

INFRASTRUKTUR

EVALUASI DAN PERBAIKAN STRUKTUR GEDUNG DPRD MOROWALI BERDASARKAN PETA GEMPA 2010

Evaluation and Repaired of DPRD Morowali Building Used 2010 Earthquake Map

I Ketut Sulendra

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : ketutsulendra7273@yahoo.com

ABSTRACT

Buildings have been damaged after the earthquake need to be evaluated to determine the cause of the damage, elements structural failure, and the methods of repair or retrofitting the structures. To determine this, the research by evaluating the structure of the building by applying the appropriate burden of earthquake map earthquake in 2010. Methods of evaluation refers to the evaluation method of Takim Andriano et al. the method steps performed well as between other existing material test trials (f_c' and f_y), structural elements capacity analysis, re-analysis of structures with seismic map in 2010 and determine the method of retrofitting to be done. The results of this analysis showed sufficient number of structural elements that have failed, especially shear failure occurs. So what can be done to stabilize the structure by strengthening structural elements failure. The structure strengthening methods such as Cloaking (jacketting) and materials (steel, spiral steel, concrete or composite), addition of external reinforcement with steel strap material/plate, reinforcing stirrups, outside reinforcement in the form of plate steel, epoxy injection, and method of retrofitting with using Fiber Reinforced Polymer.

Keywords: structural evaluation, 2010 Earthquake Map, structural repaired methods

ABSTRAK

Gedung yang telah mengalami kerusakan pasca gempa perlu segera dievaluasi untuk mengetahui penyebab kerusakan, elemen-elemen struktur yang mengalami kegagalan dan metode perbaikan atau perkuatan struktur. Untuk mengetahui hal tersebut, maka dilakukan penelitian dengan mengevaluasi struktur gedung tersebut dengan menerapkan beban gempa sesuai peta gempa tahun 2010. Metode evaluasi yang dilakukan merujuk pada metode evaluasi struktur Takim Andriano dkk. Secara garis besar langkah-langkah metode yang dilakukan antara lain uji tes material eksisting (f_c' dan f_y), analisis kapasitas elemen struktur, analisis kembali struktur dengan Peta gempa tahun 2010 dan menentukan metode perkuatan untuk dilakukan. Hasil dari analisis tersebut memperlihatkan banyaknya elemen struktur yang mengalami kegagalan, khususnya kegagalan geser. Maka tindakan yang dapat dilakukan untuk menstabilkan struktur tersebut yakni dengan melakukan perkuatan elemen struktur yang mengalami kegagalan. Adapun metode-metode perkuatan struktur seperti penyelubungan (jacketing) dengan bahan (baja, baja spiral, beton atau komposit), penambahan tulangan luar dengan bahan steel strap/plate, tulangan sengkang, Penulangan luar berupa plat baja, Injeksi epoksi, dan metode perkuatan dengan menggunakan Fiber Reinforced Polymer.

Kata Kunci : *evaluasi struktur, Peta Gempa 2010, metode perbaikan struktur*

PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Indonesia merupakan suatu wilayah yang rawan dengan bencana alam seperti gempa bumi. Sampai saat ini belum ada pengetahuan manusia yang dapat mengetahui kapan, di mana dan seberapa besar bencana gempa bumi itu akan muncul. Namun demikian, pengetahuan manusia hanya dapat memberikan penaksiran-penaksiran melalui dengan persentase kejadian-kejadian gempa bumi yang terjadi pada sebelumnya.

Permasalahan gempa bumi dalam bidang konstruksi sangat menekankan pembangunan yang tahan akan beban gempa tersebut. Dengan merujuk

pada suatu filosofi konstruksi bangunan tahan gempa yakni apabila gempa kecil bangunan tidak mengalami kerusakan apapun, dan jika gempa sedang komponen non struktur boleh mengalami kerusakan, tetapi komponen strukturnya tidak boleh mengalami kerusakan dan apabila gempa kuat, komponen non struktur maupun komponen strukturnya boleh mengalami kerusakan namun masih sempat memberi kesempatan pada penghuninya untuk menyelamatkan diri.

Dalam mengantisipasi bahaya gempa, pemerintah Indonesia telah mempunyai standar perencanaan bangunan tahan gempa yakni SNI-03-1726-2002, namun setelah peraturan ini keluar telah tercatat bencana gempa yang begitu besar dan

banyak memakan korban jiwa dan harta benda, seperti di Gempa Aceh tahun 2004 ($M_w = 9,2$), Gempa Nias tahun 2005 ($M_w = 8,7$), Gempa Yogya tahun 2006 ($M_w = 6,3$), dan gempa Padang tahun 2009 ($M_w = 7,6$). Salah satu contoh kerusakan akibat gempa di wilayah Sulawesi Tengah adalah yang terjadi di Bungku pasca gempa 16 April 2012 dengan kekuatan gempa sebesar 5,7 SR dengan kedalaman pusat gempa 10 km. Gempa yang terjadi mengakibatkan kerusakan pada salah satu gedung pemerintahan yaitu kantor DPRD Kabupaten Morowali yang berlokasi di Bungku Tengah, dan sekarang kantor tersebut tidak difungsikan akibat kerusakan elemen non struktur dan struktur kantor tersebut. Melihat hal itu pemerintah Indonesia merevisi kembali peraturan SNI-03-1726 tahun 2002 menjadi SNI-03-1726 tahun 2010.

b. Metode Evaluasi

Ada beberapa metode evaluasi yang dapat digunakan pada studi ini antara lain:

1). Metode Perbandingan Kapasitas dan Kebutuhan Usulan Brundson dan Priestley

Evaluasi dengan metode ini bertujuan untuk mengetahui kegagalan lentur atau kegagalan geser dengan mencari perbandingan kapasitas/kebutuhan pada batang.

2). Metode *Static Force-Based* Usulan Park

Adapun langkah – langkah evaluasi ini adalah:

- Menentukan kekuatan aktual material beton dan tulangan baja.
- Memperkirakan kekuatan lentur dan geser pada bagian kritis balok, kolom, dan pertemuan balok-kolom dengan asumsi tidak terjadi penurunan pada daerah post elastic selama terjadinya cyclic lateral loading.
- Menentukan mekanisme deformasi post elastic portal yang terjadinya selama bekerjanya beban statik dan besarnya kapasitas gaya ultimit pada portal (V_u).
- Memperkirakan koefisien gempa (C).
- Memperkirakan waktu getar alami dari struktur dalam keadaan elastik, (T).
- Memperkirakan faktor daktilitas struktur dengan menggunakan spektrum percepatan inelastik gempa yang merupakan fungsi C_d dan T .
- Memperkirakan apakah sendi plastis memiliki daktilitas yang cukup terhadap daktilitas struktur yang dituntut.
- Memperkirakan penurunan geser pada elemen struktur dan beam column joint selama cyclic deformation untuk didasarkan pada faktor

kurvatur daktilitas u/y yang tersedia dalam sendi plastis.

- Memperkirakan simpangan antar tingkat apakah dapat ditoleransi atau tidak.

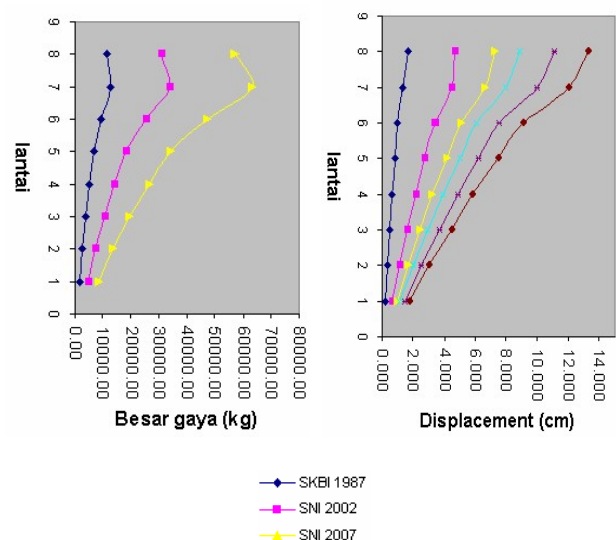
3). Metode Evaluasi Alternatif yang diusulkan oleh Takim Andriano, dkk

Adapun langkah – langkah dari metode ini adalah sebagai berikut:

- Data Fisik Bangunan
- f_c' (Kuat tekan beton) dan f_y (Tegangan leleh) dengan Tes Laboratorium.
- Analisa Beban Statik Ekuivalen
- Analisa Struktur Elastis Portal
- Analisa Penampang
- Pengecekan simpangan
- Ratio Kapasitas dan Demand C/D lentur dan C/D geser.
- Menentukan Rasio Kekuatan Lentur (S_r)
- Perbaikan
- Menentukan Gaya Gempa Lateral (V_y)
- Data Fisik Gedung Setelah Perbaikan
- Waktu Getar Alami
- Pengecekan sendi plastis memiliki daktilitas yang cukup (u/y Tersedia)
- Faktor kurvatur daktilitas (u/y) Dituntut.

c. Kajian Struktur Bangunan di Kota Medan terhadap Gaya Gempa

Dalam pidato ilmiah dari Johannes Tarigan dari USU, dibandingkan hasil analisis struktur dengan menggunakan 3 beban gempa yang berbeda, hasilnya seperti diagram berikut



Gambar 1. Diagram perbandingan perpindahan lantai bangunan akibat gempa

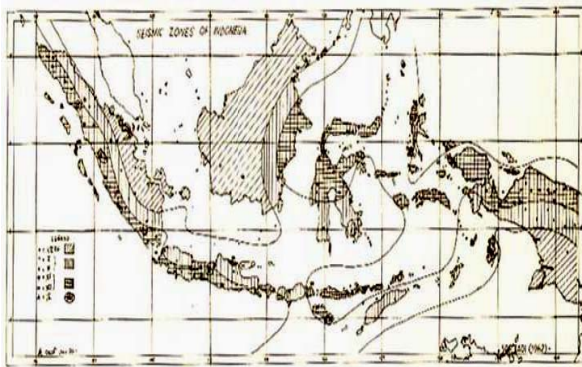
Tabel 1. Perpindahan Lantai Atas terhadap SKBI 1987, SNI 1726 2002 dan Peta Gempa 2007

Perpindahan Lantai Atas	SKBI 1987	SNI 1726 2002	Peta Gempa 2007
	1,5 cm	6 cm	9 cm

d. Perkembangan Peraturan Gempa di Indonesia

1). Peraturan muatan Indonesia 1970, NI-18

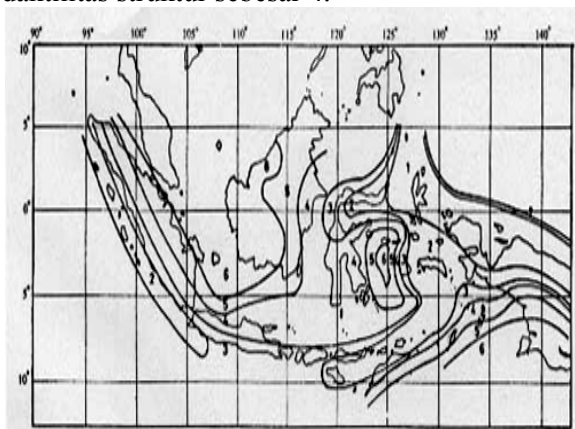
Peraturan mengenai beban gempa terdapat dalam bab V. Peta gempa yang terdapat dalam PMI 1970 hanya membagi wilayah Indonesia menjadi tiga daerah gempa (Gambar 2).



Gambar 2. Peta Gempa menurut PMI 1970

2). Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung, 1983

Peta gempa diubah menjadi enam daerah gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Peraturan ini mendasarkan respons spektra yang digunakan kepada gempa dengan periode ulang 200 tahun (kemungkinan terjadi 10% dalam jangka waktu kira-kira 20 tahun), setelah dibagi dengan daktilitas struktur sebesar 4.

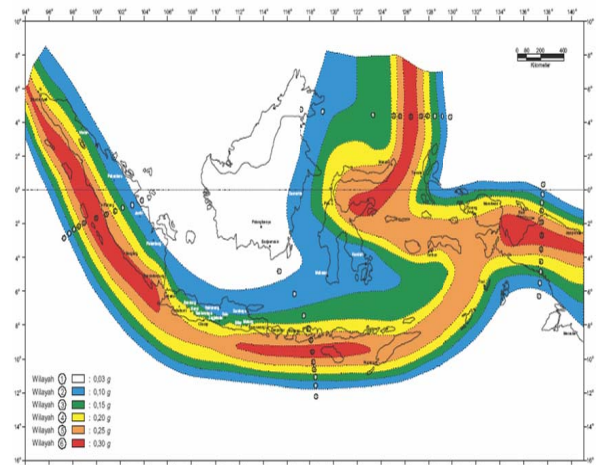


Gambar 3. Peta Gempa menurut PPTGIUG

3). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk gedung, SNI 03- 1726-2002

Peraturan ini memperbarui peta gempa menjadi seperti terlihat di Gambar 4, tetapi tetap

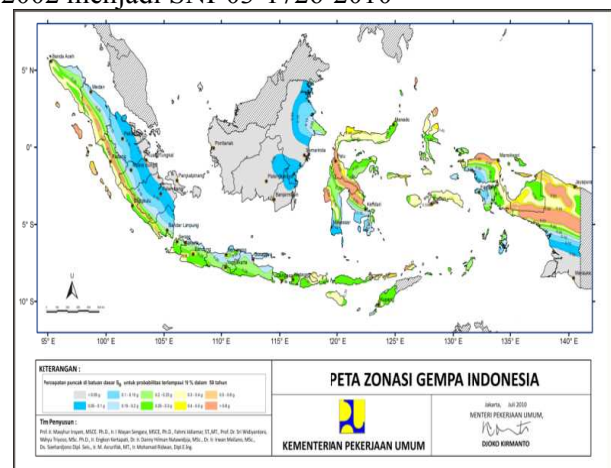
menggunakan enam daerah gempa. Respons spektra yang digunakan adalah respons spektra gempa yang kemungkinan terjadinya 10% dalam kurun waktu 50 tahun, yaitu gempa dengan periode ulang 500 tahun (disebut gempa rencana), bukan respons spektra yang telah direduksi seperti digunakan dalam PPTGIUG dan peraturan sebelumnya [8,10,11]



Gambar 4. Peta Gempa Indonesia SNI 03-1726-200

e. Pengenalan peta gempa tahun 2010

Mencermati 7 kejadian gempa yang terjadi yang melebihi magnitude gempa perkiraan tahun 2002 (Gempa Aceh, Nias, Yogya dan Padang) maka pada tanggal 30 November 2009 pemerintah membentuk suatu tim yang dikordinir oleh Departemen Pekerjaan Umum dan dibantu oleh beberapa instansi pemerintah, universitas dan asosiasi profesi untuk segera merevisi SNI-03-1726-2002 menjadi SNI-03-1726-2010



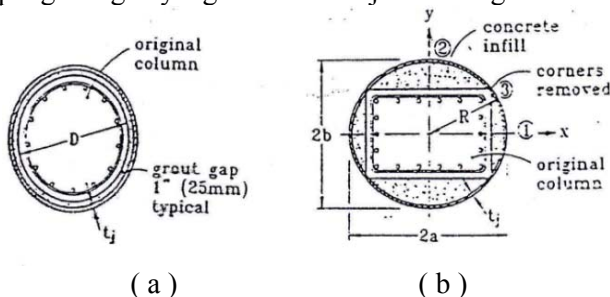
Gambar 5. Peta *Hazard* Gempa Indonesia di Batuan Dasar pada Kondisi Spektrum $T = 0.1$ detik untuk 10% PE 50 Tahun (Sumber: Buku Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Gempa Tahun 2010)

f. Metode Analisa Beban Gempa

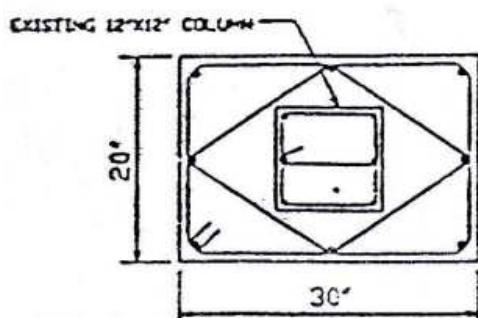
Analisis beban gempa untuk gedung dilakukan dengan beberapa metode berikut: Analisis dinamik (*dynamic analysis*), Analisis beban statik ekuivalen (*load static equivalent analysis*) dan Analisis beban statik dorong (*pushover analysis*) merupakan penyederhanaan analisis dinamik struktur dengan menggunakan gaya lateral yang mirip dengan analisis statik ekuivalen.

g. Jenis Kerusakan pada Beton dan Jenis Material dan Metode Perbaikannya

Retak (*cracks*) adalah pecah pada beton dalam garis-garis yang relatif panjang dan sempit. *Voids* adalah lubang-lubang yang relatif dalam dan lebar pada beton. *Scaling/spalling/erosion* adalah kelupasan dangkal pada permukaan. Material untuk perbaikan beton berupa mortar dan *grout* serta beton yang konvensional sampai kepada material dengan sifat-sifat yang diperbaiki sesuai kebutuhan dengan menggunakan *admixtures*. Mekanisme perbaikan penyelubungan bertujuan untuk meningkatkan daktilitas dan kekuatan dihasilkan dari pengaruh pengekanan yang diberikan baja selubung.



Gambar 6. Metode penyelubungan baja (*steel jacketing*) untuk (a) Kolom bundar dan (b) Kolom persegi (Triwiyono, 2000).



Gambar 7. Penyelubungan beton (Soenaryo Arifi & Rekan, 2009).

Penggunaan epoksi dalam metode perbaikan struktur harus mengetahui karakteristik epoksi tersebut khususnya dalam hal kekentalan dan tingkat kebasahan (*wetability*)

METODE PENELITIAN

a. Metode Evaluasi yang dilakukan

Sebagai studi kasus dalam metode evaluasi yang akan dilakukan pada Gedung Kantor DPRD Morowali yang merupakan gedung beton bertulang bertingkat 3, berlandaskan teori metode Takim Andriano dkk, yang pada awalnya diawali dengan pengumpulan data, mengansumsi atau menganalisis nilai kuat tekan beton (f_c') dan nilai tegangan leleh besi (f_y), analisis penampang untuk mengetahui nilai M_r , ϕP_n , ϕV_n , baik kolom maupun balok.

Setelah nilai dari analisis penampang diperoleh maka selanjutnya dilakukan analisis struktur gedung kantor DPRD Morowali dengan memberikan 2 nilai beban gempa yang berbeda yakni beban gempa tahun 2002 dan nilai beban gempa tahun 2010. Setelah itu hasil Analisis yang dilakukan dengan memasukkan beban gempa yang berbeda disinkronisasikan dengan hasil analisis penampang yang pada akhirnya diketahuinya kapasitas (C) dan kebutuhan (D) penampang.

Hal ini untuk dapat memberikan gambaran terhadap perbaikan yang mungkin dapat dilakukan terhadap gedung kantor DPRD Morowali baik dengan memungkinkannya secara teknis dilakukan atau sesuai dengan ketersediaannya bahan di lingkungan tersebut.

b. Langkah – langkah Metode yang dilakukan

1). Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan sebagai tahap awal guna untuk mempermudah analisis atau tahap – tahap selanjutnya. Data yang diperlukan yakni gambar struktur gedung DPRD Morowali, gambar potongan, gambar detail elemen struktur, detail penulangan, data tanah lokasi atau sekitar DPRD Morowali serta kondisi fisik dari gedung pada saat ini.

2). Menentukan nilai kuat tekan beton (f_c') dan nilai tegangan leleh besi (f_y)

Dalam menentukan nilai f_c' dan f_y dapat dilakukan dengan mengansumsi nilai tersebut secara proporsional maksudnya mengambil nilai tersebut sesuai nilai yang sering dipakai dalam perencanaan gedung. Alternatif yang lain adalah dengan menghitung sendiri nilai f_c' dan f_y tersebut, untuk mencari nilai f_c' dapat dilakukan dengan uji *Hamer Test* dan untuk mencari nilai f_y dapat dilakukan dengan Uji Tarik.

3). Menganalisis penampang

Analisis penampang dilakukan untuk mengetahui kapasitas (C) elemen struktur yang ada. Dalam analisis penampang, penampang yang dianalisis

yakni salah satu atau beberapa penampang element struktur kolom dan balok yang mewakili keseluruhannya. Analisis penampang dilakukan dengan menggunakan program Beton 2000 atau dapat dilakukan dengan cara manual menggunakan rumus – rumus persamaan baku struktur beton bertulang 1.

$$M_R = \phi M_n \quad (1)$$

$$\phi P_n = \phi P_{n \text{ maks}} \quad (2)$$

$$\phi V_n = V_c + V_s. \quad (3)$$

Perlu dikoreksi kembali nilai M_R dikarenakan elemen struktur balok telah mengalami retakan akibat gempa begitu pun dengan kolom itu sendiri.

Tabel 2. Momen inersia terfaktor

Elemen struktur	Inersia efektif
Balok	0,35 I_g
Kolom	0,70 I_g
Dinding : tidak retak	0,70 I_g
: retak	0,35 I_g
Pelat datar dan lantai dasar	0,25 I_g
Luas	1,0 I_g

(Sumber : SNI – 03-2487-2002)

- 4). Analisa struktur berdasarkan peta gempa tahun 2010

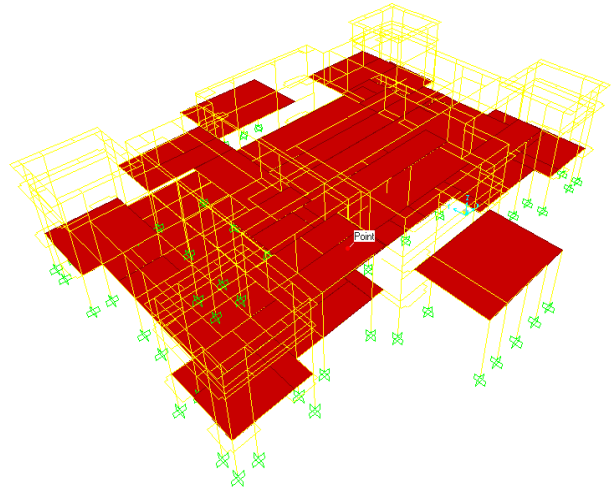
Analisa struktur dilakukan untuk memperoleh kebutuhan (D) tiap – tiap elemen struktur, dengan menghitung kembali struktur dengan memasukkan beban gempa sesuai peta gempa tahun 2010. Hasil dari analisis ini memperlihatkan stabilitas struktur setelah diberikan kombinasi beban dengan beban gempa sesuai peta gempa tahun 2010.

- 5). Pengecekan kapasitas dan kebutuhan (C & D)
Dilakukan pengecekan C & D apakah kapasitas (C) penampang telah terlampaui oleh kebutuhan (D) dengan melewati analisis–analisis sebelumnya. Selisih antara kapasitas penampang dan kebutuhan penampang (C–D) merupakan nilai suatu perbaikan yang akan dilakukan terhadap elemen struktur guna mencapai kebutuhan (D). Yang mana kapasitas (C) penampang yang ada telah mengalami reduksi akibat gempa yang terjadi terhadap struktur, dan kebutuhan (D) penampang adalah nilai analisa struktur dengan menggunakan beban gempa tahun 2010 yang akan dicapai.

- 6). Perbaikan (*Retrofitting*) dan Meruntuhkan (*Demolishing*)

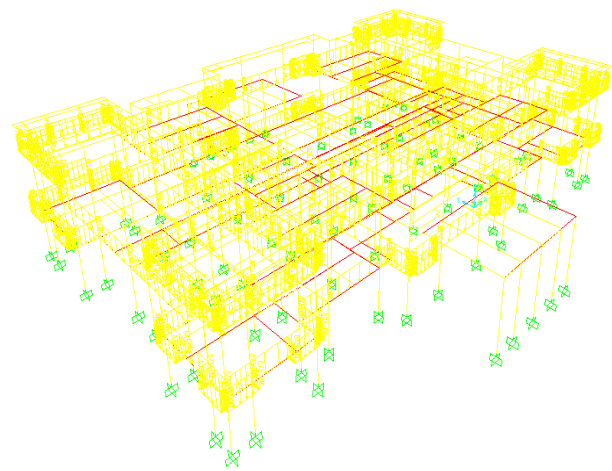
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Evaluasi pada struktur kolom dan balok Pembebanan pada plat lantai



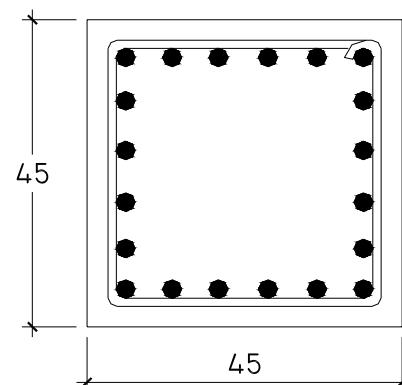
Gambar 8. Gambar Plat lantai

Pembebanan Pada Balok



Gambar 9. Pembebanan pada balok

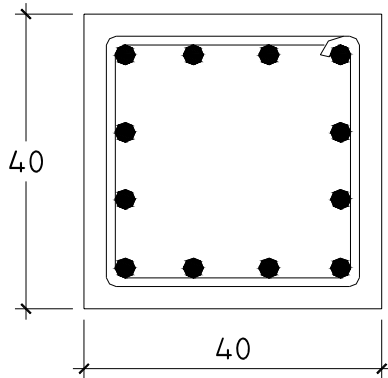
b. Menghitung kapasitas kolom Untuk Lantai 1.



Gambar 10. Sketsa Penampang kolom K1

$$\begin{aligned}\Phi Pn.max &= 0,80 (\phi (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st})) \\ &= 0,80 (0,65 (0,85 \times 20,75 \times (202500 - 4019,2) + 400 \times 4019,2)) \\ &= 2656,360 \text{ KN.}\end{aligned}$$

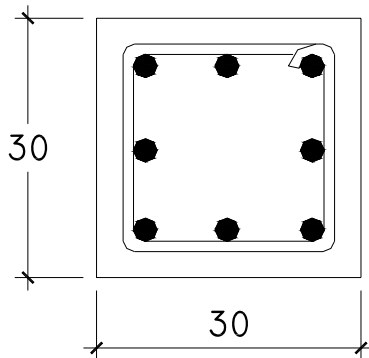
Untuk lantai 2



Gambar 11. Sketsa Penampang kolom K3

$$\begin{aligned}\Phi Pn.max &= 0,80 (\phi (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st})) \\ &= 0,80 (0,65 (0,85 \times 20,75 \times (160000 - 2411,52) + 400 \times 2411,52)) \\ &= 1946,919 \text{ kN.}\end{aligned}$$

Untuk Lantai 3.

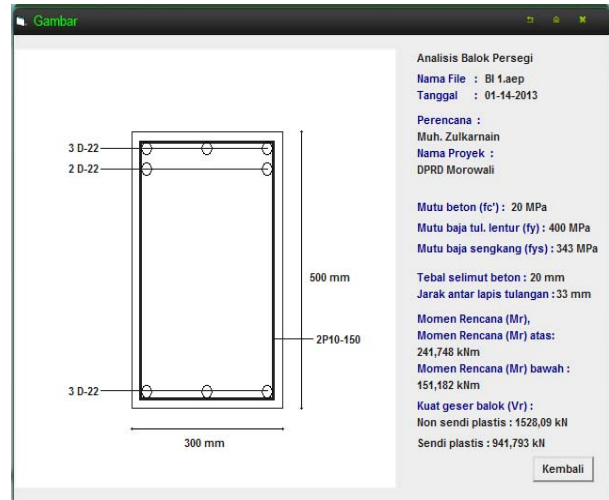


Gambar 12. Sketsa Penampang kolom K5

$$\begin{aligned}\Phi Pn.max &= 0,80 (\phi (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st})) \\ &= 0,80 (0,65 (0,85 \times 20,75 \times (90000 - 1607,68) + 400 \times 1607,68)) \\ &= 1145,088 \text{ kN.}\end{aligned}$$

c. Menghitung kapasitas balok dengan menggunakan aplikasi Beton2000

Hasil Analisis



Gambar 13 . Hasil analisis BI 1

Adapun hasil analisis sebagai berikut:

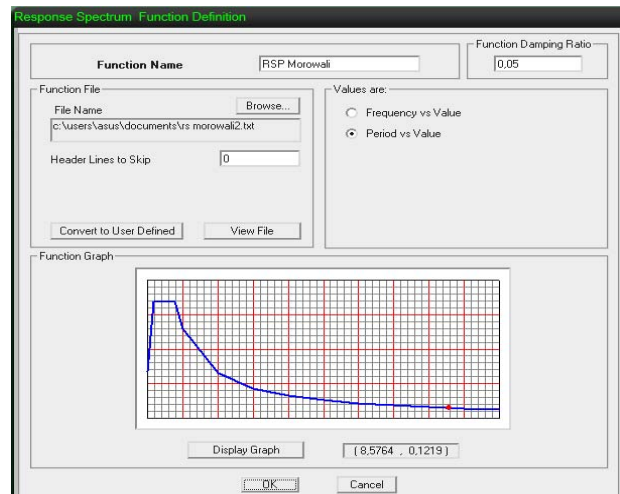
Mr atas : 241,748 kNm.

Mr bawah : 151,182 kNm.

Vr : 1528,09 kN.

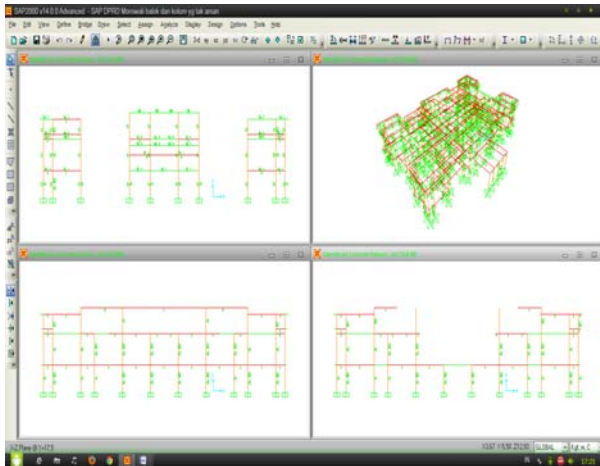
d. Analisis gedung dengan menggunakan respon spektrum berdasarkan Peta gempa tahun 2010

Setelah dilakukan evaluasi element struktur dan balok, maka tahap selanjutnya adalah menganalisis seluruh komponen struktur gedung dengan menginput nilai respon spektrum ke pembebanan gedung tersebut.



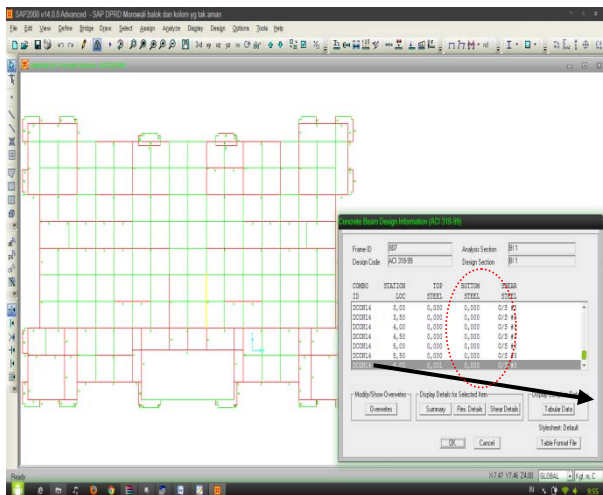
Gambar 14. Grafik Respon Spektrum yang diinput ke SAP2000

Dari hasil analisis yang dilakukan, diperoleh kegagalan struktur berjumlah 478 buah element struktur kolom dan balok yang mengalami *failure* (kegagalan).



Gambar 15. Failure Struktur

Jenis kegagalan yang terjadi adalah kegagalan geser (*shear*) seperti gambar berikut ini.



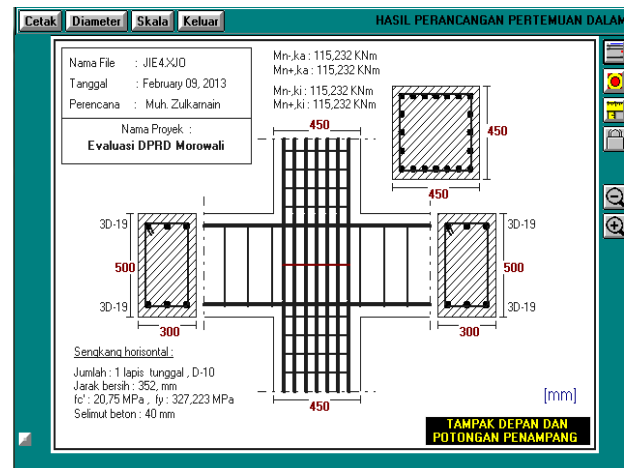
Gambar 16. Kegagalan geser

Setelah diketahuinya kegagalan yang terjadi, secara garis besar bahwa dapat disimpulkan bahwa stabilitas struktur (*Capacity*) yang ada sekarang masih sangat kurang untuk dapat menahan kombinasi beban yang diberikan khususnya dengan beban gempa yang berdasarkan peta gempa tahun 2010. Maka upaya yang dilakukan adalah perkuatan element struktur (*Retrofitting*) dengan cara merubah dimensi balok untuk tercapainya kestabilan yang diinginkan (*Demand*). Perlu diketahui bahwa, analisis yang dilakukan bukan hanya dengan analisis *Respon Spectrum* melainkan dengan analisis *Statik Ekuivalen*.

e. Evaluasi joint dengan menggunakan Beton2000

Evaluasi pada joint dilakukan sebagai syarat struktur bangunan dengan menggunakan sistem Struktur Beton Bertulang Penahan Momen Khusus. Evaluasi dilakukan pada titik-titik yang dianggap kritis beban pada join eksterior dan interior. Untuk

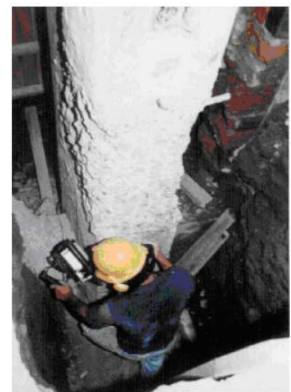
Joint interior (J , 4) elev. +4.00 m, input data dan hasil analisis pada Beton2000 adalah:



Gambar 17. Penulangan pada joint interior (J , 4)

f. Metode Perkuatan Struktur dengan Metode Concrete Jacketing

Setelah proses evaluasi dilakukan, maka hasil yang diperoleh adalah perubahan dimensi penampang element struktur dalam hal ini balok dan kolom. Maka metode yang memungkinkan untuk dilakukan adalah metode perkuatan dengan *Concrete Jacketing*. Perbaikan struktur beton menggunakan metode penyulubungan beton (*Concrete Jacketing*) ini dilaksanakan dengan menyulubungi struktur asli dengan beton dan menambahkan tulangan longitudinal dan tulangan transversal yang disebar secara merata dalam beton tersebut. Jumlah tulangan longitudinal dan transversal yang diperlukan disesuaikan dengan gaya-gaya yang terjadi pada struktur yang diakibatkan gempa dengan kala ulang gempa yang telah disesuaikan.



Gambar 18. Perkuatan dengan metode Concrete Jacketing (sumber: Sunaryo, dkk, 2009)

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil evaluasi gedung kantor DPRD Morowali dengan menggunakan peta gempa tahun

2010 menghasilkan 478 elemen struktur yang mengalami kegagalan struktur dan yang terjadi kegagalan geser. Ini membuktikan bahwa kombinasi beban gempa berdasarkan peta gempa tahun 2010 lebih besar dibandingkan peta gempa tahun 2002 terlihat dari hasil pemeriksaan struktur *failure* tersebut.

Metode-metode yang dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk melakukan perbaikan atau perkuatan yakni sebagai berikut :

- a. Penyelubungan (*jacketing*) dengan bahan baja, baja spiral, beton atau komposit.
- b. Penambahan tulangan luar dengan bahan *steel strap/plate*, tulangan sengkang.
- c. Penulangan luar berupa plat baja
- d. *Injeksi epoksi*
- e. Metode perkuatan dengan menggunakan *Fiber Reinforced Polymer*

Dengan dikeluarkannya peta gempa tahun 2010 sebaiknya, prasarana publik dapat dilakukan evaluasi kembali mengenai keandalan struktur yang ada, guna sebagai tindakan *representatif* untuk meminimalisir dampak kerugian yang akan terjadi jika terjadinya gempa khususnya di daerah yang mendapat peningkatan zona kegempaan.

- a. Untuk setiap perencanaan struktur (struktur gedung), sebaiknya dalam analisis strukturnya menggunakan beban gempa sesuai dengan peta gempa tahun 2010.
- b. Pemilihan metode perbaikan atau perkuatan sebaiknya dilakukan dengan memilih metode perkuatan yang dapat dilakukan seefisien dan seefektif mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriano, T., dkk., *Studi tentang Prosedur Pemeriksaan Ketahanan Struktur Rangka Beton Bertulang terhadap Beban Gempa. Analisis and Design of Structures and Components* V.5, 71-81.
- Brundson and Prestley, 1997, *Capacity and Demand Ratio for Evaluation Postquake RC Building*.
- Park, at all., 1999, *Static Force Method for Evaluation Postquake RC Building*.
- Anonim. 1970. Peraturan Muatan Indonesia, NI-18 SKSNI T-13-03-1983, 1983, Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung
- SNI-03-1726-2002, 2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*.
- SNI-03-1726-2010, 2010, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*.

Soenaryo Arifi dan Rekan, 2009, *Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan Concrete Jacketing Dengan Persentase Beban Runtuh yang Bervariasi*. Rekayasa Sipil Volume 3. No.2 – ISSN 1978-5658.

Tarigan, J., 2007, *Kajian Struktur Bangunan di Kota Medan Terhadap Gaya Gempa di Masa yang Akan Datang*. Medan: Universitas Sumatera Utara

Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010, *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Tahun 2010*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum (PU).

Triwiyono, A., dan Wobowo, W. *Perbaikan Struktur Beton Pasca Gempa*. UGM