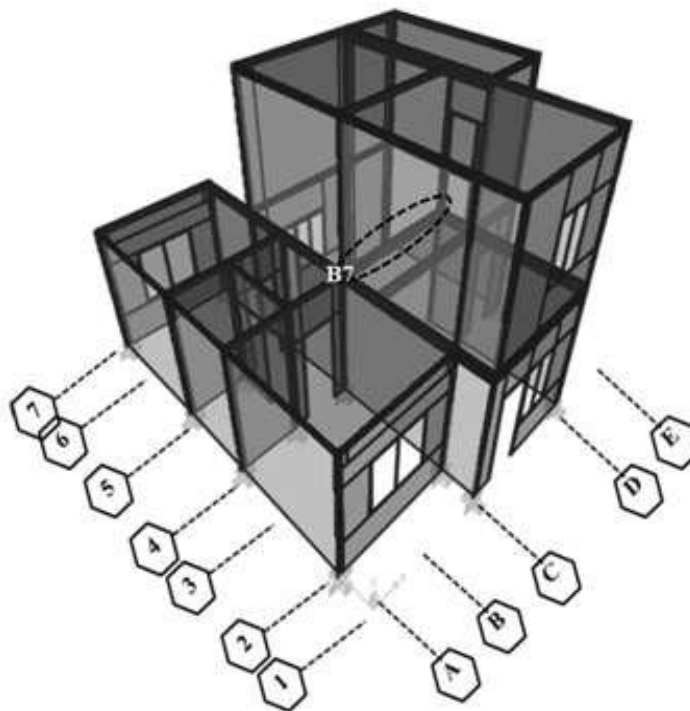
Detail hasil pengujian selengkapnya ditampilkan pada Tabel 3.

Pembahasan Hasil Analisis: Elemen Struktur Balok

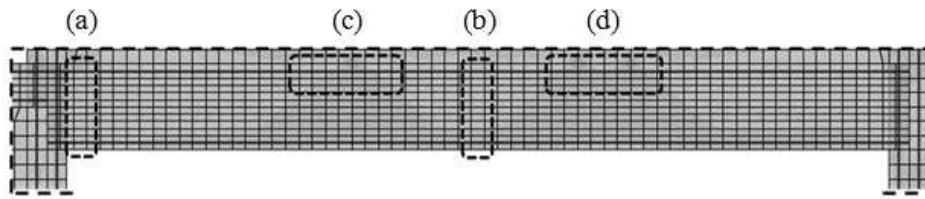
Balok yang ditinjau tegangannya, sebagai contoh adalah balok B7 (Lihat Gambar 9). Pada balok B7 ada 4 daerah yang akan dibaca tegangan yang terjadi akibat kombinasi beban maksimum (SNI 03-2847, 2002). Empat daerah tersebut adalah daerah tumpuan (a), lapangan (b), dan dua daerah (c) dan (d) dimana terjadi tegangan yang melebihi kuat tekan beton (Lihat gambar 10 dan gambar 11). Dari hasil pembacaan tegangan pada balok B7, daerah (a), (b), (c), dan (d), diketahui bahwa nilai tegangan pada daerah lapangan (a) dan tumpuan (b) lebih kecil dari nilai kuat tekan beton $f_c' = 25 \text{ MPa}$. Sedangkan pada daerah (c) dan (d) nilai tegangan yang terjadi melebihi kekuatan tekan beton, sehingga pada daerah (c) dan (d) terjadi kegagalan struktur (*failure*).

Tabel 3. Hasil pengujian tekan batu bata (Elvira, 2012)

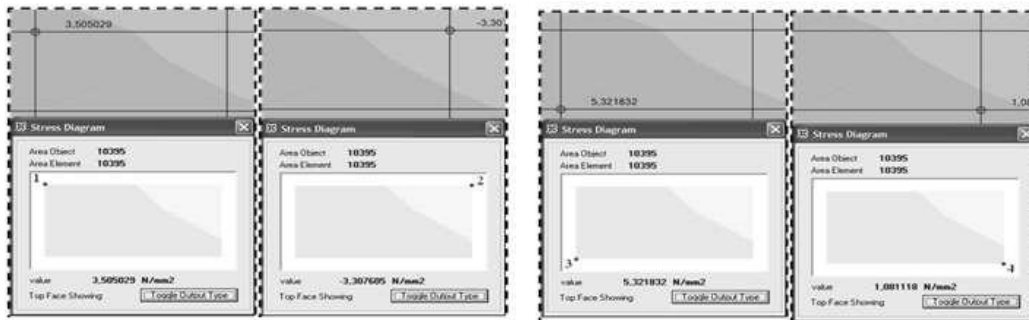
Bata	b (mm)	h (mm)	A (mm ²)	Gaya (N)	Kuat Tekan (N/mm ²)
1	98	200	19600	156960	8,01
2	98	198	19404	147150	7,58
3	97	200	19400	161865	8,34
				Rata-rata	7,98



Gambar 9. Skematik model 3D bangunan dengan metode elemen hingga



Gambar 10. Hasil simulasi numerik, Tegangan S_{11} pada balok B7

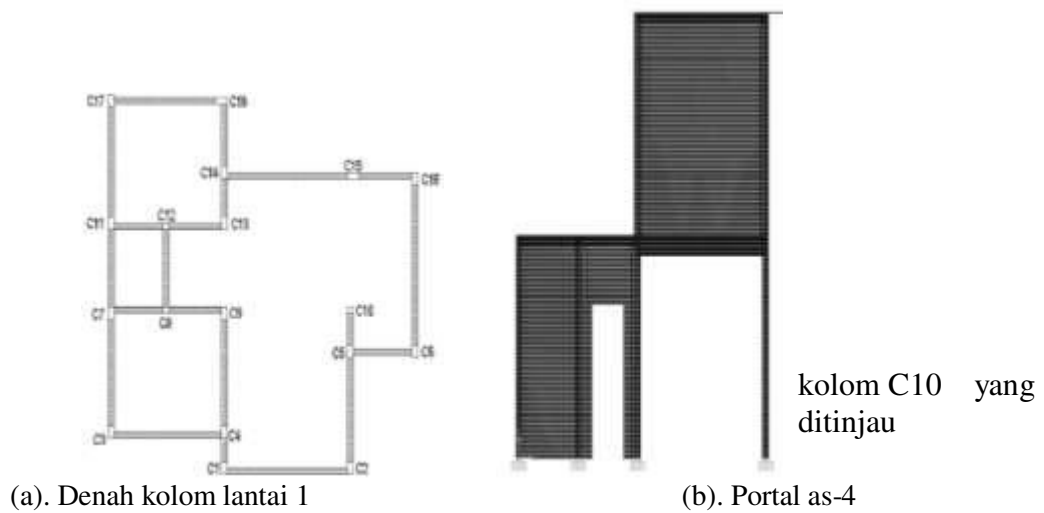


Gambar 11. Kontur tegangan normal (S_{11}) pada balok B7

Elemen Struktur Kolom

Area kolom yang akan ditinjau adalah kolom dengan tegangan terbesar yaitu kolom C10 akibat kombinasi beban maksimum. Kolom berada pada potongan 4 dari denah. Potongan 4 dan lokasi kolom C10 dapat dilihat pada Gambar 12. Detail kontur tegangan dengan tinjauan bagian bawah (dasar kolom C10)

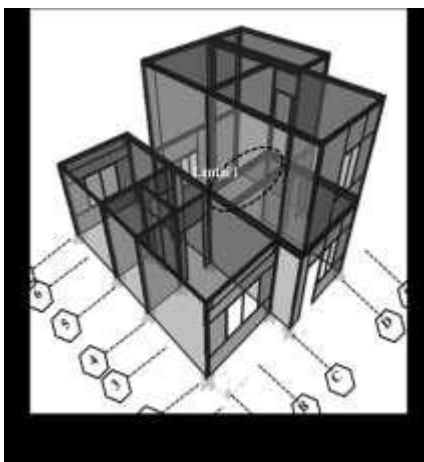
selengkapnya ditampilkan pada Gambar 13. Dari hasil pembacaan tegangan S_{22} pada kolom, diketahui bahwa struktur rumah tinggal khususnya kolom, jika dibebani beban gravitasi dan beban gempa rencana, struktur tersebut masih kuat karena tegangan yang terjadi lebih kecil dari kekuatan tekan beton f_c' sebesar 25 MPa.



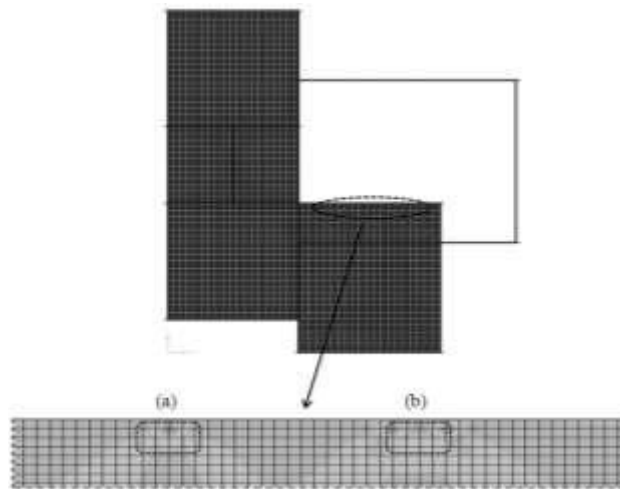
Gambar 12. Kolom C10 yang ditinjau



Gambar 13. Detail kontur tegangan S_{22} pada dasar kolom C10



Gambar 14. Lantai yang ditinjau



Gambar 15. Kontur tegangan pada pelat lantai

Elemen Struktur Pelat Lantai

Daerah lantai yang ditinjau adalah pelat lantai 1 akibat kombinasi beban maksimum dapat dilihat pada Gambar 14. Hasil analisis berupa kontur tegangan dapat dilihat pada Gambar 15. Dari hasil pembacaan tegangan pada lantai yang ditinjau, diketahui bahwa nilai tegangan pada daerah tersebut, yaitu (a) dan (b), melebihi kuat tekan beton $f_c' = 25$ MPa, sehingga pada daerah ini terjadi kegagalan struktur (*failure*).

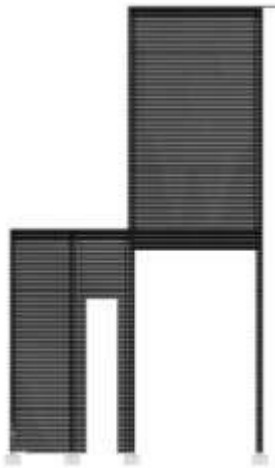
Elemen Struktur Dinding Batu Bata

Area dinding yang akan dibahas terdapat pada portal 4 (skematik model 3D bangunan lihat pada Gambar 16) seperti terlihat pada Gambar 17, kemudian pembacaan tegangan S_{11} akibat kombinasi beban maksimum. Setelah melakukan pembacaan tegangan pada dinding didapatkan bahwa beberapa area yang dibahas

mempunyai tegangan S_{11} lebih besar dari kuat tekan batu bata f_{bc}' (7,98 MPa). Sehingga dapat disimpulkan bahwa area dinding mengalami kegagalan struktur (*failure*).

Pembahasan Hasil Analisis: Elemen Non-Struktur Kusen Jendela dan Pintu

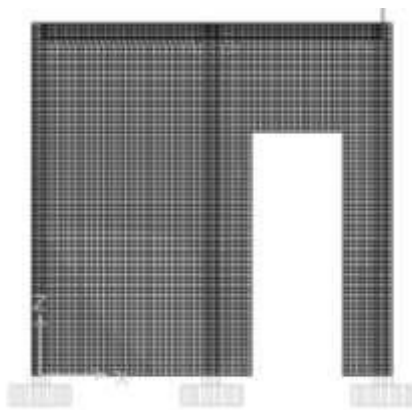
Untuk kusen, dipilih satu area kusen dengan nilai tegangan terbesar jika dibandingkan dengan kusen-kusen yang lain. Daerah kusen yang dipilih dapat dilihat pada Gambar 18. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa tegangan tarik kayu yaitu sebesar 0,50961 MPa dan tegangan tekan kayu sebesar -0,36199 MPa. Tegangan tarik kusen lebih kecil dari kuat tarik kayu jenis meranti merah dengan nilai kuat tarik 87,58 MPa dan lebih kecil dari kuat tekan kayu jenis meranti merah yaitu 33,67 MPa. Ini berarti kusen masih dalam keadaan utuh akibat adanya simulasi beban gempa maupun beban gravitasi.



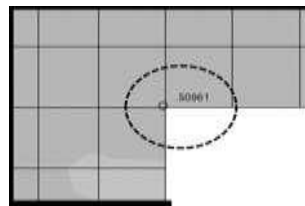
Gambar 16. Lokasi dinding yang ditinjau pada portal 4



Gambar 17. Tegangan yang ditinjau



Gambar 18. Hasil analisis berupa kontur tegangan pada kusen pintu yang ditinjau.



KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu antara lain bahwa lendutan yang terjadi pada semua balok masih memenuhi batasan lendutan ijin sehingga struktur masih memenuhi kriteria keamanan. Terjadi kegagalan pada beberapa bagian balok, dinding, dan lantai. Hal ini dapat diketahui dari informasi besarnya tegangan (S_{11}) yang terjadi telah melebihi batasan kuat tekan material beton yaitu f_c' sebesar 25 MPa. Pada kolom, tegangan (S_{22}) yang terjadi masih lebih kecil daripada nilai kuat tekan beton sehingga kolom masih dalam kondisi kuat. Tegangan yang terjadi pada kusen jendela dan pintu lebih kecil daripada nilai kuat tarik dan kuat tekan kayu Meranti Merah, sehingga kusen jendela dan pintu masih dalam kondisi utuh. Informasi kegagalan struktur pada bagian dinding bata menggambarkan bahayanya kerusakan rumah tinggal akibat gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2002)*, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (SNI 2847-2002)*, BSN, Bandung.
- Boen, T. *Engineering the Non Engineered Houses for Better Earthquake Resistance in Indonesia*, Bandung.
- Computers and Structures, Inc. 2009, *SAP2000 Basic Analysis References*, California, Berkeley.
- Cook, R.D. 1990, *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*, Bandung: PT. ERESKO Bandung.
- Dewi, R.R. *Studi Perilaku Model Panel Dinding Bata Pengisi Pada Struktur Beton*

- Bertulang, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1987, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Elvira, L., 2012, *Pemodelan Numerik Metode Elemen Hingga Rumah Tinggal Terhadap Beban Gempa*, Tugas Akhir (tidak dipublikasikan), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- Imran, I., Hendrik, F. 2010, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, ITB, Bandung, Indonesia.
- Pranata, Y.A., Suryoatmono, B., dan Tjondro, J.A. 2011, *The Flexural Ratio of Indonesian Timber Bolt-Laminated Beam*, The 3rd. EACEF, Univeristy of Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia, 20-22 September 2011.
- PT. Teddy Boen Konsultan. 2008, *Structural Analysis SDN Padasuka II Sukamulya Village Soreang Regency Bandung*, PT. Teddy Boen Konsultan, Jakarta.
- Siregar, Y.A.N. 2010, *Bab 2 Dasar Teori (Efek Dinding...)*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Yunus, F. 2010, *Pentingnya Rumah Aman Gempa di Indonesia*. (URL: <http://www.pentingnya-rumah-aman-gempa-di.html>) Diakses 10 Juli 2011