

ANALISIS PERKUATAN STRUKTUR PERKUATAN GEDUNG FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GALUH CIAMIS DENGAN ANALISIS PUSHOVER

STRENGTH ANALYSIS OF RETROFITTING BUILDING OF ENGINEERING
FACULTY OF GALUH UNIVERSITY OF CIAMIS THROUGH PUSHOVER
ANALYSIS

Novi Asniar, ST., MT.*¹

*Email: e-mail.penulis1@unsoed.ac.id

¹ Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya

Abstrak— Gedung Fakultas Teknik Universitas Galuh terletak di Jalan R.E. Martadinata No. 150 Kabupaten Ciamis. Bangunan ini dibangun sekitar tahun 1998 oleh Yayasan Pendidikan Galuh Kabupaten Ciamis. Saat ini bangunan tersebut telah mengalami kerusakan yang cukup parah serta penurunan kualitas material. Perkuatan dan perbaikan diperlukan untuk mengembalikan dan menjamin kekuatan bangunan agar dapat berfungsi secara aman dan nyaman. Perkuatan bangunan dilakukan dengan menggunakan beberapa pilihan alternatif. Pertimbangan utama perkuatan pada sistem struktur adalah kemudahan pengerjaan dan efisiensi biaya.

Tahapan yang ditempuh dalam metode penelitian ini berupa : investigasi lapangan, penilaian tingkat kerusakan bangunan, evaluasi dan penentuan solusi. Evaluasi dilakukan dengan mengadakan kajian secara analisis terhadap kondisi eksisting bangunan dan sistem perkuatan struktur menggunakan program ETABS v.9.7.0. Evaluasi struktur eksisting dilakukan dengan menggunakan analisis pushover. Sistem perkuatan yang dianalisis adalah memperbesar dimensi kolom (jacketing). Hasil evaluasi struktur eksisting dan analisis sistem perkuatan dicek dengan menggunakan kontrol kinerja struktur berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan analisis pushover untuk mengetahui perilaku keruntuhan jika terjadi gempa.

Kata kunci —

Abstract— The building of engineering faculty whing belongs to Galuh University is located at Jalan R.E. Martadinata No. 150 Ciamis. It was built around 1998 by Galuh Education Foundation Ciamis. Nowadays it has suffered severe damage and material degradation. Retrofitting and repairs are necessary to restore and guarantee the strength of the building in order to function safely and comfortably. Retrofitting is done by using some alternative options. The main considerations of retrofitting the structural system are the ease of workmanship and cost efficiency.

The steps taken in this research method are: field investigation, assessment of building's damage level, evaluation and solution determination. The evaluation is done by conducting an analysis on the condition of existing building and retrofitting system using ETABS v.9.7.0. Existing structure evaluation is done through pushover analysis. The analyzed retrofitted system is enlarging the column dimension (jacketing). The result of evaluation of existing structure and retrofitted system analysis is checked by using performance control of structure based on SNI 03-1726-2002 and pushover analysis to know collapse characteristic in case of earthquake.

Keywords -

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bangunan secara alami mengalami penurunan kualitas seiring dengan bertambah usianya, dan ini dapat diartikan dengan berkurangnya tingkat keamanan dan kenyamanan. Derajat penurunan mutu pada bangunan adalah berbeda antara satu bangunan dengan bangunan lainnya. Pertambahan usia bangunan bukan hanya satu-satunya faktor yang menurunkan kualitas bangunan. Tidak jarang dijumpai bahwa bangunan mengalami kerusakan atau tingkat kenyamanan berkurang tidak lama setelah difungsikan. Beberapa faktor yang menimbulkan kerusakan pada bangunan antara lain disebabkan oleh bencana alam (Gempa, angin kencang, tanah longsor, tsunami), kebakaran, kesalahan perencanaan, pelaksanaan atau pengawasan selama proses pembangunan, serta perubahan fungsi dan penggunaan selama masa penggunaan.

Berdasarkan hasil penelitian, kerusakan bangunan lebih banyak diakibatkan kesalahan manusia (human error) dibandingkan dengan pengaruh bencana. Bila terjadi kerusakan, kita dihadapkan pada dua pilihan yaitu apakah bangunan harus dibongkar atau diperbaiki. Perbaikan, merupakan pilihan yang lebih disukai karena memberikan keuntungan ekonomis, dimana gedung dapat digunakan lebih cepat bila dibandingkan dengan cara pembongkaran. Pilihan perbaikan dapat dilakukan secara bertahap atau secara total sesuai dengan tingkat kerusakan.

Bangunan gedung Fakultas Teknik Universitas Galuh Ciamis adalah salah satu bangunan yang telah mengalami kerusakan yang cukup mengkhawatirkan. Kerusakan yang ada berupa retak-retak di beberapa komponen strukturnya, dan secara visual terlihat adanya lendutan balok struktur. Dengan kondisi seperti ini,

perlu dilakukan penilaian kondisi struktur bangunan gedung Fakultas Teknik Universitas Galuh Ciamis guna mengetahui tingkat keamanan dan kenyamanan bangunan tersebut. Jika tidak laik/aman harus dilakukan tindakan rehabilitasi terhadap struktur bangunan agar bangunan tersebut masih bias diteruskan penggunaannya.

Penilaian kondisi struktur dimulai dengan pemeriksaan awal terhadap komponen-komponen struktur yang mengalami kerusakan. Jenis dan tingkat kerusakan tersebut kemudian diklasifikasikan untuk mengetahui penyebab kerusakan tersebut. Selain itu, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kekuatan bahan yang ada saat ini, pengujian ini berupa pengujian yang tidak merusak (*Non-Destructive Test*) dan pengujian yang merusak (*Desturbance Test*). Data kekuatan bahan ini digunakan untuk menganalisis perilaku struktur bangunan dengan menggunakan bantuan program ETABS v.9.7.0. Tahapan-tahapan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur bangunan sesungguhnya, sehingga dapat ditentukan metode perbaikan/perkuatan struktur yang dapat dilakukan.

B. Maksud dan Tujuan

Maksud dari kegiatan ini untuk mengetahui sejauh mana degradasi kinerja struktur gedung Fakultas Teknik Universitas Galuh dengan melakukan pendataan ukuran dan geometri struktur. Selain itu, dilakukan pendataan kekuatan struktur eksisting dengan menggunakan tes yang tidak merusak (*Non-Destructive Test*). Dari hasil pendataan di lapangan kemudian dilakukan analisis perkuatan struktur yang dibutuhkan dengan menggunakan analisis pushover. Analisis perkuatan struktur ini bertujuan agar diketahui perilaku keruntuhannya sehingga dapat dianalisis kekuatannya.

C. Lokasi Kegiatan

Kegiatan ini dilakukan pada struktur Gedung Fakultas Teknik Universitas Galuh yang berlokasi di Jalan R.E. Martadinata No. 150 Ciamis. Gedung Fakultas Teknik UNIGAL ini terdiri dari setengah bagian 2 lantai (sebelah utara) dan setengah bagian lagi 3 lantai (sebelah selatan). Sistem struktur terdiri dari portal beton bertulang dengan rangka atap konstruksi kayu.



Gambar 1. Gedung Fakultas Teknik Universitas Galuh

Kegiatan mengambil objek Gedung Fakultas Teknik dikarenakan terdapat tanda terjadinya penurunan kinerja seperti adanya retak di komponen strukturnya. Struktur Gedung Fakultas Teknik memiliki kelemahan pada desain perencanaan yang tidak berdasarkan peraturan perencanaan gempa yang digunakan dan pelaksanaan pembangunannya. Pada Gedung Fakultas Teknik tidak terdapat dilatasi yang memisahkan bagian yang terdiri dari 2

lantai dengan bagian yang terdiri dari 3 lantai.

II. METODOLOGI

A. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam kegiatan ini berupa data primer hasil pengukuran lapangan, yaitu :

1. Pengamatan secara visual (Visual Check), baik dengan mata telanjang maupun dengan bantuan kamera dan pemeriksaan kerusakannya, khususnya retak-retak. Investigasi cacat struktur yang lain seperti keropos, berlobang, mengelupas dan sebagainya. Kegiatan ini dilakukan terutama terhadap komponen yang berfungsi memikul beban-beban, baik beban vertikal maupun beban horizontal.
2. Pengukuran geometri struktur bangunan dengan menggunakan alat meteran. Kegiatan pengukuran ini berupa pengamatan atas dimensi struktur beton bertulang yang terpasang di lapangan. Berkenaan tidak tersedia gambar kerja di lapangan, maka untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang kondisi eksisting struktur, dilakukan pengukuran langsung di lapangan.
3. Pengukuran defleksi yang terjadi di balok untuk mengetahui kekuatan balok saat ini.
4. Pengujian mutu bahan dengan cara non destructive test. Untuk pengujian beton digunakan alat Schmidt Rebound Hammer.

B. Penentuan Beban Mati, Beban Hidup dan Beban Gempa Nominal

Perhitungan Pembebanan mengacu pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983. Beban mati dan beban hidup akan menentukan beban gravitasi total yang harus dipikul tiap-tiap lantai untuk keperluan analisis struktur. Setelah beban gravitasi total ditentukan,

maka langkah selanjutnya adalah menentukan beban gempa nominal yang akan digunakan pada kombinasi pembebanan dan analisis pushover.

C. Evaluasi Kekuatan Struktur

Berdasarkan bentuknya, bangunan gedung Fakultas Teknik UNIGAL dikategorikan bangunan tidak beraturan, sehingga analisis struktur yang digunakan adalah analisis dinamik respon spektrum. Selain itu dilakukan analisis gempa statik ekuivalen yang kemudian dilanjutkan dengan analisis pushover untuk mengetahui perilaku struktur terhadap keruntuhan.

D. Analisis Perkuatan/Perbaikan Struktur

Perkuatan bangunan gedung terhadap gempa antara lain :







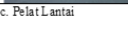
1. Memperbesar dimensi struktur beton (*concrete jacketing*).
2. Dengan sistem isolasi landasan (*base isolation*).
3. Penambahan struktur rangka dengan *bracing*.
4. Penambahan struktur rangka dengan dinding geser (*shear wall*).

Dari alternatif perkuatan struktur yang ada, maka untuk menambah perkuatan struktur bangunan Gedung Fakultas Teknik Universitas Galuh yang sesuai adalah dengan memperbesar dimensi struktur. Kemudian perkuatan struktur tersebut dianalisis pushover kembali untuk mengetahui kinerja struktur terhadap gempa berdasarkan ATC 40.

III. KONDISI EKSISTING STRUKTUR

Berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap bangunan Gedung Fakultas Teknik Universitas Galuh, Kabupaten Ciamis didapatkan data-data sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengamatan Visual di Lapangan

No.	Jenis Bangunan/Elemen Bangunan	Hasil Pengamatan
1.	Blok Bangunan 	Bangunan terdiri atas satu blok dua lantai (sebelah kanan bangunan) dan tiga lantai (sebelah kiri bangunan).
2.	Tampak Bangunan 	Bangunan memperlihatkan tampak bangunan yang masih sempurna (walaupun finishing plesteran dinding luar bangunan pada bagian timur bangunan belum dikerjakan).
3.	Pasangan Dinding 	Pasangan dinding yang terpasang banyak yang sudah retak, baik pasangan dinding pada lantai satu, lantai dua maupun lantai tiga. Untuk pasangan dinding bagian luar yang belum diplester, terlihat pemasangan dinding tidak rapi.
4.	Penutup Lantai 	Seluruh lantai pada lantai sudah ditutupi dengan ubin keramik berwarna putih dengan kondisi masih terpasang dengan sempurna, namun di beberapa tempat sudah ada keramik yang terlepas.
5.	Komponen struktur bangunan: a. Kolom  b. Balok Beton  c. Pelat Lantai 	Terdapat beberapa kolom yang mengalami retak dengan arah horizontal yang cukup lebar, yang mengindikasikan kerusakan struktur. Terutama kolom yang berada di sebelah kiri bangunan (lantai dua). Hampir semua balok mengalami retak vertikal yang diindikasikan sebagai retak lentur yang mengarah pada retak struktural. Karena seluruh pelat lantai sudah tertutup keramik dan plafond, tidak bisa diketahui tingkat kerusakan secara pasti.

A. Data Crack Pattern

Berdasarkan hasil data pengamatan visual di lapangan, dapat dilihat bahwa hampir keseluruhan retak kolom arahnya horisontal dan retak balok arahnya vertikal (bukan retak miring sebagai indikasi kerusakan geser), dengan dan lebar retakan setelah dicek dengan penggaris ada yang kurang dari 1 mm, tetapi ada juga di beberapa tempat yang lebar retakannya melebihi 1 mm bahkan mencapai lebih dari 10 mm (di kolom lantai dua yang terletak di paling selatan bangunan).

B. Geometri Data dan Material Quality

Karena data perencanaan gedung ini tidak tersedia, maka perhitungan kekuatan beton dan dimensi komponen struktur gedung ditinjau berdasarkan kondisi di lapangan. Data kekuatan beton

berdasarkan hasil uji beton terpasang dengan menggunakan *Schmidt Rebound Hammer Test* dapat dilihat pada Lampiran C. Dari data tersebut diperoleh rata-rata kekuatan beton yang terpasang adalah :

- Kuat tekan beton kolom : 24 MPa
 - Kuat tekan beton balok : 14 MPa
 - Kuat tekan beton pelat : 14 MPa
- sedangkan spesifikasi komponen

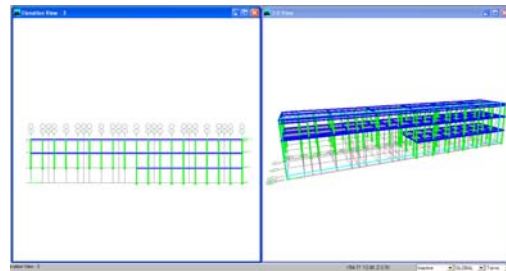
struktur gedung diukur menggunakan meteran dan hasilnya sebagai berikut :

- Dimensi kolom utama : 25 x 25 cm
- Dimensi kolom teras/balkon : 18 x 20 cm
- Dimensi balok tepi : 20 x 30 cm
- Dimensi balok tengah : 25 x 40 cm
- Dimensi balok teras/balkon : 15 x 25 cm
- Tebal pelat lantai 2 dan 3 : 12 cm
(berdasarkan hasil pengukuran di lapangan)
- Dimensi Pondasi Telapak : 120 x 120 cm
- Kedalaman Pondasi Telapak : 150 – 200 cm
(berdasarkan hasil wawancara)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kekuatan Struktur Eksisting dengan Analisis Pushover

Berdasarkan hasil pengukuran struktur eksisting dan data sekunder yang ada, maka dilakukan pemodelan kembali dengan menggunakan *software* ETABS v.9.7.0 Struktur eksisting dimodelkan dalam bentuk struktur 3 dimensi.



Gambar 2. Pemodelan Struktur Existing dengan Software ETABS v.9.7.0.

Beban yang bekerja pada struktur terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban gempa yang digunakan mengacu pada Uniform Building Code 1997 (UBC) yang telah diadaptasi dalam Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002). Perhitungan beban gempa dilakukan dengan bantuan program ETABS.

Input yang diperlukan pada program ETABS untuk perhitungan beban gempa adalah nilai waktu getar bangunan (T), faktor reduksi gempa (R), faktor keutamaan gedung (I), serta nilai koefisien gempa (C_a dan C_v). Nilai T , R , I , C_a dan C_v dapat dengan mudah diperoleh dengan tetap mengacu pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002).

Setelah dilakukan input pembebanan pada model struktur termasuk input beban gempa kemudian dilakukan analisis statik linier dengan program ETABS. Input beban gempa menggunakan arah X negatif dan arah Y negatif yang disesuaikan dengan kondisi kerusakan di lapangan. Nilai beban gempa statik kemudian digunakan sebagai beban lateral pada analisis *pushover*.

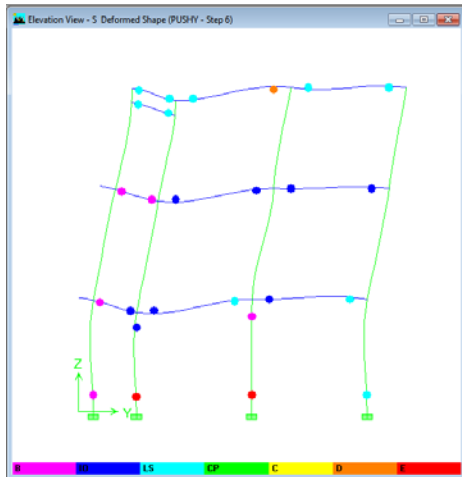
1. Push arah X (portal arah memanjang)

Perilaku keruntuhan struktur eksisting dapat dilihat pada data step pushover struktur eksisting arah X (Gambar 3). Berdasarkan data tersebut target

perpindahan telah dilewati pada step 3 dimana kinerja struktur berada pada batas C-D. berdasarkan hasil analisis pushover pula bahwa pada step 4 sendi plastis telah terjadi pada kolom seperti tampak pada Gambar 4 dan 5.

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-10	10-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0.0000	0.0000	825	1	0	0	0	0	0	0	826
1	-0.0130	-57.5937	616	189	1	0	0	0	0	0	826
2	-0.0550	-225.5584	537	217	60	27	0	0	0	0	826
3	-0.1004	-318.9966	500	236	66	23	0	1	0	0	826
4	-0.1102	-331.0977	500	236	65	23	0	1	0	1	826
5	-0.1102	-324.3366	499	237	65	23	0	0	0	2	826
6	-0.1102	-318.2496	496	233	71	21	0	3	0	2	826
7	-0.1125	-321.1863	496	233	71	21	0	1	2	2	826
8	-0.0554	-84.5528	826	0	0	0	0	0	0	0	826

Gambar 3. Step pushover struktur eksisting arah X



Gambar 4. Kinerja struktur eksisting arah X pada step 4



Gambar 5. Lokasi retak pada struktur lantai 1 dan 2

Sendi plastis pada lokasi 1 di kolom sisi selatan bangunan sudah pada posisi *Collapse*, dimana umumnya sudah terjadi kehancuran. Tingkat kinerja pada sendi plastis yang muncul di lokasi 1 sesuai dengan retak yang terjadi di lapangan.

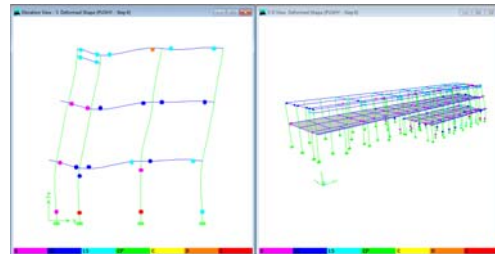
2. Push arah Y (portal arah pendek)

Perilaku keruntuhan struktur eksisting dapat dilihat pada data step pushover struktur eksisting arah Y (Gambar 6).

Berdasarkan data tersebut target perpindahan telah dilewati pada step 5 dimana kinerja struktur berada pada batas >E. berdasarkan hasil analisis pushover pula bahwa pada step 6 sendi plastis telah terjadi pada kolom seperti tampak pada Gambar 7.

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-10	10-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0.0000	0.0000	825	1	0	0	0	0	0	0	826
1	-0.0195	-32.7507	739	87	0	0	0	0	0	0	826
2	-0.0643	-96.3516	715	62	40	9	0	0	0	0	826
3	-0.1126	-156.8748	681	76	38	8	0	0	0	0	826
4	-0.1607	-205.2987	658	76	62	0	1	0	0	0	826
5	-0.1918	-231.7783	619	83	30	0	0	0	1	2	826
6	0.0273	73.5838	826	0	0	0	0	0	0	0	826

Gambar 6. Step pushover struktur eksisting arah Y



Gambar 7. Kinerja struktur eksisting arah Y pada step 6

Metode perkuatan yang dipilih adalah dengan memperbesar dimensi kolom dengan penambahan tulangan dan beton dengan nilai $f'c = 27,5$ MPa. Besar dimensi kolom ditentukan secara bertahap kemudian dianalisis pushover sampai menemukan dimensi yang memenuhi kekuatan struktur yang disyaratkan. Setelah dilakukan beberapa percobaan, maka dimensi kolom setelah perkuatan menjadi 40 x 40 cm.

B. Analisis Perkuatan dengan Memperbesar Dimensi Kolom Menjadi 40x40 cm

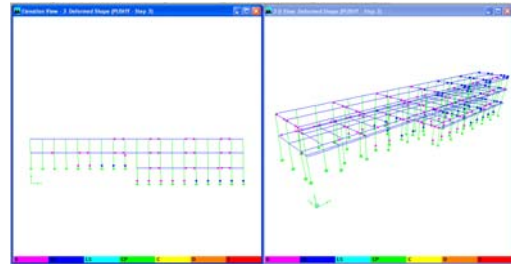
Perkuatan dengan memperbesar dimensi kolom berarti merubah input luasan penampang, mutu beton dan modulus elastisitas beton. Hasil analisis pushovernya adalah sebagai berikut :

1. Push arah X (portal arah memanjang)

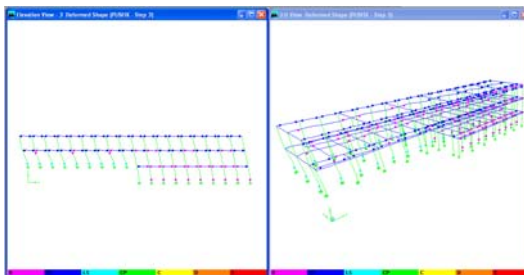
Pushover Case PUSHX

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E
0	0.0000	0.0000	1241	1	0	0	0	0	0
1	-0.0068	-98.2238	894	248	0	0	0	0	0
2	-0.0240	-294.1712	892	127	203	20	0	0	0
3	-0.0691	-497.1772	856	41	246	97	0	2	0
4	-0.1004	-578.5648	852	42	249	97	0	1	1
5	-0.0728	-196.0345	1242	0	0	0	0	0	0

Gambar 8. Step *pushover* Struktur Arah x pada Memperbesar Dimensi Kolom Menjadi 40x40 cm



Gambar 11. Kinerja struktur pada Step 3 Pushover Arah Y pada Memperbesar Dimensi Kolom Menjadi 40x40 cm



Gambar 9. Kinerja struktur pada Step 3 Pushover Arah x pada Memperbesar Dimensi Kolom Menjadi 40x40 cm

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9, kondisi struktur pada step 2 terdapat 20 komponen struktur berada di batas *LS-CP*, dimana Terjadi keruntuhan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak. Kecelakaan akibat kejatuhan material.

2. Push arah Y (portal arah pendek)

Pushover Case PUSHY

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E TOTAL
0	0.0000	0.0000	1241	1	0	0	0	0	0	0 1242
1	-0.0104	-53.8502	1110	131	1	0	0	0	0	0 1242
2	-0.0559	-240.3002	1054	115	72	1	0	0	0	0 1242
3	-0.1029	-361.0307	1000	124	78	40	0	0	0	0 1242
4	-0.1487	-444.3398	999	123	80	39	0	1	0	0 1242
5	-0.1887	-455.8255	989	130	85	36	0	1	0	1 1242
6	-0.1705	-473.3585	968	131	86	55	0	0	1	1 1242
7	-0.1705	-462.3622	964	132	82	61	0	1	1	1 1242
8	-0.1754	-470.3065	964	132	82	60	0	1	2	1 1242
9	-0.0789	-45.0059	1242	0	0	0	0	0	0	0 1242

Gambar 10. Step *Pushover* Struktur Arah Y pada Memperbesar Dimensi Kolom Menjadi 40x40 cm

Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 11, kondisi struktur pada step 3 telah melampaui batas perpindahan dimana terdapat 40 komponen struktur berada di batas *LS-CP*, dimana Terjadi keruntuhan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak. Kecelakaan akibat kejatuhan material.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perilaku struktur existing setelah analisis pushover menunjukkan ketika perpindahan maksimum dilewati terdapat beberapa komponen yang berada pada batas C-D, dimana komponen struktur tersebut telah mencapai batas maksimum gaya geser yang mampu ditahannya.
2. memperbesar dimensi kolom, yaitu dengan memperbesar kolom awal 25 x 25 cm menjadi kolom 40 x 40 cm dan memperbesar kolom 18 x 20 cm menjadi 25 x 30 cm.
3. Dan analisis pushover menunjukkan perilaku keruntuhan telah memenuhi syarat yaitu pada batas *LS-CP* untuk arah x dan arah y.
4. Metode perbesaran kolom umumnya digunakan beton sebagai material untuk memperbesar dimensi struktur; dengan adanya admixture beton generasi baru,

dimungkinkan untuk menghasilkan beton yang dapat memadat sendiri (self compacting concrete).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American concrete Institute (ACI), Control of Deflection in Concrete Structure, ACI 435R-95, Mich, Detroit.
- [2] Anil K. Chopra, Rakesh K. Goel, 2002, A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Demands fo Building, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Page 561–582, John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] Anonim, 2002, Standar Nasional Indonesia Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002, Direktorat Penyelidik Masalah Bangunan, Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- [4] Anonim, 1989, Standar Nasional Indonesia Peraturan Pembebanan Indonesia untuk rumah dan Gedung SNI 03-1727-19, Dewan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [5] Anugrah Pamungkas, Erny Harianti, 2009, Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa (Sesuai dengan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2647-2002, dengan Bantuan Program ETABS Versi 9.0.7), itspress, Surabaya.
- [6] Federal Emergency Management Agency (FEMA),1998, Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings – A Prestandart, FEMA 310.
- [7] Dicky Rezady Munaf, F.T. Siahaan, J.T. Mijarsa, Tony Yoko, J.H. Simanjuntak, H.N. Nurjaman, Sjafei Amri, M Ridwan, Amir Partowiyatmo, Hari M. Santosa, Hartono, Handoko, Dennis Roeland Royce Lee & Jonbi, 2003, Concrete Repair & Maintenance, John Hi-Tech Idetama, Jakarta.
- [8] Edward G. Nawy, Bambang Suryoatmono,1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Eresco, Bandung.