

## Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Berdasarkan SNI 1726 2012 dan SNI 2847 2013

Afif Navir Refani<sup>1</sup>, Harun Alrasyid<sup>2</sup>, Mudji Irmawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya

Email: *navir@ce.its.ac.id*

### Abstract

*This study describes the assessment of 50-year-old reinforced concrete building based on the latest Indonesia building codes. The case study was the Cipta building located in Merdeka Barat, Jakarta. Field survey and test laboratory were conducted to observe the current condition of building structure. One destructive test and three non-destructive tests were performed to obtain the existing concrete compressive strengths and the number of bar that applied in structure elements. Based on actual material strengths, the 3-dimensional structure analysis were applied to evaluate the nominal strength of reinforced concrete elements. In this assessment, the Cipta building was evaluated based on the requirement for special moment resisting of reinforced concrete frame. The observation result showed that the Cipta building was still safe to resist the gravity load. On the other hand, this building structure did not satisfy the requirement for special resisting frame. This research exhibited that the 50-year-old reinforced concrete building was only designed for gravity load.*

*Keywords: building assessment, reinforced concrete, special moment frame, 50-year-old building*

### Abstrak

Penelitian ini membahas penilaian bangunan beton bertulang yang berusia 50 tahun berdasarkan standar perencanaan bangunan terbaru. Studi kasus yang dipakai adalah gedung Cipta yang terletak di Merdeka Barat, Jakarta. Survei lapangan dan uji laboratorium dilakukan untuk mengamati kondisi terkini dari struktur bangunan. Satu tes destruktif dan tiga tes non-destruktif dilakukan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton aktual dan jumlah tulangan yang terpasang dalam elemen struktur. Berdasarkan kekuatan material eksisting, analisis struktur 3 dimensi yang diterapkan untuk mengevaluasi kekuatan nominal elemen beton bertulang. Dalam penilaian ini, gedung Cipta dievaluasi berdasarkan persyaratan struktur rangka pemikul momen khusus. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa bangunan Cipta masih aman untuk menahan beban gravitasi. Disisi lain, struktur bangunan ini tidak memenuhi persyaratan untuk struktur rangka pemikul momen khusus. Penelitian ini menunjukkan bahwa bangunan beton yang berusia 50 tahun diperkuat hanya didesain untuk beban gravitasi.

**Kata kunci:** assesmen bangunan, beton bertulang, Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), bangunan 50 tahun.

### 1. Pendahuluan

Negara Indonesia terletak pada batas empat lempeng tektonik bumi yang sangat aktif yaitu lempeng Eurasia, India, Australia, dan Pasifik. Keempat lempeng ini menjadikan Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai intensitas tinggi terhadap gempa bumi. Gempa bumi dengan intensitas tinggi dapat menyebabkan kerusakan

bangunan yang berat apabila bangunan tersebut tidak didesain dengan standar perencanaan yang ada. Pada tahun 2012 Badan Standar Nasional (BSN) mengeluarkan standar perencanaan gempa terbaru SNI-1726-2012 yang menggantikan standar sebelumnya SNI-1726-2002. Perubahan yang mendasar dalam standar ini adalah penggunaan peta zona gempa baru dan juga termasuk tata cara

perhitungan beban gempa. SNI-1726-2002 direncanakan berdasarkan pada gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun. Asumsi tersebut didasarkan pada probabilitas kejadian 10% dalam kurun waktu 50 tahun. Sedangkan SNI-1726-2012 dibuat berdasarkan periode ulang 2500 tahun yang didasarkan pada probabilitas kejadian 2% dalam kurun waktu 50 tahun. Perbedaan periode ulang ini menyebabkan adanya peningkatan gaya gempa rencana yang harus diberikan pada struktur. Di tahun 2013 BSN juga mengeluarkan standar perencanaan beton bertulang SNI-2847 2013 yang menggantikan standar sebelumnya SNI-2847-2002. Untuk pendetailan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus pada SNI-2847-2013 tidak berbeda dengan SNI-2847-2002.

Pada bangunan gedung beton bertulang yang telah beroperasi selama atau lebih dari 50 tahun, adanya dua standar perencanaan yang baru yaitu SNI-1726-2012 dan SNI-2847-2013 menyebabkan bangunan struktur beton bertulang tersebut perlu dievaluasi kembali keandalannya. Hal ini disebabkan karena perencanaan bangunan pada saat 50 tahun yang lalu belum terdapat teknologi pemetaan gempa yang semutakhir saat ini. Selain itu penelitian mengenai pendetailan beton tahan gempa juga belum banyak. Evaluasi kondisi eksisting bangunan beton bertulang berdasarkan SNI telah dilakukan oleh Christawan et al. (2008); Darmawan et al. (2014); Husin and Darmawan (2013); Madutujuh et al. (2013); Marsiano and Setiawan (2009); Winarsih (2010). Para peneliti tersebut mengevaluasi bangu-

nan berdasarkan material eksisting dan menggunakan SNI 1726 2002 dan SNI 2847 2002. Evaluasi kondisi eksisting bangunan yang dilakukan para peneliti ini dilakukan pada bangunan yang usianya kurang lebih baru 10 – 15 tahun. Adapun penelitian mengenai kondisi eksisting pada gedung dengan usia 50 tahun dan didasarkan SNI gempa dan beton terbaru belum pernah dilakukan. Sehingga diperlukan suatu kajian evaluasi bangunan dengan umur 50 tahun dengan standar perencanaan yang terbaru.

Pada studi kali ini akan dilakukan assesmen terhadap kondisi bangunan gedung beton bertulang yang usianya 50 tahun. Sebagai studi kasus, evaluasi kondisi eksisting bangunan akan dilakukan pada Gedung Cipta yang terletak di Jalan Merdeka Barat Jakarta. Evaluasi struktur bangunan meliputi pengambilan sampling material pada kondisi aktual, analisa struktur dengan beban gempa SNI-1726-2012, evaluasi penampang beton bertulang berdasarkan SNI-2847-2013.

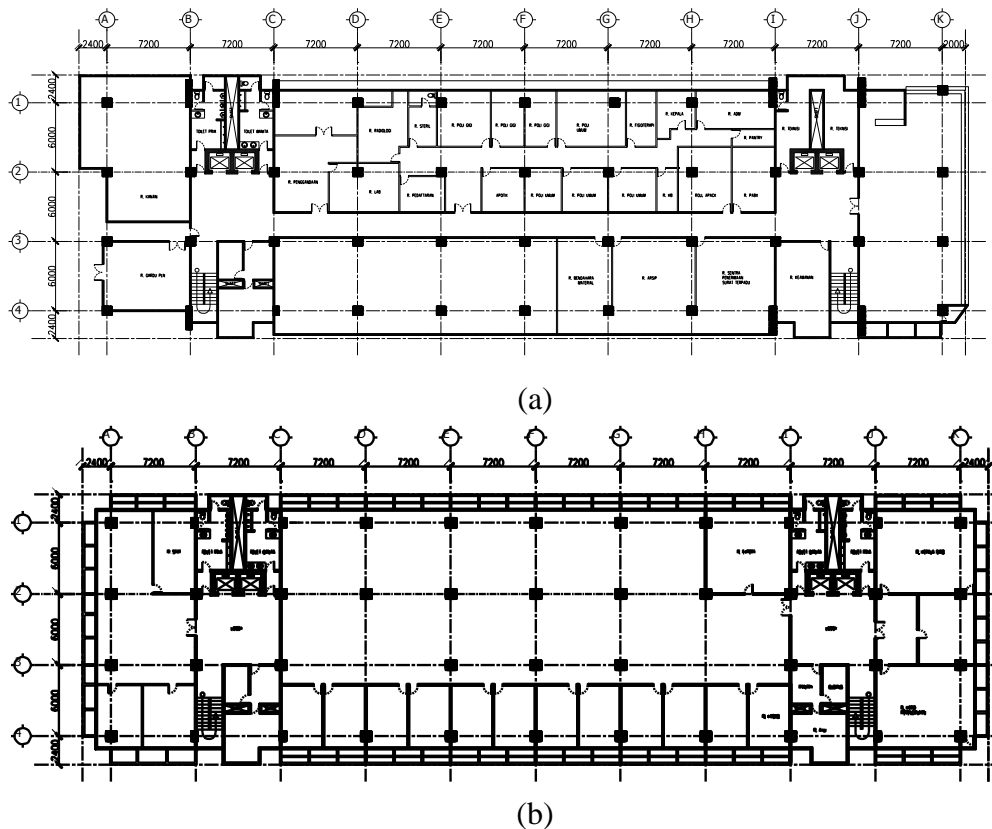
Gedung Cipta merupakan salah satu bangunan yang terletak dalam kompleks perkantoran Kementerian Perhubungan. Bangunan ini dibangun pada tahun 1961 dan beroperasi sejak 1962 mempunyai 7 lantai dan 1 lantai *basement*. Panjang dan lebar bangunan masing – masing adalah 72 m dan 18 m. Luas bangunan per lantai adalah 12.193 m<sup>2</sup> Struktur bangunan adalah struktur beton bertulang dan rangka atap yang terbuat dari baja. Gambar 1 dan 2 menunjukkan tampak dan denah dari Gedung Cipta.

Mutu beton ( $f'_c$ ) yang dipakai adalah 25 MPa. Sedangkan untuk mutu baja tulangan yang dipakai adalah 400 MPa

untuk tulangan ulir dan 240 MPa untuk tulangan polos.



Gambar 1. Tampak Gedung Cipta



Gambar 2. (a) Denah lantai 1 ; (b) Denah lantai 2-7 Gedung Cipta

Secara arsitektural Gedung Cipta masih dalam kondisi yang baik. Seluruh bentuk finishing mulai dari dinding, plafond masih dalam bentuk yang sangat baik. Tidak terjadi kerusakan yang cukup signifikan.

Dalam mengevaluasi Gedung Cipta terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Adapun tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

- Survei pendahuluan

Dalam survei pendahuluan ini akan dikumpulkan data – data atau dokumen teknis mengenai sistem struktur gedung.

## 2. Metodologi

Parameter dan kriteria perencanaan yang telah dipakai dalam perencanaan terdahulu juga dikumpulkan dan dievaluasi.

- Survei kondisi lapangan dan penge-tesan di laboratorium

Survei kondisi lapangan bertujuan untuk mengetahui kondisi material yang aktual. Untuk mengetahui hal tersebut perlu dilakukan pengambilan sampel di lapangan. Ada empat tes yang dilakukan untuk mengetahui kondisi material beton atau besi yaitu tes pengambilan inti beton (ASTM C42/C42M - 13

2013), tes *hammer* (ASTM C805/C805-M - 13a 2013), tes *ultrasonic* (ASTM C597 - 09 2009), dan *test rebar locator*. Tes pengambilan inti beton untuk mengetahui kuat tekan beton aktual pada tiap elemen struktur. Tes *hammer* dan *ultrasonic* ditujukan untuk mengetahui keseragaman dan kepadatan beton pada elemen struktur. Tes *rebar locator* untuk mengetahui jumlah tulangan yang terpasang pada tiap elemen struktur. Gambar 3 menunjukkan proses pengambilan sampling untuk masing – masing tes.



**Gambar 3.** (a) Tes pengambilan inti beton ; (b) Tes *hammer*; (c) Tes *ultrasonic*; (d) Tes *Rebar Locator*

- Analisa Struktur

Setelah survei pengambilan sampel data dan pengujian di laboratorium maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa struktur. Pada analisa struktur menggunakan program SAP 2000. Hasil

gaya – gaya dalam pada analisa struktur akan dipakai pada analisa penampang untuk diketahui apakah kapasitas penampang dengan kondisi material aktual masih dapat menahan gaya – gaya dalam tersebut.

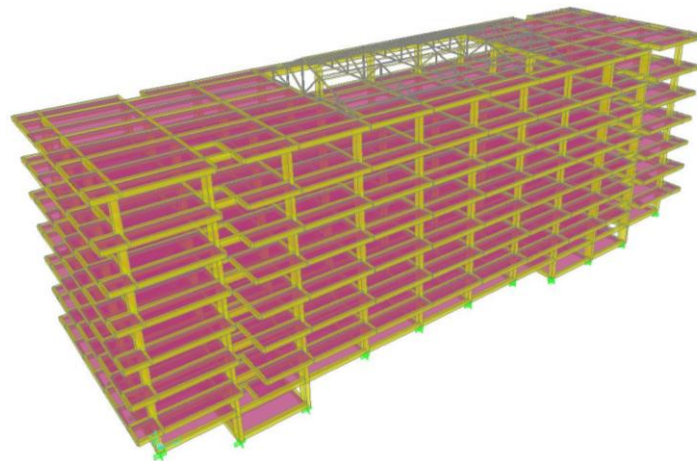
Evaluasi survei pengambilan data di lapangan:

- Pengamatan visual kondisi struktur gedung

Pengamatan visual kondisi elemen struktur gedung dilakukan untuk mengetahui apakah pada elemen tersebut terdapat retak – retak yang membahayakan struktur. Untuk kondisi struktur pada Gedung Cipta pada umumnya masih dalam kondisi cukup baik. Untuk lantai *basement* semua balok, kolom,

dan pelat masih dalam kondisi yang baik. Tidak ditemukan retak – retak yang membahayakan pada seluruh elemen struktur.

- Pengujian kuat tekan inti beton
- Jumlah benda uji ini, beton yang diambil dalam survei lapangan adalah sebanyak 6 buah. Tiap – tiap elemen struktur pelat dan balok diambil masing – masing tiga titik. Tabel 1 menunjukkan hasil evaluasi mutu beton.



**Gambar 4.** Permodelan analisa struktur

**Tabel 1.** Hasil pengujian inti beton

Uraian	Sat	Sample Core Drill						Ket
		Core 1	Core 2	Core 3	Core 4	Core 5	Core 6	
Lokasi Benda Uji		Pelat Lt.4	Balok Lt.2	Pelat Lt. Atap	Balok Lt.7	Balok Lt.3	Pelat Lt.3	
Teg tekan Beton ( $f_{bl}$ )	MPa	22.03	28.42	18.89	18.77	26.77	18.95	
Teg tekan Beton rata-rata 3 benda uji terdahulu ( $f_{br}$ )	MPa			23.17	22.03	21.48	21.50	
Teg tekan Beton rata-rata ( $f_{br}$ )	MPa			21.48				
Teg Karakteristik ( $f_c'$ )	MPa			25.00				
$f_{c0} = 0.85f_c'$	MPa			21.25				
$f_{c1} = 0.75f_c'$	MPa			18.75				
Kontrol $f_{c0}$ terhadap rata - rata	MPa			21.48 > 21.25				Ok
Kontrol $f_{c1}$ terhadap mutu terendah	MPa			18.77 > 18.75				Ok

Dari hasil pengujian silinder beton didapat bahwa benda uji silinder Core 4 mempunyai nilai kuat tekan terendah sebesar 18,77 MPa sedangkan Core 2 merupakan benda uji silinder dengan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 28,42 MPa. Nilai kuat tekan rata benda uji silinder beton dari elemen struktur untuk balok dan pelat adalah sebesar 21,48 MPa. Hasil pengujian beton silinder menunjukkan bahwa kuat tekan beton silinder memenuhi persyaratan mutu aktual sebesar 25 MPa.

- Pengujian kuat tarik baja tulangan

Pengujian kuat tarik tulangan digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja tulangan pada kondisi aktual. Jumlah benda uji tulangan yang dites adalah sebanyak enam buah yang terdiri dari tiga tulangan ulir dan tiga tulangan polos. Dari hasil pengetesan tarik tulangan didapat bahwa rata – rata kuat tarik tulangan ulir adalah 391 MPa. Sedangkan rata – rata kuat tarik tulangan polos adalah 242 MPa.

- Pengujian *Hammer*

Pengujian *Hammer test* dilakukan pada 120 titik dengan rincian sebagai berikut: pelat 48 titik, balok 42 titik, dan kolom 30 titik. Tabel 2 menunjukkan nilai

tegangan yang dihasilkan dari rata – rata nilai *rebound* tes *hammer*. Nilai kuat tegangan tekan beton maksimum diperoleh dari hasil *rebound* rata- rata pada elemen kolom yaitu sebesar 33,78 MPa. Sedangkan untuk nilai tegangan tekan beton minimum didapat dari elemen pelat sebesar 28,41 MPa. Sedangkan untuk nilai rata – rata tegangan tekan diambil dari nilai rata – rata tegangan tekan beton yang paling kecil yaitu sebesar 30,14 MPa. Dari hasil pengetesan *hammer* didapat bahwa kuat tekan beton yang ada masih memenuhi kuat tekan yang disyaratkan yaitu 25 MPa. Hasil pengujian *hammer* ini sesuai dengan hasil pengujian kuat tekan pada inti beton.

- Pengujian Ultrasonik

Pada pengujian *ultrasonic* jumlah sample yang diambil adalah sebanyak 50 titik dengan rincian sebagai berikut: pelat 16 titik, balok 19 titik, dan kolom 15 titik. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian *ultrasonic* pada tiap – tiap elemen struktur. Pada tabel tersebut ditunjukkan bahwa kepadatan beton pada masing - masing elemen struktur masih cukup baik.

**Tabel 2.** Hasil pengujian hammer test

Uraian	$f_c'$ rata – rata (MPa)	$f_c'$ minimum (MPa)	$f_c'$ maximum (MPa)
Nilai tegangan pada struktur pelat	30.14	28.41	31.28
Nilai tegangan pada struktur balok	31.01	29.84	32.38
Nilai tegangan pada struktur kolom	31.77	30.38	33.78
Tegangan karakteristik		25	
Kontrol $f_{c0}$ terhadap rata – rata ( $f_{c0} = 0.85 f_c'$ )		30.14 > 21.25	
Kontrol $f_{c1}$ terhadap mutu terendah ( $f_{c1} = 0.75 f_c'$ )		28.41 > 18.75	

**Tabel 3.** Hasil pengujian tes ultrasonik

No	Uraian	Minimum	Maximum	Rata-rata
1	Pengukuran kepadatan beton pada pelat	2232 $\mu/s$ Cukup	4149 $\mu/s$ Baik	2922 $\mu/s$ Cukup
2	Pengukuran kepadatan beton pada balok	2320 $\mu/s$ cukup	4902 $\mu/s$ baik sekali	3134 $\mu/s$ cukup baik
3	Pengukuran kepadatan beton pada kolom	2309 $\mu/s$ cukup	4831 $\mu/s$ baik sekali	3157 $\mu/s$ cukup Baik

Klasifikasi kecepatan rambatan :  $V < 2130 \mu/s$  Kurang ;  $2130 < V < 3060 \mu/s$  Cukup;  $3060 < V < 3670 \mu/s$  Cukup baik;  $3670 < V < 4570 \mu/s$  Baik;  $V > 4570 \mu/s$  Baik sekali;

● **Pengujian *Rebar locator***

Pengujian *rebar locator* berfungsi untuk mengetahui jumlah tulangan yang berada dalam elemen struktur. Tabel 4 menunjukkan jumlah tulangan pada tiap elemen struktur yang didapat dari pengujian *rebar locator*. Jumlah tulangan pada tiap elemen struktur ini akan dievaluasi berdasarkan mutu material pada kondisi eksisting.

**3. Hasil dan Pembahasan**

Untuk analisa struktur Gedung Cipta dilakukan untuk mengevaluasi kondisi eksisting Gedung Cipta. Perhitungan kekuatan penampang akan dilakukan dengan kekuatan material aktual dan dibandingkan dengan hasil gaya – gaya dalam pada analisa struktur. Mutu beton yang dipakai dalam analisa kali ini adalah 21,48 MPa. Sedangkan mutu tulangan baja yang dipakai adalah 242 MPa untuk tulangan polos dan 391 MPa untuk tulangan ulir. Struktur bangunan Gedung Cipta dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi dengan program bantu SAP 2000.

Permodelan beban yang diberikan meliputi beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin. Beban gempa dimodelkan dengan analisa

respons spectrum. Susunan kombinasi beban mengikuti SNI-2847-2013.

Pada evaluasi kapasitas penampang, stuktur Gedung Cipta diasumsikan sebagai struktur rangka pemikul momen khusus. Sehingga perhitungan analisa kapasitas penampang mengikuti persyaratan dari pasal 21.5 SNI-2847-2013. Tabel 5 menunjukkan analisa penampang pada elemen struktur balok dan kolom. Kuat nominal momen  $M_n$  dihitung berdasarkan ekuivalen *stress block* dari SNI-2847-2013. Perhitungan tersebut menggunakan kekuatan material aktual. Angka rasio lebih dari 1 menunjukkan bahwa kapasitas penampang lebih kecil dari beban yang bekerja. Dari Tabel 5 ditunjukkan bahwa kapasitas nominal lentur balok B1 dan B2 lebih kecil daripada beban yang bekerja. Kombinasi beban yang menyebabkan gaya – gaya dalam ini lebih besar dari kapasitas penampang adalah kombinasi beban yang mengandung beban gempa. Sedangkan untuk beban gravitasi rasio kapasitas lentur masih lebih besar daripada beban bekerja. Hal ini sesuai dengan kondisi di lapangan dimana tidak ditemui retak – retak berlebihan akibat beban gravitasi. Sehingga secara teoritis struktur Gedung Cipta dapat rusak tapi tidak runtuh



ketika beban gempa melanda. Hal ini ditunjukkan bahwa hanya balok B1 dan B2 yang rasio kapasitas lenturnya lebih dari 1. Sedangkan rasio kapasitas lentur dari kolom K1 dan K2 lebih dari 1 menunjukkan bahwa kapasitas lentur kedua kolom lebih besar dari gaya – gaya dalam yang bekerja pada kolom tersebut, terutama beban gempa.  $V_e$  merupakan gaya geser yang bekerja akibat momen  $M_{pr}$ .  $\phi V_n$  merupakan gaya nominal geser yang dihitung dari penjumlahan persamaan (11-4) dan (11-15) dari SNI-2847-2013. Dari Tabel 5 tersebut didapat bahwa kapasitas geser nominal balok Bk1, Bk2 dan kolom K2 kurang dari gaya geser yang disebabkan *probable moment*.  $A_{sh}$  merupakan luas tulangan *confinement* terpasang dengan

**Tabel 4.** Hasil pengujian *rebar locator*

Item	Dimensi (mm)	Tulangan Longitudinal			Tulangan Transversal	
		Lokasi	Tumpuan	Lapangan	Lapangan	Tumpuan
B1 (Balok Induk Melintang) Lantai 1 – 7	350 x 600	Atas Bawah	5 D 16 5 D 16	3 D 16 5 D 16	$\phi 10 - 100$	$\phi 10 - 100$
B2 (Balok Induk Memanjang) Lantai 1 – 7	350 x 600	Atas Bawah	5 D 16 5 D 16	3 D 16 5 D 16	$\phi 10 - 100$	$\phi 10 - 100$
B3 (Balok Anak Memanjang) Lantai 1 – 7	300 x 400	Atas Bawah	4 D 13 4 D 13	3 D 13 4 D 13	$\phi 10 - 100$	$\phi 10 - 100$
B4 (Balok Anak Melintang) Lantai 1 – 7	250 x 400	Atas Bawah	3 D 13 3 D 13	3 D 13 3 D 13	$\phi 10 - 100$	$\phi 10 - 100$
Bk1 (Balok Konsol Melintang) Lantai 1 – 7	350x 600	Atas Bawah	5 D 16 5 D16		$\phi 10 - 100$	$\phi 10 - 100$
Bk2 (Balok Konsol Memanjang) Lantai 1 – 7	350x 600	Atas Bawah	5 D 16 5 D 16		$\phi 10 - 100$	$\phi 10 - 100$
K1 (Kolom Utama) Lantai 1 – 7	600 x 600	20 D 19			$\phi 10 - 100$	
K2 (Kolom Utama) Lantai 1 – 7	400 x 1200	18 D 19			$\phi 10 - 100$	
Kped (Kolom Pedestal) Lantai Atap	300 x 300	8 D16			$\phi 10 - 100$	
Pelat	120	$\phi 10 - 100$				

mutu tulangan aktual sedangkan  $A_{shSNI}$  merupakan luas tulangan *confinement* yang dihitung dengan persamaan (21-4) dan (21-5) dari SNI-2847-2013. Dari perhitungan tersebut didapat bahwa kebutuhan *confinement* pada kolom K1 dan K2 kurang dari yang disyaratkan oleh SNI-2847-2013. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Struktur Gedung Cipta tidak memenuhi persyaratan pendetailan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus.

Bedasarkan hasil pengamatan ini bahwa struktur bangunan yang berusia 50 tahun cenderung didesain untuk menerima beban gravitasi. Adapun diperlukan penelitian lanjutan untuk mengetahui detailing pada struktur bangunan yang berusia lebih dari 50 tahun.



**Tabel 5.** Hasil analisa penampang

Balok	$\phi M_n$ (kNm)	$M_u$ (kNm)	$\frac{M_u}{\phi M_n}$ (4)	$\phi V_n$ (kN)	$V_e$ (6)	$\frac{V_e}{\phi V_n}$ (7)	$\frac{A_{sh}}{A_{shSNI}}$ (8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
B1	180	258	1.43	136	83	0.61	-
B2	180	245	1.36	136	69	0.51	-
B3	60	49	0.82	90	23	0.25	-
B4	45	42	0.93	90	34	0.37	-
Bk1	180	118	0.65	136	138	1.01	-
Bk2	180	118	0.65	136	138	1.01	-
K1	766	366	0.48	595	810	0.73	0.08
K2	476	359	0.75	860	774	1.11	0.04

$\phi M_n$  : Kapasitas Momen suatu penampang;  $M_u$  : Momen Ultimit yang bekerja pada penampang;  $\phi V_n$  : kapasitas geser suatu penampang;  $V_e$  : gaya geser yang bekerja akibat moment  $M_{pr}$ ;  $A_{sh}$  : Luas tulangan confinement yang terpasang;  $A_{shSNI}$  : Luas tulangan confinement berdasarkan SNI 2847 2013.

#### 4. Simpulan

Struktur gedung Cipta dianalisa dan dievaluasi berdasarkan persyaratan SRMPK Beton Bertulang SNI-2847-2013. Dalam analisa struktur kondisi geometris kemiringan struktur juga diikutsertakan. Dari hasil analisa struktur dan penampang maka dapat diambil beberapa hasil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisa struktur yang telah dilakukan didapat bahwa struktur Gedung Cipta masih aman untuk menerima beban gravitasi. Namun tidak memenuhi persyaratan sistem rangka pemikul momen khusus dari SNI-2847-2013 yang digunakan pada daerah dengan resiko gempa cenderung tinggi seperti di Jakarta
2. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa struktur bangunan yang telah berusia 50 tahun cenderung didesain untuk menerima beban gravitasi dan minim memperhitungkan kapasitas gedung dalam menerima beban lateral (gempa).

#### Daftar Pustaka

- ASTM C42/C42M - 13. (2013). *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*. ASTM International. West Conshohocken, Pa.
- ASTM C597 - 09. (2009). *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. ASTM International. West Conshohocken, Pa.
- ASTM C805/C805M - 13a. (2013). *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. ASTM International, West Conshohocken, Pa.
- Christiawan, I., Triwiyono, A., and Christady, H., (2008). Evaluasi Kinerja dan Perkuatan Struktur Gedung Guna Alih Fungsi Bangunan. *Forum Teknik Sipil*. 17(1), 725-738.
- Darmawan, M. S., Bayuaji, R., Husin, N. A., and Nugraha, R. B., (2014). *Case Study of Remai-*

- ning Service Life Assessment of a Cooling Water Intake Concrete Structure in Indonesia. Advances in Civil Engineering*, 2014, 1-16.
- Husin, N. A., and Darmawan, M. S., (2008). Evaluasi Struktur Gedung Bank Papua Cabang Manokwari Pasca Gempa 7 Januari 2008. *Proc., ATPW*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 62-71.
- Madutujuh, N., Prawiranegara, J., Ariadi, and Natalius, D., (2013). Audit Kekuatan Struktur dan Perkuatan Struktur Pasca Gempa. *Proc., HASTAG*.
- Marsiano, and Setiawan, F., (2009). Evaluasi Struktur Gedung Head Office PT. TMMN. *Sainstech*, 19(1), 16-21.
- Setiawan, A. A., (2014). Studi Perbandingan Gaya Geser Dasar Seismik Berdasarkan SNI 03-1726 2002 dan SNI 03-1726 2012 Studi Kasus Struktur Gedung Grand Edge Semarang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan* 16(2), 95-104.
- SNI-1726-2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, Departemen Pemukiman dan Prasanana Wilayah. Bandung.
- SNI-1726-2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012), Badan Standar Nasional
- SNI-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Departemen Pemukiman dan Prasanana Wilayah, Bandung.
- SNI-2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013), Badan Standar Nasional. Jakarta.
- Winarsih, T., (2010). Asesmen Kekuatan Struktur Bangunan Gedung. Master Thesis, Universitas Sebelas Maret. Surakarta.