

DEFORMASI STRUKTUR BANGUNAN RUMAH TOKO DI MEDAN AKIBAT GEMPA BERULANG

Tondi Amirsyah Putera, Rizki Efrida, Hadianti Muhdinar Pasaribu
Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapt. Mochtar Basri No 3, Medan, Indonesia
e_mail : tondimt@yahoo.com

Abstrak — Di Sumatera Utara (Sumut) banyak kota yang terletak dekat dengan Sesar Mendatar dan Sesar Subduksi Sumatera. Kota-kota ini memiliki banyak fasilitas bangunan komersil termasuk rumah toko. Kedua sesar aktif ini adalah sumber utama gempa tektonik di Sumut yang telah banyak membuat bencana. Struktur rumah toko yang rusak minor akibat sebuah gempa dapat menjadi rusak berat atau rubuh setelah mengalami gempa berikutnya. Berdasarkan hal tersebut diatas, merupakan dasar dari tujuan penulisan ilmiah ini yaitu untuk mengetahui struktur bangunan rumah toko terhadap kesesuaian dengan standarisasi konstruksi tahan gempa yang berlaku yaitu SNI 1726:2012 dan mengevaluasi kekuatan struktur bangunan rumah toko terhadap kejadian gempa berulang. Dalam penulisan ilmiah ini ada 3 model Rumah Toko (RUKO) yang akan dianalisis yaitu RUKO A yang berada di jalan Tuasan Kecamatan Medan Tembung, RUKO B yang berada di jalan Alfalah 4 yang berada di Medan Timur dan RUKO C yang berada di jalan Budi Kemasyarakatan Kecamatan Medan Barat. Untuk semua model ini dilakukan pengamatan dilapangan yaitu berupa uji pantul dengan menggunakan alat Uji Pantul dan uji tarik tulangan baja pada laboratorium teknik mesin UMSU. Analisis model ini menggunakan software analisis struktur dengan pengamatan dalam 2 kondisi yaitu kondisi repon spektrum linier elastis dan dinamis riwayat waktu gempa berulang nonlinier inelastik terhadap. Bila dilihat dari periode waktu alami struktur, kondisi RUKO C ternyata melebihi standar periode dan simpangan melebihi batas maksimum yang diijinkan begitu juga pada saat analisis nonlinier inelastik akibat gempa berulang ternyata simpangan atap yang terbesar juga pada RUKO C. Untuk kebutuhan daktilitas untuk semua model RUKO peningkatan kebutuhan daktilitas saat gempa berulang 2 kali adalah 23,4 % dan 42% pada saat gempa berulang 3 kali.

Kata kunci : Gempa Berulang, Deformasi, Rumah Toko.

Abstract — In North Sumatra (North Sumatra) many cities are located close to the Horizontal Fault and the Sumatran Fault Subduction. These cities have many commercial building facilities including shop houses. These two active faults are the main source of tectonic earthquakes in North Sumatra that have made many disasters. The structure of a shop house that is minor damaged due to an earthquake can be severely damaged or collapsed after the next earthquake. Based on the above, it is the basis of the purpose of scientific writing, namely to find out the structure of the shop house to conformity with applicable earthquake resistant construction standards, namely SNI 1726: 2012 and evaluate the strength of the structure of the shop house against recurring earthquake events. In scientific writing there are 3 models of Shop Houses in Indonesia called rumah toko (RUKO) to be analyzed, namely RUKO A which is in the street Tuasan, Medan Tembung Subdistrict, RUKO B which is on Alfalah 4 road located in East Medan and RUKO C which is on the road to Medan Subdistrict Budi West. For all of these models field observations were carried out, namely in the form of a reflection test using a Reflective Test and steel reinforcement tensile test at the UMSU mechanical engineering laboratory. Analysis of this model uses structural analysis software with observations in 2 conditions, namely elastic linear spectrum response conditions and dynamic history of inelastic nonlinear earthquake recurrence time. When viewed from the structure's natural time period, the condition of RUKO C turned out to exceed the period standard and the deviation exceeded the maximum allowable limit as well as during the inelastic nonlinear analysis due to repeated earthquakes it turned out that the largest deviation was also in RUKO C. the need for ductility when the earthquake recurs twice is 23.4% and 42% when the earthquake recurs 3 times.

Keywords: Repeated Earthquake, Deformation, Shop Houses.

I. PENDAHULUAN

Di Sumatera Utara, ada dua sesar yang menjadi sumber utama gempa tektonik yaitu sesar geser mendatar (*strike-slip*) Sumatera, di sepanjang jalur pegunungan Bukit Barisan, dan

sesar lipatan (*subduction*) Sumatera di dasar lautan Hindia lepas pantai barat Sumatera. Banyak kota yang dekat secara geometri dengan sesar-sesar gempa aktif ini, baik itu kota kecil maupun ibukota kabupaten, yang terancam dengan bahaya gempa. Gempa besar terjadi 27

tahun sekali tercatat secara rata-rata (Faisal, 2003). Gempa kuat sebesar $M_w = 9.0$ terjadi di tahun 1833 di kawasan ini (Natawidjaja dan Triyoso, 2009). Kemudian tahun 1861 gempa berkekuatan $M_w = 8,5$ melanda bagian utara pantai barat Sumatera, tepatnya di sekitar Pulau Nias.

Gempa-gempa menengah sampai dengan gempa kuat kebanyakan bersumber dari kawasan Sesar Sumatera, sebuah sistem segmen sesar mendatar di pegunungan Bukit Barisan. Pada tahun 1921, terjadi gempa sebesar $M_w = 7.1$ di Tapanuli yang timbul di Sumatera bagian utara mengejutkan banyak kota seperti Gunung Sitoli, Tarutung dan Medan (Soetardjo dkk., 1985). Berikutnya gempa dengan kekuatan $M_w = 7.7$ terjadi pada tahun 1936 di daerah Alas, Aceh Selatan. Diperkirakan intensitas gempa di kota Medan mencapai VI dalam skala MMI (Soetardjo dkk., 1985). Gempa tahun 1936 ini, merupakan salah satu gempa terkuat yang diketahui dalam sejarah gempa di sesar mendatar di Bukit Barisan, yang dipicu oleh segmen sesar Tripa. Sieh dan Natawidjaja (2000) menambahkan bahwa pada tahun 1892 ada gempa yang muncul pada segmen sesar Angkola (daerah Kabupaten Tapanuli Selatan) yang berkekuatan lebih, yaitu $M_s = 7.7$, yang luput dicatat oleh sejarah.

Gempa besar dapat terjadi kembali setiap 27 tahun di wilayah Sumatera, khususnya di kawasan subduksi. Ini sesuai dengan teori probabilitas gempa yang menunjukkan bahwa semakin besar magnituda gempa maka akan semakin jarang peluang kemunculannya. Bila dibalik, dapat diartikan pula dengan semakin kecil magnituda gempa maka semakin kerap peluang kemunculannya. Ini berarti gempa-gempa yang lebih kecil dapat terjadi dalam waktu yang lebih cepat dan terjadi berulang kali. Secara alami, gempa akan memiliki perulangan kejadian dalam tempo yang singkat (menit, jam, hari atau bulan) di sekitar sesar yang sama, yang disebut dengan gempa awal (*foreshock*), gempa utama (*mainshock*), dan gempa susulan (*aftershock*). Gempa dapat juga terjadi di sekitar sesar yang sama dalam rentang waktu yang lebih lama (seperti tahunan). Faisal dkk. (2013) menyebut fenomena ini disebut sebagai gempa berulang (*repeated earthquakes*). Fenomena gempa berulang dapat juga diberikan kepada sebuah tempat yang mengalami rentetan kejadian getaran gempa

dalam rentang waktu tertentu yang sumber gempanya dapat berasal dari berbagai sesar berbeda.

Kejadian sebuah gempa umumnya dikaitkan kepada gempa utama yang dimilikinya. Sedangkan pada proses perencanaan, bangunan hanya dirancang untuk dapat menahan sebuah gempa tunggal yang berasal dari gempa utama terkuat yang pernah terjadi sebelumnya. Pada kenyataannya struktur bangunan, yang telah rusak sebagian (tetapi bangunan tetap berdiri dan bisa dihuni) akibat sebuah gempa utama, dapat mengalami guncangan gempa susulan yang lebih kecil kekuatannya dari pada gempa utama, atau mengalami guncangan gempa utama lain di kemudian hari (gempa berulang).

Studi-studi yang terkait dengan gempa berulang menunjukkan bahwa struktur bangunan dapat mengalami kerusakan yang lebih parah bila mengalami gempa berulang akibat akumulasi kerusakan (Elnashai dkk., 1998; Amadio dkk., 2003). Hal yang sama juga dijelaskan oleh Hatzigeorgiou and Liolios (2010) dan Faisal dkk. (2013) dimana berbagai jenis bangunan bertingkat yang dimodelkan mengalami gempa berulang akan mengalami kerusakan yang lebih bayak dibanding bila mengalami gempa tunggal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Respon Gedung Beton Bertulang Akibat Gempa

Penentuan dari simpangan (*drift*) maksimum sebuah bangunan akibat getaran gempa diperlukan adanya identifikasi dasar simpangan bangunan saat mencapai respon non-elastis (Chandler dan Lam, 2001). Kondisi dari simpangan yang mencapai maksimum ini sangat berguna untuk mengetahui faktor daktilitas simpangan atau yang lebih dikenal dengan faktor daktilitas. Faktor daktilitas-struktur merupakan perbandingan antara simpangan maksimum dengan simpangan saat pertama leleh (*first yield*). Faktor ini sering dikaitkan dengan gaya geser dasar dari sebuah gempa. Untuk Indonesia, menurut Peraturan Gempa untuk Bangunan Indonesia SNI-1726-2003 harga faktor daktilitas struktur, mulai dari elastis penuh sampai dengan daktil penuh, kisaran antara 1,0 sampai 5,3.

Penyelidikan pendekatan/empiris dan studi yang berkaitan dengan teori respon

dinamik pada struktur rangka beton bertulang yang dibebani getaran gempa kuat menunjukkan sebuah hubungan yang sangat jelas antara simpangan antar tingkat (*inter-story drift*) dan potensi kegagalan struktur. Kondisi kritis simpangan antar tingkat yaitu 2% yang terjadi pada lantai 7 pada suatu bangunan beton bertulang 10 lantai, dibebani gempa sangat kuat (Kappos, 1994). Negro dkk. (1996) melakukan penelitian uji hingga kondisi hancur dengan menerapkan beban dinamis tiruan pada bangunan beton bertulang 4 lantai yang menghasilkan nilai simpangan kritis antar tingkat sebesar 7,18%. Bangunan berlantai 10 yang terbuat dari beton hasil studi Dymiotis dkk. (1999) menunjukkan kolom pertama kali hancur terjadi seketika, setelah simpangan yang terjadi mencapai 3%.

Studi-studi tentang gempa berulang menunjukkan bahwa struktur bangunan dapat mengalami kerusakan yang lebih parah bila mengalami gempa berulang akibat akumulasi kerusakan (Elnashai dkk., 1998; Amadio dkk., 2003; Zhai dkk., 2015). Hal yang sama juga dijelaskan oleh Hatzigeorgiou and Liolios (2010) dan Faisal dkk. (2012) dimana berbagai jenis bangunan bertingkat yang dimodelkan mengalami gempa berulang akan mengalami kerusakan yang lebih banyak dibanding bila mengalami gempa tunggal.

Evaluasi Kinerja Gedung Terhadap Gempa

Evaluasi kinerja sebuah bangunan bertingkat beton bertulang sering didasarkan kepada kurva kapasitas atau kurva simpangan atap dengan gaya geser lateral. Umumnya aturan yang sering digunakan adalah berdasarkan peraturan yang dikembangkan di USA yang dikenal dengan FEMA 274. Belakangan ini evaluasi kinerja bangunan sering menggunakan analisa beban dorong (*pushover analysis*). Evaluasi yang dibuat berdasarkan kepada sebuah penilaian terhadap parameter-paramater kinerja penting seperti simpangan (*drift*) global, simpangan antar tingkat (*inter-story drift*), deformasi elemen inelastik (nilai leleh), deformasi antar elemen dan gaya-gaya pada elemen dengan sambungan.

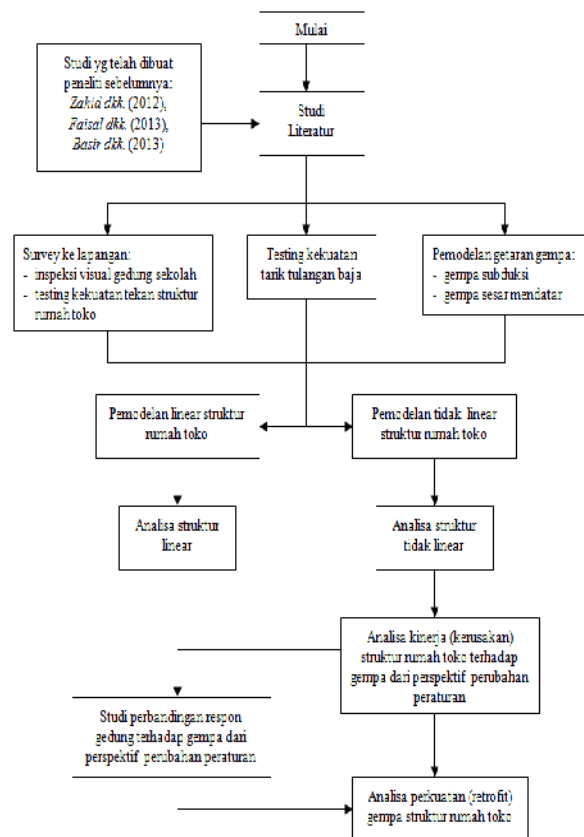
Menurut Krawinkler dan Seneviratna (1998) analisa beban dorong diperkirakan dapat memberikan informasi sejumlah karakter respon yang tidak dapat diperoleh melalui analisa statis

elastik atau analisa dinamis. Analisa beban dorong telah dilakukan terhadap struktur bangunan rumah toko di Medan (Faisal dan Sari, 2007) berdasarkan estimasi skenario gempa terburuk yang akan terjadi di kota tersebut menurut Faisal (2005). Hasil menunjukkan bahwa bangunan rumah toko akan rusak secara signifikan.

III. METODE PENELITIAN

Diagram Alur Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk meneliti kinerja Rumah Toko (RUKO) yang berada dikota medan. Rumah toko ini terakhir ditinjau kelapangan adalah pada bulan maret 2018 lalu dan dalam pekerjaan pembangunan. Adapun alur penelitian yang dilaksanakan seperti pada gambar diagram berikut ini.



Gambar 1. Diagram alir metodologi penelitian

Objek Rumah Toko

Rumah toko (RUKO) yang ditinjau sebagai objek penelitian berada di beberapa tempat yang

ada dikota medan. Rumah toko ini diberi kode/inisial berdasarkan tempat dan lokasi, diantaranya RUKO-A yang berada di Jalan Tuasan Kecamatan Medan Tembung, RUKO-B yang berada di Jalan Alfalah Kecamatan Medan Timur dan RUKO-C yang berada di Jalan Budi Kemasayrakan Kecamatan Medan Barat.

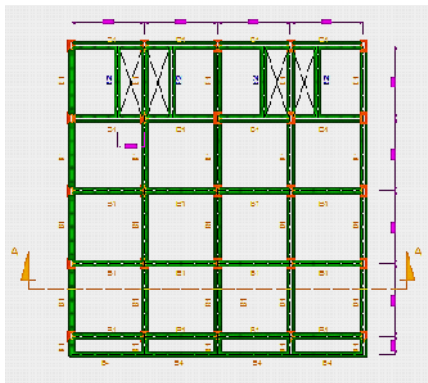
Untuk lebih jelasnya RUKO-RUKO ini akan diterangkan dan diperlihatkan pada gambar berikut ini, bentuk dan rencana denah bangunan RUKO tersebut.

Denah Objek RUKO

Pada saat dilakukaan tinjauan kelengkapan, RUKO A masih dalam pelaksanaan pekerjaan akhir yaitu pekerjaan arsitektur sedangkan pekerjaan struktur telah selesai. RUKO A ini terdiri dari 4 Pintu dan memiliki tinggi lantai sebanyak 3 ditambah panhouse. Konstruksi terbuat dari beton bertulang dengan dinding $\frac{1}{2}$ bata. Untuk gambaran lebih jelas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. RUKO A , Lokasi Jalan Tuasan Kecamatan Medan tembung



Gambar 3. Denah RUKO A

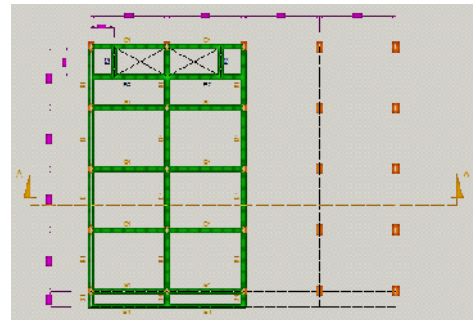
Dari denah RUKO A, untuk lebar gedung adalah 16 dibagi menjadi 4 pintu dan

panjang kebelakang juga 16 meter, tinggi gedung adalah 11,5 m dengan tinggi lantai 1 dan 2 adalah 4 meter dan 3,5 m untuk bagian atap. Panhouse diambil setinggi 2,5 m. Uji Pantul pada RUKO A telah dilakukan dan diperoleh data kekuatan beton beton diambil sebesar f_c' **21,4 MPa** untuk kolom dan f_c' **11,9 MPa** untuk balok dan lantai. Begitu juga Uji Tarik Tulangan Baja diperoleh diperoleh kuat tarik rata-rata leleh adalah $f_y = 255,2 \text{ MPa}$ dan kuat putus rata-rata adalah $f_u = 407,4 \text{ MPa}$.

Sama halnya dengan RUKO A, RUKO B juga dalam pengerjaan struktur dan pemasangan dinding bata pada saat peninjauan lapangan. RUKO B ini juga terdiri dari 4 pintu, namun terjadi perbedaan tinggi lantai antara 2 pintu satu dengan 2 pintu yang lain pada RUKO B berkisar 1,5 m. Agar lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. RUKO B , Lokasi Jalan Alfalah 4 Kecamatan Medan Timur



Gambar 5. Denah RUKO B

Dari denah RUKO B diperoleh dimensi lebar gedung adalah 20 m dibagi dalam 4 pintu dan panjang kebelakang adalah 20 m, sedangkan tinggi gedung ada perbedaan antara 2 pintu sebagai RUKO B-1 dengan 2 pintu sebagai RUKO B-2 disebelahnya yaitu 12 m dan 13,5. Tinggi antar lantai RUKO B-1 adalah 4 m ditambah panhouse 2,5 m dan RUKO B-2 tinggi antar lantai adalah 5,5 m untuk lantai 1 dan 4 m untuk lanti 2 dan 3 ditambah panhouse 2,5 m dibagian atap. Uji pantul pada RUKO B dapat

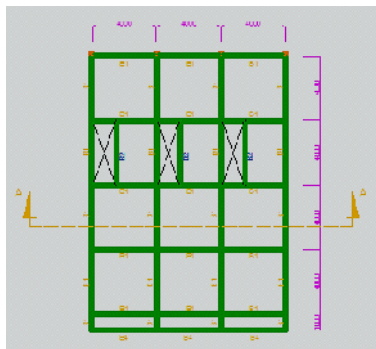
dilihat dari tabel 2 untuk kekuatan tekan beton rerata pada kolom diambil sebesar $f_c' 21,4$ MPa sedangkan untuk balok beton diambil sebesar $f_c' 21,9$ MPa.

Sedangkan tulangan baja dari hasil uji telah yang telah dilakukan dan telah dianalisis, maka diperoleh kuat tarik rata-rata leleh adalah $f_y = 228,3$ MPa dan kuat putus rata-rata adalah $f_u = 358,7$ MPa.

RUKO C yang berada di jalan Budi Kemasayrakatan Kecamatan medan barat ini, terdiri dari 3 pintu, pada saat peninjauan lapangan masih dalam tahap pembangunan. Untuk itu gambaran dan denah dri RUKO C ini dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 6. RUKO C , Lokasi Jalan Budi Kemasayrakatan Kecamatan Medan Barat

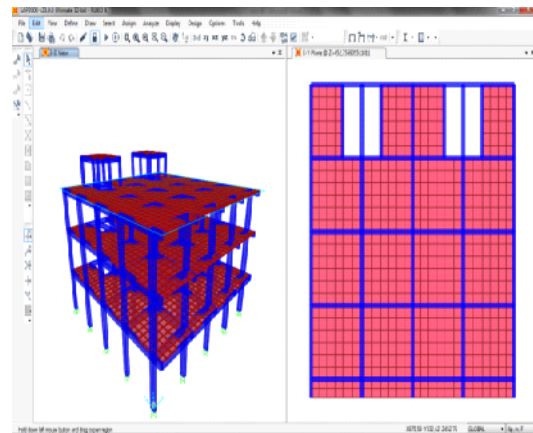


Gambar 7. Denah RUKO C

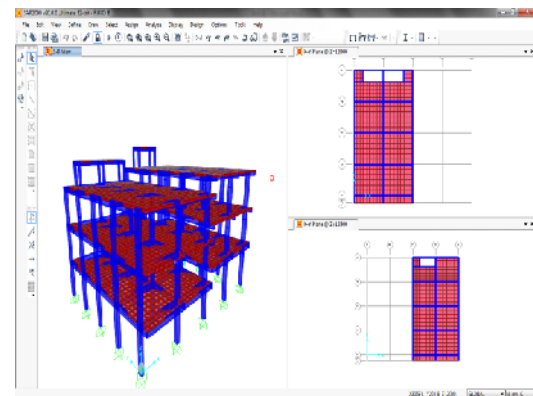
Dari denah RUKO C, untuk lebar gedung adalah 12 m dibagi menjadi 3 pintu dan panjang kebelakang juga 16 meter, tinggi gedung adalah 12 m dengan tinggi setiap lantai sama adalah 4 meter, sedangkan panhouse diambil setinggi 2,5 m. Uji pantul untuk RUKO C dapat dilihat dari tabel 3 dimana untuk kekuatan tekan beton rerata pada kolom diambil sebesar $f_c' 12,7$ MPa sedangkan untuk balok beton diambil sebesar $f_c' 8,1$ MPa. Untuk hasil uji tarik tulangan baja, yang telah dilakukan dan telah dianalisis, maka diperoleh kuat tarik rata-rata leleh adalah $f_y = 241,2$ MPa dan kuat putus rata-rata adalah $f_u = 461,3$ MPa.

Pemodelan Finite Element

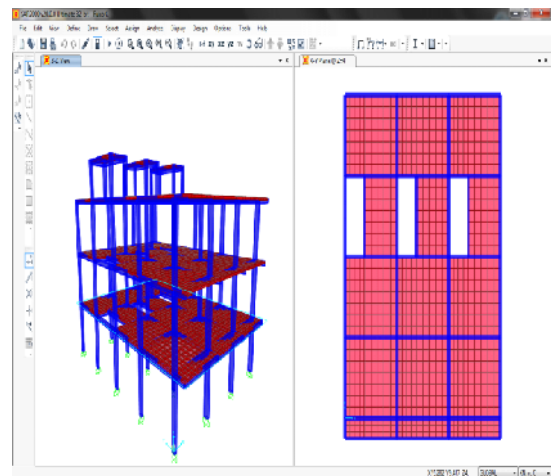
Pemodelan Finite element digunakan bantuan software SAP 2000 sebagai analisis linier dan RUAMUKO untuk analisis nonlinier time history akibat gempa berulang



Gambar 8. Finite element RUKO A



Gambar 9. Finite element RUKO B



Gambar 10. Finite element RUKO C

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

- Periode Fundamental Struktur

Berdasarkan SNI 1726 : 2012 menyatakan bahwa perioda fundamental struktur “T”, dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur “T” tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda dihitung,

$$T_{a \max} = C_u = 1,4 \text{ detik untuk kondisi } S_{D1} > 0,4$$

Untuk $T_{a \min}$ diperoleh dari sistem penahan struktur dan tinggi bangunan, dengan demikian hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

RUKO A, tinggi bangunan $h_n = 11,5$ m, untuk rangka beton pemikul momen $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Diperoleh $T_{a \min} = C_t * h_n^x = 0,42$ detik.

RUKO B, tinggi bangunan $h_n = 13,5$ m, untuk rangka beton pemikul momen $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Diperoleh $T_{a \min} = C_t * h_n^x = 0,485$ detik.

RUKO C, tinggi bangunan $h_n = 12$ m, untuk rangka beton pemikul momen $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Diperoleh $T_{a \min} = C_t * h_n^x = 0,436$ detik.

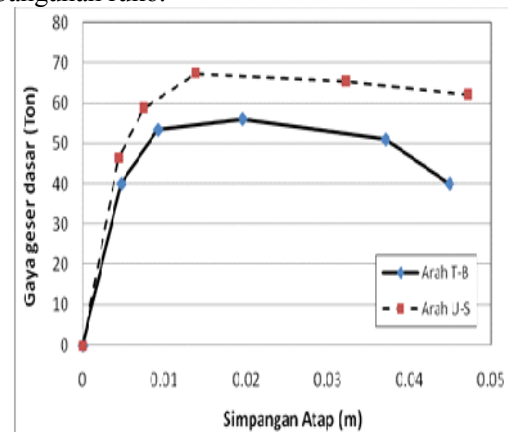
Bila dibandingkan dari tiap perioda fundamental struktur “T” dari setiap RUKO yang dapat dilihat pada tabel 3, pada saat ragam bentuk pertama RUKO A diperoleh $T = 1,144$ detik, RUKO B dengan $T = 0,822$ detik dan RUKO C dengan $T = 2,328$ detik. Untuk RUKO A dan B telah memenuhi syarat perioda, namun RUKO C terlihat melebihi dari yang dipersyaratkan dan struktur tergolong kurang kaku.

- Kapasitas Bangunan Rumah Toko Berdasarkan Analisa Pushover

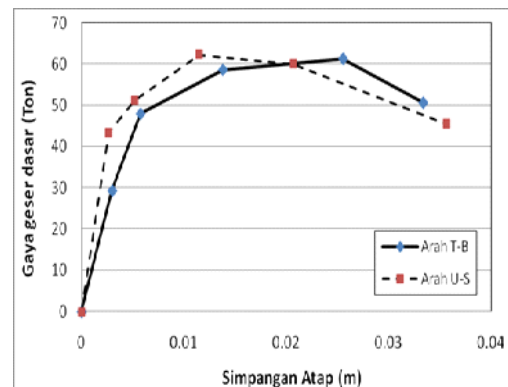
Setiap bangunan rumah toko (ruko) dimodelkan secara nonlinear sehingga setiap elemen memiliki titik-titik sendi pastis. Model ini kemudian dianalisa secara statis tidak linear yang dikenal dengan analisa pushover (analisa beban dorong) untuk mendapatkan informasi kapasitas bangunan (simpangan) terhadap gaya geser dasar. Gaya geser dasar ini merupakan gaya yang berasal dari gaya inersia yang dimiliki bangunan yang diasumsikan sebagai akibat adanya massa bangunan dan percepatan gempa.

Setiap model bangunan ruko dianalisa dalam 2 arah yaitu arah muka-belakang (Utara-Selatan atau disingkat dengan U-S atau N-S) dan arah

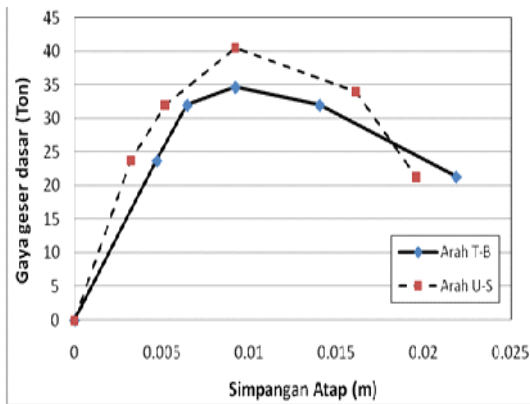
samping kiri-kanan (Timur-Barat atau disingkat dengan T-B atau E-S). Gambar 4.1 menunjukkan hasil yang diperoleh untuk bangunan ruko Model A yaitu kapasitas untuk arah U-S dan arah T-B. Tampak dengan jelas bahwa kapasitas Model A arah U-S lebih dominan dibanding arah T-B. Hal ini ditunjukkan dengan kekakuan elastis arah U-S yang lebih besar dibandingkan dengan kekakuan arah T-B. Kapasitas simpangan juga tampak lebih besar dimiliki oleh arah U-S dibanding dengan arah T-B. Hal ini terjadi karena jumlah kolom lebih banyak pada arah tersebut dan juga profil penampang kolom memiliki sumbu kuat mengarah ke U-S. Yang paling menarik adalah sendi plastis yang terjadi pertama kali pada kolom terjadi pada kolom lantai dasar. Ini terjadi pada RUKO A untuk kedua arah yang ditinjau. Kondisi ini diyakini akan menyebabkan fenomena tingkat lemah (soft story) bila getaran gempa menerpa bangunan ruko.



Gambar 11. Grafik kapasitas bangunan ruko untuk RUKO A berdasarkan analisa pushover



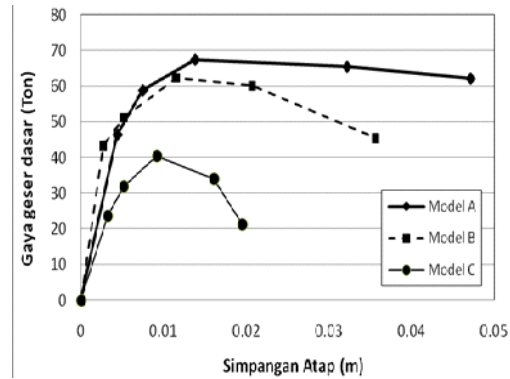
Gambar 12. Grafik kapasitas bangunan ruko untuk RUKO B berdasarkan analisa pushover



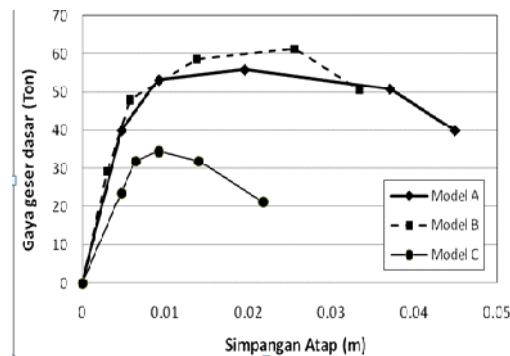
Gambar 13. Grafik kapasitas bangunan ruko untuk RUKO C berdasarkan analisa pushover

Gambar 15 dan 16 secara keseluruhan menunjukkan pola yang hampir sama dengan Gambar 14 yaitu RUKO B dan C memiliki kekakuan dan simpangan yang lebih besar untuk arah sumbu U-S dibandingkan dengan kekakuan dan simpangan arah sumbu T-B. Sendi plastis yang pertama kali juga terjadi pada kolom dasar pada RUKO B dan C sama seperti RUKO A. Untuk Model B tampak bahwa kapasitas gaya geser maksimum yang dimilikinya hampir sama untuk arah T-B dan U-S, berbeda dengan RUKO C yang tampak sekali kapasitas gaya arah U-S lebih besar dari pada arah T-B.

Gambar 17 menjelaskan perbandingan kapasitas RUKO A, B dan C untuk arah U-S dimana tampak dengan jelas bahwa kapasitas kekakuan untuk arah U-S dan T-B pada RUKO A lebih dominan dibandingkan dengan RUKO B dan C. Untuk kapasitas gaya geser arah T-B lebih dominan terjadi pada RUKO B, sedangkan arah U-S didominasi oleh RUKO A. terjadi perbedaan dimana kapasitas gaya geser RUKO B lebih besar dibanding model lainnya (Gambar 18). Kapasitas simpangan yang dimiliki pada RUKO A ternyata lebih besar dibandingkan dengan Model lain. Gambar 17 dan 18 juga menjelaskan kondisi leleh pertama kali pada RUKO C terjadi pada nilai gaya geser dasar yang paling rendah, baik itu untuk arah U-S maupun arah T-B. Untuk RUKO A dan B, leleh terjadi pertama kali pada RUKO B dengan gaya geser dasar lebih rendah dari RUKO A.



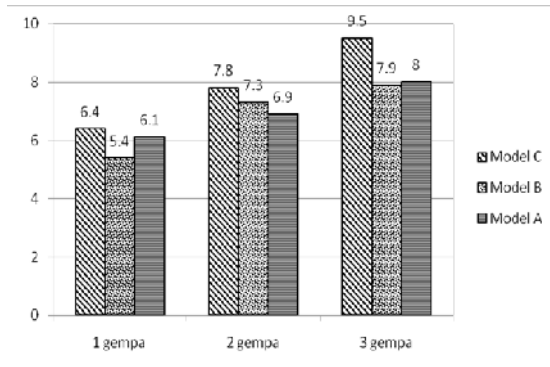
Gambar 14. Grafik kapasitas bangunan ruko untuk RUKO A, B, dan C arah U-S (N-S) berdasarkan analisa pushover



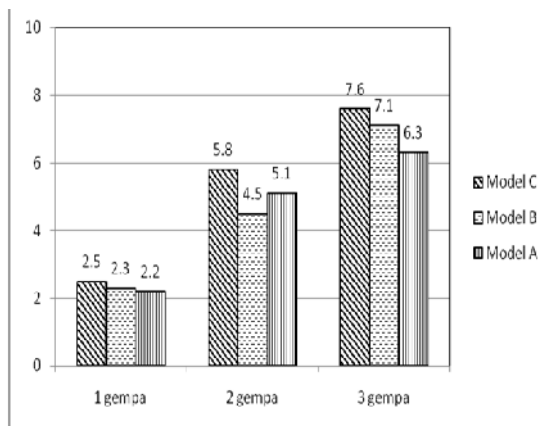
Gambar 15. Grafik kapasitas bangunan ruko untuk RUKO A, B, dan C arah T-B (E-W) berdasarkan analisa pushover

- Simpangan Atap Berdasarkan Analisa Respon Riwayat Waktu Akibat Gempa Berulang

Gambar 19 dan 20 menjelaskan simpangan yang terjadi pada atap bangunan ruko untuk RUKO A, B dan C akibat gempa berulang berdasarkan analisa respon riwayat waktu nonlinear inelastik. Secara jelas terlihat pada gambar-gambar tersebut bahwa simpangan atap yang paling besar terjadi pada RUKO C untuk semua arah. Semua model mengalami simpangan atap yang lebih besar ke arah T-B dibanding ke arah U-S. Hal ini terjadi karena kekakuan lateral semua model lebih dominan pada arah U-S dibanding arah T-B. Kenaikan nilai simpangan atap yang paling signifikan terjadi pada arah U-S yaitu mencapai 119,8 % untuk gempa berulang 2 kali dan mencapai 199,7 % untuk gempa berulang 3 kali.



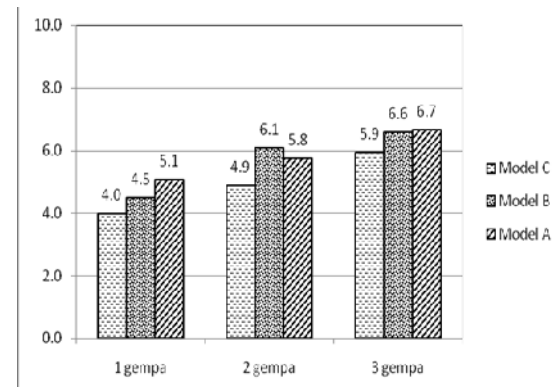
Gambar 16. Simpangan atap maksimum arah T-B ruko akibat 1x gempa, 2x gempa, dan 3x gempa (dalam cm).



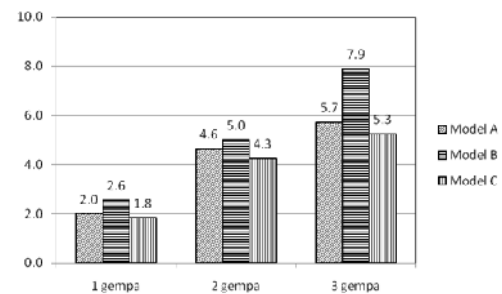
Gambar 17. Simpangan atap maksimum arah U-S ruko akibat 1x gempa, 2x gempa, dan 3x gempa (dalam cm).

- **Kebutuhan Daktilitas Akibat Gempa Berulang**

Kebutuhan daktilitas diukur dari simpangan atap hasil analisa respon riwayat waktu dibagi dengan simpangan atap saat leleh hasil analisa pushover. Model gempa yang dipakai terdiri dari 3 macam yaitu gempa tunggal, gempa 2 kali dan gempa 3 kali. Gambar 21 dan 22 menjelaskan kebutuhan daktilitas RUKO A, B dan C untuk arah U-S (N-S) dan T-B (E-W). Tampak dengan jelas bahwa kebutuhan daktilitas seluruh model untuk arah T-B lebih besar dibandingkan dengan daktilitas arah U-S yaitu mencapai rata-rata 117,8 % (lebih dua kali lipat). Ini menunjukkan gaya inersia akibat gempa terjadi lebih besar pada arah T-B, sehingga bias dipastikan bangunan akan runtuh pada arah ini. RUKO C adalah yang paling besar mengalami peningkatan kebutuhan daktilitas yaitu mencapai 177,3 %.



Gambar 18. Kebutuhan daktilitas arah memanjang ruko akibat 1x gempa, 2x gempa, dan 3x gempa.



Gambar 19. Kebutuhan daktilitas arah melintang ruko akibat 1x gempa, 2x gempa, dan 3x gempa.

Gambar 20 menjelaskan kebutuhan daktilitas RUKO A, B dan C untuk arah T-B (EW) menjadi meningkat secara signifikan akibat gempa berulang. Terjadi kenaikan kebutuhan daktilitas rata-rata 23,4 % bila gempa berulang 2 kali terjadi dan terjadi kenaikan kebutuhan daktilitas rata-rata untuk dan 42 % bila gempa berulang terjadi 3 kali. Gambar 21 menjelaskan kebutuhan daktilitas arah U-S untuk RUKO A, B dan C. Pada gambar ini terlihat dengan jelas terjadi peningkatan kebutuhan daktilitas yang sangat signifikan yaitu 119,8 % untuk gempa berulang 2 kali dan 193,8 % untuk gempa berulang 3 kali (hampir 2 kali lipat). Hasil ini menunjukkan perbedaan yang sangat mencolok pada respon bangunan ruko bila dikenai gempa berulang. Sehingga tidak dapat dinafikan lagi bahwa diperlukan tindakan mitigasi untuk menghindarkan jatuhnya korban bila bencana gempa terjadi di masa depan, dengan intensitas gempa seperti yang diperkirakan pada standar kegempaan yang berlaku di Indonesia.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan lapangan dan kajian analisis struktur bangunan pada rumah toko dikota medan, khususnya pada RUKO A yang berlokasi di Jalan Tuasan Kecamatan Medan Tembung, RUKO B berada di jalan Alfalah 4 dan RUKO C berada di Jalan Budi Kemasayrakatan di Kecamatan Medan Barat, diperoleh beberapa hasil studi antara lain:

1. Berdasarkan hasil uji pantul menggunakan alat Hammer Test diperoleh kekuatan beton pada RUKO A diperoleh kekuatan tekan beton rata-rata untuk kolom adalah $f_c' 21,4$ MPa dan Balok memiliki kekuatan tekan sebesar 11,9 MPa. Kekuatan tekan beton untuk elemen pada RUKO B diperoleh kekuatan tekan kolom diperoleh sebesar 21,4 MPa dan pada Balok sebesar 21,9 MPa sedangkan RUKO C diperoleh sebesar 12,7 MPa untuk Kolom dan 8,1 MPa untuk Balok. Jika dilihat dari peraturan SNI 2847:2013 subbbpasal 21.1.4.2 dengan KSD-D bahwa material beton tidak boleh kekuatan tekannya dibawah 20 MPa, maka pada RUKO C tidak termasuk dalam standar dan RUKO C untuk kekuatan baloknya juga masih kurang dari standar yang berlaku.
2. Material untuk tulangan baja beton dilakukan uji tarik pada laboratorium teknik mesin UMSU dengan jumlah benda uji sebanyak 2 buah setiap RUKO, maka kuat tarik yang diperoleh dari tulangan baja pada RUKO A sesuai dengan SNI 07-2052-2002 termasuk kelas BJTP-30, untuk RUKO B diperoleh tulangan baja beton adalah termasuk kelas BJTP-24 dan RUKO C kekuatan tarik tulangan baja betonnya adalah termasuk kelas BJTS-24 dengan tulangan berulir, namun berdasarkan SNI 07-2052-2002 kelas BJTS ini tidak ada dalam standard, sebab paling minimum adalah BJTS-30.
3. Berdasarkan standarisasi SNI 1726:2012 untuk bangunan RUKO, kondisi perioda struktur yang terjadi adalah pada RUKO A sebesar 1,144 detik, untuk RUKO B perida strukturnya sebesar 0,822 detik dan RUKO C memiliki perioda struktur sebesar 2,328 detik. Diantara ketiga RUKO tersebut ternyata RUKO C melebihi syarat standar yang dibatasi.
4. Perpindahan strukutur yang terjadi pada RUKO terhadap arah T-B atau E-W diperoleh besar perpindahan lantai atas pada RUKO A sebesar 28,56 mm, RUKO B sebesar 10,26 mm dan RUKO C sebesar 57,39 mm. Perpindahan arak U-S atau N-S pada RUKO A sebesar 13,46 mm, RUKO B sebesar 5,18 mm dan RUKO C sebesar 35,74 mm. Dari kondisi diatas ternyata untuk arah T-B perpindahan yang tidak memenuhi syarat dan teridentifikasi terjadi arah guling adalah pada RUKO C, sedangkan pada arah U-S ternyata perpindahan yang tidak memenuhi syarat adalah pada RUKO B.
5. Kapasitas struktur terhadap pushover untuk kondisi kapasitas geser pada arah T-B atau E-W lebih dominan pada RUKO B dan kapasitas geser arah U-S atau N-S lebih dominan pada RUKO A.
6. Kapasitas simpangan yang dimiliki oleh RUKO A lebih besar dibandingkan model RUKO B dan C, untuk kondisi leleh pertama kali pada RUKO C terjadi nilai gaya geser yang paling rendah baik arah T-B maupun U-S , sedangkan kondisi leleh pertama kali antara RUKO A dan RUKO B ternyata RUKO B lebih rendah dibandingkan RUKO A.
7. Simpangan atap akibat gempa berulang berdasarkan analisa respon riwayat waktu nonlinier inelastik, simpangan atap yang paling besar terjadi pada RUKO C untuk semua arah. Simpangan pada semua model lebih dominan pada arah T-B dibandingkan arah U-S, hal ini disebabkan kesemua model lebih kaku terhadap arah U-S dibandingkan terhadap arah T-B. Kenaikan simpangan atap lebih signifikan terjadi pada arah U-S yaitu mencapai 119,8% untuk gempa berulang 2 kali dan mencapai 199,7% untuk gempa berulang 3 kali.
8. Untuk kebutuhan daktilitas, pada RUKO A, B dan C kebutuhan arah daktilitas arah T-B lebih besar dibandingkan arah U-S yaitu mencapai rata-rata 117,8%, sehingga dapat dipastikan keruntuhan akan terjadi pada arah ini. Peningkatan kebutuhan daktilitas yang lebih besar adalah pada RUKO C sebesar 177,3%.
9. Peningkatan kebutuhan daktilitas akibat gempa berulang 2 kali pada semua RUKO adalah sebesar 23,4% dan 42% pada saat gempa berulang 3 kali. Kondisi ini terlihat

peningkatan antara perulangan gempa kebutuhan daktilitas hampir 2 kali lipat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amadio, C., Fragiaco, M., and Rajgelj, S. (2003). The effects of repeated earthquake ground motions on the non linear response of SDOF systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32(2), 291-308.
- Chandler, A.M., & Lam, N.T.K. (2001). Performance-based design in earthquake engineering: a multi disciplinary review. *Engineering Structures*. 23, 1525-1543.
- Dymiotis, C., Kappos, A.J., Chryssanthopoulos, M.K., (1999). Seismic reliability of RC frames with uncertain drift and member capacity. *Journal of Structural Engineering* (ASCE) 125(9).
- DPU (1987). *Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung SNI 1727-18F*. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit PU.
- DPU (1991). *Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, SKSNI T-15-1991-P03*, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Elnashai, A. S., Bommer, J. J., Martinez-Pereira, A. (1998). *Engineering implications of strong-motion records from recent earthquakes*. Paper presented at the 11th European Conference on Earthquake Engineering.
- Faisal, A. (2007). Estimasi respon tanah sedang di beberapa lokasi di Kota Medan akibat skenario terburuk gempa Sumatera, *Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Bandung, Vol. 14, No.1, Januari 2007, pp.1-16.
- Faisal, A. dan Sari, S.M. (2007). Perkiraan kehancuran bangunan rumah toko di Kota Medan akibat skenario terburuk gempa subduksi Nias, *Jurnal Teknologi*, Universitas Indonesia, No.2, XXI, Juni 2007, pp.85-93.
- Faisal, A. (2003). *Response spectrum acceleration in Kuala Lumpur and Pulau Pinang due to Sumatran earthquakes and its effect on a tall reinforced concrete building*, M.Sc. Thesis, Universiti Sains Malaysia.
- Faisal, A. (2005). Skenario terburuk gempa Sumatera dan respon tanah di Kota Medan. Laporan Penelitian UMSU. ADB Loan 1729-INO.
- Faisal, A., Majid, T. A., & Hatzigeorgiou, G. D. (2013). Investigation of story ductility demands of inelastic concrete frames subjected to repeated earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 44, 42-53.
- Hatzigeorgiou, G. D., and Liolios, A. A. (2010). Nonlinear behaviour of RC frames under repeated strong ground motions. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 30(10), 1010-1025.
- Kappos, A., Antoniadis, K., & Kostantinides, D. (1994). Seismic behaviour evaluation of RC buildings designed to the Eurocode 8. In *Earthquake Resistant Construction and Design*. (Savidis, S.A. ed.). Rotterdam: A.A. Balkema.
- Krawinkler, H., & Seneviratna, G.D.P.K. (1998). Pros and cons a pushover analysis of seismic performance evaluation. *Engineering Structures*. 20, Nos 4-6, 452-464.
- Natawidjaja, D. H., & Triyoso, W. (2007). The Sumatran Fault Zone—from Source to Hazard. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 1(01), 21-47.
- Negro, P., Pinto, A.V., Verzeletti, G., Magonette, G.E. (1996). PsD test on four-story R/C building designed according to Eurocode. *Journal of Structural Engineering* (ASCE). 122(12).
- SNI 1726:012. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*. 105, 28,295-28,326.
- Soetardjo, Untung, M., Arnold, E. P., Soetadi, R., Ismail, S., & Kertapati, E. K. (1985). In *Series on seismology, volume V: Indonesia*. (Arnold, E.P., ed.), Southeast Asia association of seismology and earthquake engineering (SEASEE). Denver: USGS press.
- SNI 03-1726-2003 (2003). *Peraturan perencanaan gempa untuk bangunan gedung SNI 1726-2003*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Valles, R. E., Reinhorn, A. M., Kunnath, S. K., Li, C., & Madan, A. (1996). IDARC2D Version 4.0: Computer Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings. *National Center for Earthquake Engineering Research, Technical Report NCEER-96-0010*. New York: The State University of New York at Buffalo
- Zhai, C. H., Wen, W. P., Li, S., & Xie, L. L. (2015). The ductility-based strength reduction factor for the mainshock–aftershock sequence-type ground motions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(10), 2893-2914.