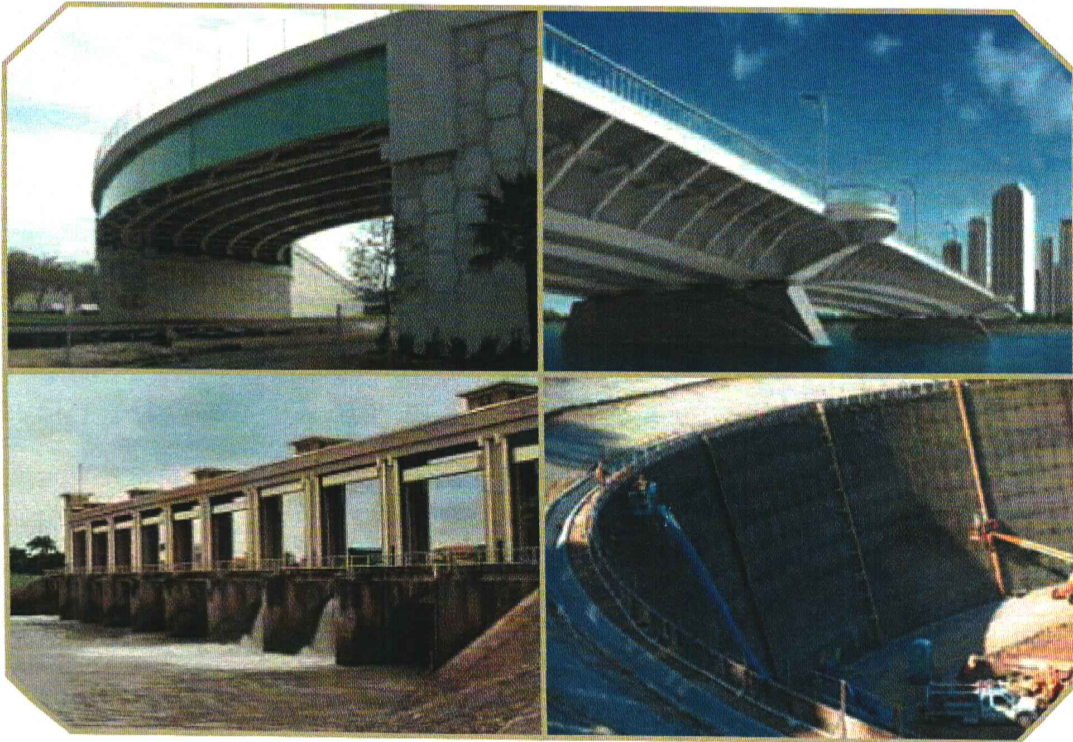


C-Line

Jurnal Teknik Sipil



Diterbitkan oleh :

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Mah. Vahidi II, Dhumi Cragoene Indah, Jagalavena, Jakarta Selatan 12640. Telp. (021) 78880275, Fax : (021) 78880275.

C-Line



Jurnal Teknik Sipil

Pembina :

Dekan FTSP – ISTN
Ketua Program Studi Studi Sipil

Pemimpin Redaksi

Ismono Kusmaryono, ST

Anggota Redaksi :

Ir. Wawan Kuswaya. MT.
Ir. Hj. Arimulyo DU, MSc

Penyunting Pelaksana :

Ir. Rahardjo Samiono, MT
Ir. Nasir Djalili, MT

Mitra Bestari :

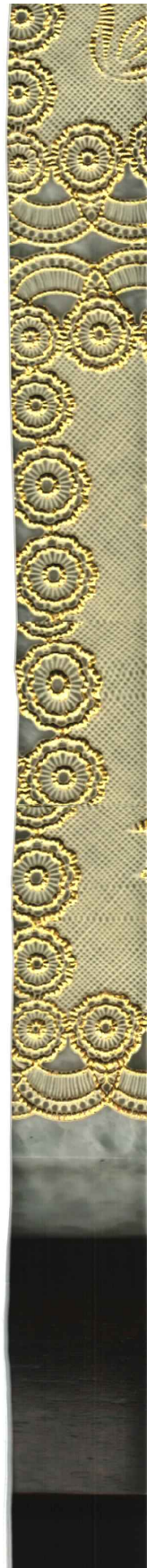
Dr. Ir. Max Patinaya, MT

Tata Usaha/Sekretariat :

Suswanto

Alamat Redaksi :

Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Sains Dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II Jagakarsa, Jakarta – 12640:
Telp : 62(21) 78880275, Fax. 7270092.



C-Line



Jurnal Teknik Sipil

DAFTAR ISI

Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Existing (Studi Kasus : Gedung Parkir Metro Atom – Pasar Baru) <i>Marsiano dan Arip Subani</i>	1-10
Studi Harga Satuan Pekerjaan Pada Proyek Konstruksi (Perbandingan Analisa SNI 2008, BOW & Kontraktor di Jakarta) <i>I Wayan Swastika dan Tumiur Ronauli Sitompul</i>	10-19
Peran Teknik Sipil Dalam Industri Menara <i>Base Transceiver Station</i> dan Perkembangannya Di Indonesia <i>Idrus Muhammad Alatas</i>	20-30
Analisa Biaya, Mutu, Dan Waktu Pada Pelaksanaan Pelat Lantai Metode Konvensional Dengan Metode Precast Half Slab <i>Hotma Sitohang dan Pratiwi Medatama</i>	31-41
Audit Forensik Konstruksi Dan Repair Pada Gedung Akibat Beban <i>Uplift</i> <i>Jonbi dan Anang Kristianto</i>	42-49
Analisis Dampak Lalu Lintas Pembangunan Akademi Perkeretaapian Madiun Jawa Timur <i>Endang Widjajanti</i>	50-62

AUDIT FORENSIK KONSTRUKSI DAN REPAIR PADA GEDUNG AKIBAT BEBAN *UPLIFT*

Jonbi

Staf pengajar
Jurusan Teknik Sipil
Universitas Pancasila
Jln. Srengseng Sawah Jagakarsa
Jakarta, 12640
Telp: (021) 7864730
nanojbg@gmail.com;

Anang Kristianto

Staf pengajar
Fakultas Teknik Sipil
Universitas Kristen Maranatha
Jln. Suria Sumantri no.65 Bandung
Telp: (022) 7226302
anang.kristianto@gmail.com

Abstract

Flooding that occurred in 2013, resulting in an office building and parking lot were damaged on the beams, columns, basement slab and retaining wall. As a result of the damage, caused consternation building owner, so the owner decided to do a forensic audit of construction to determine the feasibility of the building structure. Forensic audit of construction and investigations carried out by checking the existing as-built drawing, visual observation in the field, soil testing investigation, testing the structural elements using ultrasonic pulse velocity test and covermeter. Forensic audit of Construction results indicate that damage to building structures that occur on beams, columns, retaining wall, basement slab is caused by the uplift force. Structural analysis using structural analysis software can indicate the damage and repair as needed. Repair done by coring the basement slab. Coring as many as 5 points with a diameter of 3 inches coring with 40 cm thick. While the repair on other structural elements using FRP materials and epoxy mortar. Analysis of the results of a forensic audit of the construction as a whole, it can be concluded that the building habitable and repair the structural elements show good results.

Keywords: forensic audit of construction, ultrasonic pulse velocity, covermeter, uplift.

PENDAHULUAN

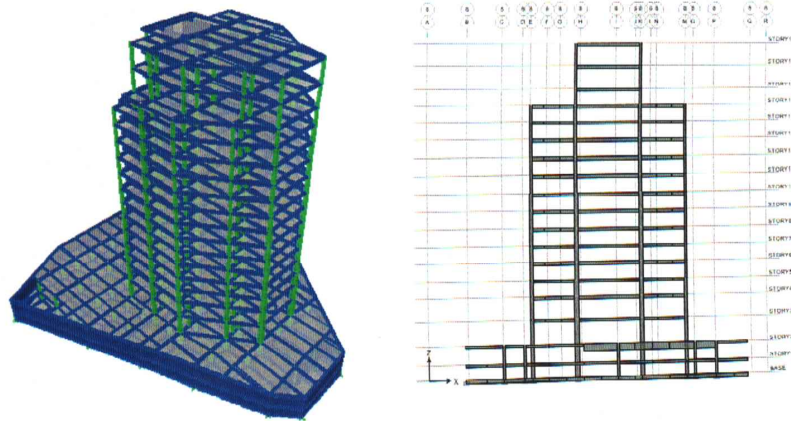
Gedung (nama gedung dirahasiakan), yang terletak di Jakarta Pusat memiliki 15 lantai dengan 2 basement, berfungsi sebagai perkantoran dan parkir. Jenis struktur: Sistem Rangka Pemikul Momen dengan dinding geser termasuk gedung tidak beraturan, gedung tersebut masuk wilayah gempa 4, jenis tanah lunak. Akibat banjir besar yang terjadi tahun 2013, gedung mengalami kerusakan di beberapa bagian antara lain pada basement 1, dan 2. Kerusakan terjadi pada pelat basement, kolom, balok dan retaining wall. Melihat kerusakan yang terjadi maka pemilik gedung merasa perlu melakukan audit forensik konstruksi untuk mengetahui apakah gedung tersebut layak huni dan apakah gedung memerlukan perbaikan. Audit forensik ini dimaksudkan untuk memberikan penjelasan mengenai kondisi eksisting kekuatan struktur secara umum gedung dan secara khusus untuk evaluasi kerusakan pada elemen struktur yang terjadi pada basement 1 dan 2. Berdasarkan hasil investigasi lapangan dan analisis kondisi existing maka dapat diketahui kondisi struktur gedung yang ada dan perkuatan yang diperlukan pada daerah-daerah yang telah mengalami kerusakan struktural.

2.METODOLOGI

Dalam investigasi digunakan data yang bersumber: As-built drawing struktur gedung yang ada dan data penyelidikan tanah (Soil Investigation). Data mutu beton, diameter, konfigurasi tulangan pada balok, slab, dan dinding menggunakan *ultrasonic test*, *covermeter* dan pengamatan visual terhadap elemen struktur. Untuk menganalisis perilaku dan kekuatan struktur gedung tersebut maka dilakukan pemodelan struktur dengan menggunakan software analisis struktur metode elemen hingga. Pemodelan struktur dimaksudkan untuk menganalisis pengaruh berbagai beban secara komprehensif sehingga didapatkan hasil analisis yang cukup lengkap. Untuk mendapatkan hasil analisis pelat lantai yang lebih detail digunakan software, dalam hal ini untuk memodelkan perilaku pelat basement pada daerah tertentu akibat beban gravitasi dan *uplift*. Hasil analisis akan dibandingkan dengan pengamatan visual. Struktur gedung dimodelkan sebagai *frame* untuk rangka balok dan kolom, untuk pelat, dinding

geser dan dinding penahan tanah dimodelkan sebagai *shell*. Reaksi perletakan dimodelkan sebagai perletakan jepit sesuai dengan perilaku jenis fondasi yang digunakan. *Diafragma* diberikan pada setiap lantai untuk memodelkan deformasi yang sama pada satu lantai sebagai akibat adanya pelat lantai yang diasumsikan kaku pada arah bidang pelat seperti pada gambar 1. pemodelan struktur gedung :

Model Struktur Gedung



Gambar 1 Pemodelan Struktur Gedung dan Potongan Struktur Gedung.

Dalam paper ini pembahasan difokuskan pada strategi repair yang perlu dilakukan pada gedung tersebut.

1. HASIL DAN PEMBAHASAN


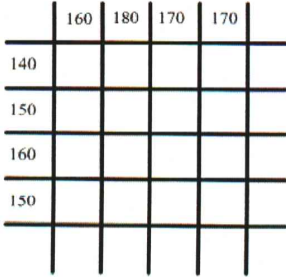

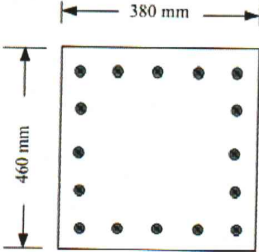
Struktur Gedung

Secara umum gedung telah memenuhi persyaratan kinerja yang diberikan oleh SNI, baik dalam hal kekakuan maupun kekuatan. Dalam hal kekakuan SNI mensyaratkan periode getar, ragam getar (mode shape) serta *drift* (perpindahan antar lantai) pada beban layan maupun beban ultimate. Untuk periode gedung sudah memenuhi kriteria dengan periode dibawah persyaratan maksimum yang diberikan SNI. Hal yang perlu diperhatikan adalah ragam getar pertama yang tidak dominan translasi, kondisi ini perlu diperhatikan karena pada saat terjadi beban gempa gedung mengalami puntir atau torsi sehingga dalam kondisi terjadi Kemungkinan penyebab ragam pertama terjadi torsi adalah posisi dinding geser yang juga merupakan dinding lift terletak tidak di pusat kekakuan denah gedung. Pada area sekitar lift tentunya tidak banyak mengalami puntir, sementara kawasan yang menjauh dari lift akan mengalami deformasi puntir paling besar. Perilaku puntir yang berlebih dapat menyebabkan kerusakan bagian non-struktural seperti *cladding* atau kaca-kaca bagian paling luar dari gedung.

Pelat lantai basement 1 dan 2

Berdasarkan investigasi pada pelat lantai basement 1 tidak ditemukan kerusakan yang berarti, hanya ada satu balok yang mengalami keretakan. Hasil uji bor, dilaporkan muka air tanah berada pada elevasi -2.75 m sementara basement 2 memiliki elevasi -7.1 m dengan kondisi ini maka gaya *uplift* yang bekerja pada lantai basement mencapai kurang lebih 4 ton/m². Beban sebesar itu tidak memungkinkan ditahan oleh pelat basement yang memiliki tebal minimum 200 mm dengan besar tulangan maksimum d10-100. Pengamatan visual memperlihatkan timbulnya retak pada daerah tertentu di lantai basement 2. Retak yang terjadi menimbulkan masuknya air dari tanah kedalam daerah basement.

Tabel 1. Hasil pengamatan visual, covermeter test dan ultrasonic pulse velocity test

Visual	Covermeter Test
 <p>Foto slab basement 2 yang mengalami retak di atas memperlihatkan retak pada pelat lantai serta adanya air tanah yang masuk melalui retakan. Selain itu terlihat pelat lantai mengalami chamber sebesar 100 mm akibat <i>uplift</i> yang cukup besar.</p>	<p>Plat LT. Basement 2 As POC-POD/1 -2PO (Lap)</p>  <p>Ø = 12 mm Cover = 30 - 40 mm</p>
<p>Covermeter test memperlihatkan hasil yang berbeda dengan data as-built drawing, pada as-built drawing tercatat digunakan tulangan D10-100, sementara hasil investigasi memperlihatkan digunakan tulangan D12 dengan spasi minimum 160 mm. Sementara itu berdasarkan <i>ultrasonic pulse velocity test</i> mutu beton tercatat minimum sebesar 265 kg/m², sedangkan pada as-built drawing tercatat digunakan mutu beton untuk semua elemen struktur sebesar 350 kg/m²</p>	
 <p>Foto kolom yang mengalami kerusakan, retak miring pada daerah ujung kolom menunjukkan kegagalan geser pada ujung kolom. Seperti diketahui bahwa pada kedua ujung kolom terdapat gaya geser yang cukup besar</p>	 <p>Main Bar = 16 - ØD28 mm Cover = 40 - 50 mm Stirrups = 10 mm Distance Stirrups = 110-140 mm</p>
<p>Berdasarkan as-built drawing gambar struktur terdapat perbedaan yaitu: pada gambar ukuran kolom adalah 500 x500 sementara hasil investigasi menunjukkan dimensi yang lebih kecil, untuk jumlah tulangan longitudinal tidak terdapat perbedaan kondisi ini mengakibatkan berkurangnya kapasitas aksial dan lentur kolom dari disain rencana. Hasil investigasi menunjukkan tulangan transversal/stirrup memiliki diameter 10 dengan jarak minimum 110, sementara as built drawing menunjukkan diameter 13 mm dengan jarak 100 mm pada tumpuan dan 200 mm pada daerah lapangan. Kondisi eksisting kolom memberikan kapasitas geser yang lebih kecil dari kapasitas rencana. Mutu beton dari hasil investigasi menunjukkan kekuatan paling besar 260,9 kg/cm² sementara pada as-built drawing disebutkan menggunakan beton dengan mutu K-350 atau 350 kg/cm²</p>	


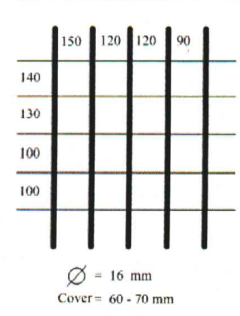


Foto retaining wall yang mengalami retak pada dinding penahan tanah di bagian bawah dinding. Keretakan juga menyebabkan terjadinya infiltrasi air tanah pada dinding

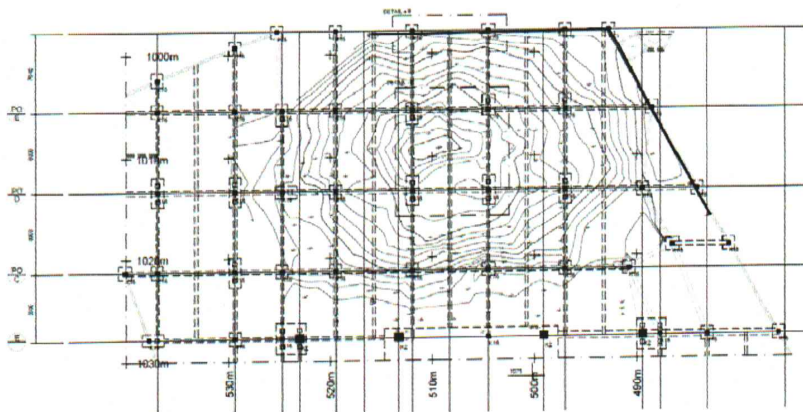
Shear Wall LT. Basement 2 As 3 / PO2



$\varnothing = 16 \text{ mm}$
Cover = 60 - 70 mm

Covermeter test memperlihatkan hasil yang berbeda dengan data *as-built drawing*, pada *as-built drawing* tercatat digunakan tulangan D16-100, sementara hasil investigasi memperlihatkan digunakan tulangan D16 dengan spasi bervariasi dari 90 mm – 150 mm . Sementara itu mutu beton tercatat minimum sebesar 268 kg/m² pada *as-built drawing* tercatat digunakan mutu beton untuk semua elemen struktur sebesar 350 kg/m²

Hal lain adalah terjadi *chamber* sebesar 100 mm pada pelat lantai basement 2 seperti terlihat pada gambar kontur berikut sebagai hasil pengukuran di lapangan.

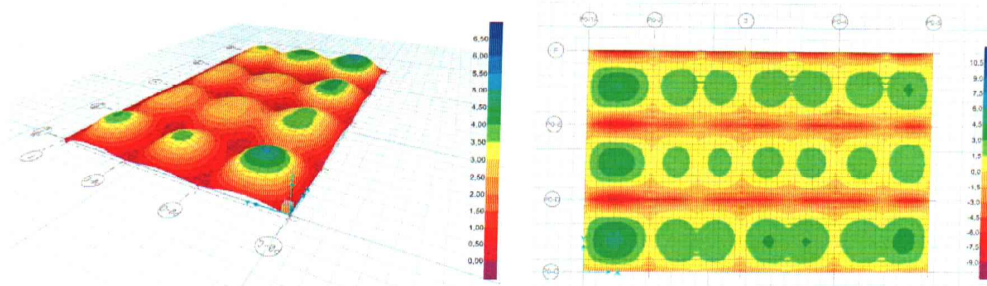


Gambar 2. Kontur Pelat Lantai Basement 2

Chamber yang berlebih pada spot tertentu menunjukkan bahwa gaya uplift tidak sama di segala bidang pelat lantai. Kondisi ini memerlukan penanganan masalah drainase selain analisis kekuatan pelat lantai akibat tekanan air.

Analisis elemen hingga menggunakan software akibat kombinasi beban mati, hidup dan beban uplift yang diasumsikan terjadi merata pada seluruh bidang kontak lantai basement menghasilkan *chamber* maksimum sebesar 6 mm. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa *chamber* maksimum yang terjadi 100 mm. Kondisi ini terjadi karena pelat tidak didesain akibat kemungkinan terjadinya beban uplift yang cukup besar sehingga mengalami *chamber* yang berlebih. Selain itu tekanan air yang tidak merata pada seluruh lantai basement 2 mengakibatkan terjadinya deformasi atau retak yang tidak merata. Gambar 3. menunjukkan *chamber* yang terjadi pada pelat lantai akibat beban uplift

yang merata. Spot yang berwarna hijau menunjukkan chamber maksimum yang terjadi akibat beban uplift.

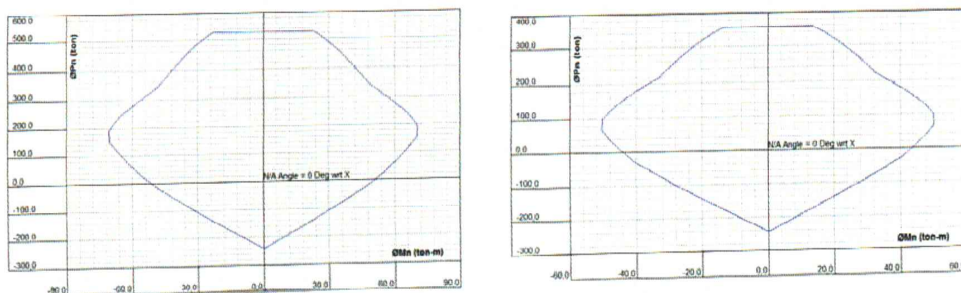


Gambar 3. Chamber Pada Pelat Akibat Kombinasi Beban Gravitasi Dan Uplift Dan Tegangan Yang Terjadi Pada Lapisan Atas Slab.

Selain itu dari hasil analisis tegangan yang terjadi dapat dikatakan bahwa pelat telah mengalami retak akibat terlampauinya kapasitas tarik dari pelat. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis tegangan. Daerah yang berwarna hijau menunjukkan terjadinya tegangan tarik yang berlebih dan melampaui kapasitas tarik dari beton mutu 265 kg/cm². Analisis ini membuktikan terjadinya retak-retak serta masuknya air tanah pada lantai basement 2 pada pengamatan visual sebagai akibat kapasitas tegangan tarik pelat lantai basement yang telah terlampaui. Hasil analisis didapatkan bahwa penulangan tulangan pelat sebesar d12-100 diperlukan untuk daerah tertentu, sementara itu hasil covermeter test memperlihatkan jarak tulangan diameter 12 mm yang lebih renggang daripada hasil analisis. Kondisi ini tentunya memerlukan perkuatan sehingga diharapkan pada saat terjadi beban uplift maka tulangan pelat tidak mengalami deformasi berlebih yang pada akhirnya menjadi retak sebagai akibat terlampauinya kapasitas tarik dari beton.

Kerusakan pada kolom

Investigasi kerusakan pada kolom sesuai dengan hasil pengamatan hanya terjadi pada kolom di lantai basement 2. Pada lantai di atasnya tidak dilaporkan terjadi kegagalan dalam bentuk retak ataupun lainnya. Elemen struktur kolom gedung perkantoran dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu kolom-kolom yang menahan beban dari lantai basement hingga lantai atap dan kolom-kolom yang bekerja menahan beban hanya dari lantai basement hingga lantai dasar. Kolom yang mengalami kerusakan adalah kolom yang hanya menahan beban dari basement hingga ke lantai dasar sehingga kolom tersebut tidak memikul beban yang terlalu berat. Berdasarkan hasil pengamatan visual maupun investigasi dengan menggunakan *covermeter test* dan *ultrasonic pulse velocity test* memperlihatkan bahwa kapasitas eksisting kolom dalam menahan beban yang bekerja lebih kecil dari kapasitas seperti yang digambar pada as-built drawing (kapasitas disain kolom). Hasil analisis diagram interaksi kolom menunjukkan perbedaan yang signifikan seperti terlihat pada gambar berikut



Gambar 4. Diagram Interaksi Kolom Sesuai As-Built Drawing dan Diagram Interaksi Kolom Sesuai Investigasi Kondisi Eksisting

Kapasitas aksial kolom terdapat perbedaan sebesar 32.2% (357 ton dan 527 ton) dari kapasitas yang seharusnya seperti tergambar pada as-built drawing, begitu juga dengan kapasitas lentur kolom terdapat perbedaan hingga 28.5%. Dimensi dan jarak tulangan transversal yang berbeda memberikan perbedaan juga dalam kapasitas gesernya dengan nilai yang tidak jauh berbeda. Kondisi ini mengakibatkan terjadi retak geser seperti yang terlihat pada pengamatan visual. Berdasarkan hasil dari model analisis struktur akibat beban mati berat sendiri dan beban hidup sesuai standar SNI pada dasarnya kekuatan kolom masih mencukupi, kemungkinan kegagalan geser yang terjadi pada kolom adalah akibat akumulasi beban gempa yang terjadi sebelumnya dan juga kesalahan pada waktu pembuatannya

Kerusakan pada retaining wall.

Retaining wall menahan beban lateral tanah serta air yang berada di sekitar dinding, pada dasarnya beban terbesar berada pada dasar retaining wall. Pada gedung ini retak yang terjadi berada pada jarak lebih kurang 30 cm dari pelat basement. Kondisi muka air tanah yang cukup tinggi mengakibatkan tekanan berlebih pada dinding sehingga mengalami retak pada sisi dinding dalam akibat tegangan tarik beton yang melampaui kapasitasnya. Selain itu kondisi eksisting tulangan yang terlihat kurang dari seharusnya (yang tertera di as-built drawing) membuat terjadinya kegagalan lentur pada dinding.

Repair yang dilakukan : berdasarkan hasil audit forensik konstruksi dan analisis struktur, perlu dilakukan repair sebagai berikut:

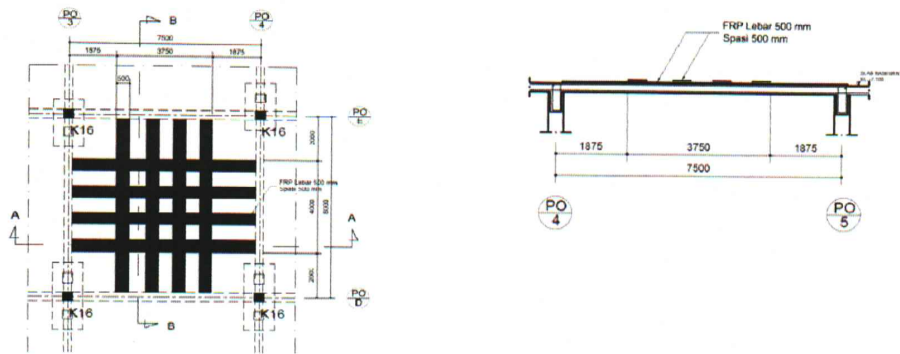
Perkuatan Pelat Lantai Basement

Untuk mengurangi gaya *uplift* yang terjadi, maka dilakukan penurunan muka air tanah. Ada beberapa pilihan penurunan muka air tanah antara lain melalui dewatering, deepwell dan coring. Berdasarkan pertimbangan biaya dan waktu pelaksanaan maka dipilih coring. Coring dilakukan di 5 titik, ukuran diameter 3 inch dengan kedalaman 40 cm seperti terlihat pada Gambar 5. Berdasarkan uji di laboratorium ternyata air memiliki kualitas layak pakai, sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan air gedung tersebut. Cara coring ini ternyata efektif dapat menurunkan *chamber* yang terjadi pada pelat yang semula 100 mm menjadi 25 mm selama 2 bulan,



Gambar 5. Coring Yang Dilakukan

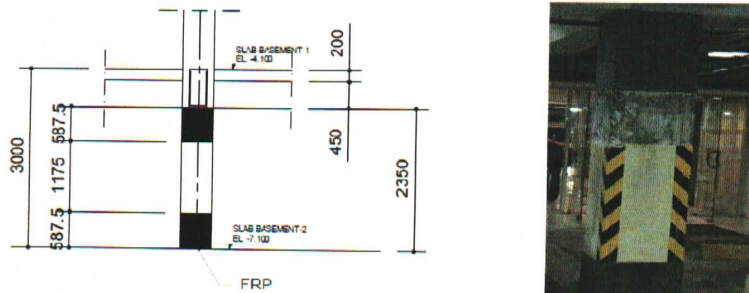
Mengingat kondisi muka air tanah yang kemungkinan tidak selamanya setinggi pada saat ini maka dapat dilakukan perkuatan dengan menggunakan FRP pada daerah-daerah yang mengalami tekanan yang cukup besar akibat uplift (di tengah pelat, posisinya sesuai hasil output analisis struktur. Pola perkuatan dalam suatu panel seperti terlihat pada gambar 6. Perkuatan sebaiknya dilakukan pada saat muka air tanah telah turun pada ketinggian tertentu sehingga pelat tidak mengalami deformasi berlebih pada saat dipasang FRP.



Gambar 6. Perkuatan Pelat Lantai Besment 2

Perkuatan Kolom

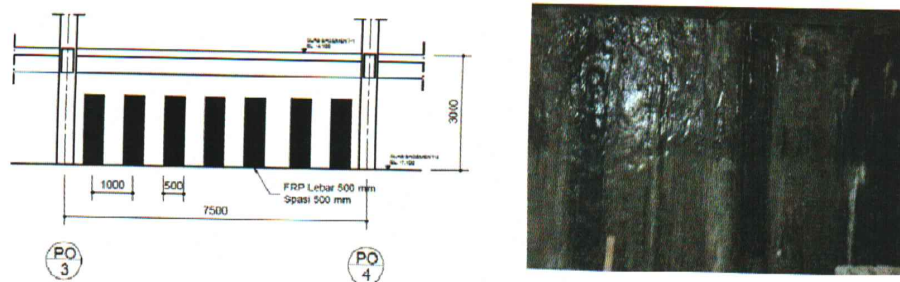
Berdasarkan hasil analisis kekuatan akibat beban gempa, tidak diperlukan perkuatan khusus untuk kolom. Perkuatan diberikan untuk kolom yang telah mengalami kerusakan akibat kegagalan geser. Gambar 7. memperlihatkan posisi perkuatan pada kolom. Perkuatan dilakukan pada daerah ujung atas dan bawah kolom, dimana terdapat gaya geser yang cukup besar. Perkuatan dapat memberikan kekangan yang cukup sehingga memberi kemampuan kolom untuk mencapai kapasitas maksimumnya tanpa mengalami kegagalan pengekangan maupun geser.



Gambar 7. Perkuatan Kolom Menggunakan FRP

Perkuatan Retaining Wall

Berdasarkan hasil analisis model dinding penahan tanah (*retaining wall*) maka diperlukan perkuatan lentur untuk meningkatkan kapasitas lentur dinding sehingga diharapkan mampu menahan beban lateral tanah maupun air tanah yang bekerja pada dinding. Perkuatan *retaining wall* dengan FPR untuk meningkatkan kapasitas dinding penahan tanah eksisting seperti terlihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Perkuatan Retaining Wall Dengan FRP

2. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil analisis struktur dapat disimpulkan bahwa gedung perkantoran tersebut layak huni.
2. Repair yang dilakukan pada balok basement 1, pelat basement 2, kolom dan retaining wall menunjukkan hasil yang baik, hal ini dapat dilihat secara visual pada pelat terjadinya penurunan *chamber* yang terjadi dari 100 mm menjadi 25 mm, dan tidak terjadi genangan air pada pelat basement 2. Pengamatan visual pada kolom dan retaining wall menunjukkan hasil yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers. 2000. *FEMA 356 – Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Applied Technology Council. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, ATC-40, Volume 1, Report No. SSC 96-01.
- Applied Technology Council. 2004. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440, Draft Camera-Ready*, ATC-55 Project.
- Computer and Structures, Inc. 2009. *ETABS Manual, version 9.5*, Integrated Building Design Software, California, Berkeley.
- Lawrence C. Bank. 2006. *Composite for Construction, Structural Design With FRP Materials*, John Wiley & Sons, Inc.