

# **Identifikasi Kerusakan dan Alternatif Perbaikan Pada Konstruksi Struktur Beton Bertulang (Studi Kasus Gedung Bangunan Pendopo Iman Mahligai Kab. Tanah Bumbu)**

Nursiah Chairunnisa, Husnul Khatimi

## **Abstrak**

Gedung Pendopo Mahligai Iman Kabupaten Tanah Bumbu di Batulicin yang memiliki konstruksi 2 lantai didesain dengan fungsi sebagai kantor dan aula pertemuan. Diduga telah terjadi kegagalan struktur karena terasa gerakan pada saat penggunaan dalam kondisi beban penuh.

Untuk itu dilakukan penyelidikan, untuk kekuatan beton dengan hammer test, deformasi dengan theodolite dan retak dengan mikroskop digital pembesaran 200x. Setelah penyelidikan, dilanjutkan dengan permodelan menggunakan perangkat lunak sehingga dapat diambil kesimpulan kondisi penyebab terjadinya kegagalan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan kolom beton memiliki kekuatan sebesar 45MPa serta balok dan plat sebesar 26MPa. Hasil analisa menunjukkan perilaku penurunan plat terbesar adalah 76mm. Pengujian retak struktur pada balok-balok penopang kubah menunjukkan adanya kegagalan struktur dengan beban konstruksi yang berlebih (retak struktural >3mm dengan jumlah yang banyak). Melalui permodelan diperoleh untuk elemen plat mengalami perilaku melendut/deformasi yang besar diperkirakan akibat kesalahan detailing plat, gambar kerja diameter yang 100 mm namun akibat kurangnya pembesian hanya memiliki kekuatan setara dengan diameter 60 mm. Ukuran balok lapangan juga sangat tidak memenuhi syarat yang mana seharusnya adalah 400/300.

Dapat disimpulkan bahwa bangunan mengalami degradasi kemampuan. Rekomendasi yang diberikan adalah dilakukan perbaikan pada konstruksi bangunan dengan berbagai metode perbaikan (*retrofitting*) beton seperti penggunaan CFR (*carbon fibre reionforced*), *Jacketing* pada kolom dan *Shortcrete grouting mortar* untuk retak yang terjadi. Harus ada *maintenance* (perawatan) konstruksi bangunan secara periodik agar konstruksi tetap aman dan nyaman untuk dipergunakan oleh publik.

**Kata kunci :** *Non destructive test, Retrofitting, CFR, Jacketing.*

## **PENDAHULUAN**

Suatu Konstruksi bangunan dikatakan berfungsi dengan baik jika bangunan tersebut mampu memberikan keamanan bagi setiap kegiatan yang dilakukan didalamnya. Jika konstruksi bangunan tersebut tidak bisa melakukan fungsinya dengan baik maka bangunan tersebut dapat dikatakan konstruksi tersebut tidak memiliki kinerja sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

Gedung Pendopo Mahligai Iman Kabupaten Tanah Bumbu di Batulicin yang memiliki konstruksi 2 lantai dan didesain fungsinya sebagai kantor dan aula pertemuan pada perjalanannya dirasakan adanya gerakan pada saat penggunaan pertemuan dalam kondisi beban penuh. Kondisi bangunan saat ini masih dipergunakan sebagaimana biasanya. Mengingat bahwa konstruksi ini dipergunakan sebagai fasilitas umum maka

sangatlah penting untuk melakukan suatu kajian ulang tentang kondisi struktur bangunan tersebut.

Ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam kajian ini adalah melakukan identifikasi kerusakan-kerusakan yang terjadi pada Bangunan Pendopo Iman di Kabupaten Tanah Bumbu, Batulicin dan memberikan alternatif metode perbaikan konstruksi yang tepat untuk gedung Bangunan Pendopo Iman di Kabupaten Tanah Bumbu, Batulicin

## KAJIAN TEORITIS

### 1 . Kerusakan yang terjadi pada Beton

Berdasarkan berbagai kerusakan struktur maka penyebab kerusakan struktur terbagi atas *Overload* (Kelebihan Beban), Gaya Geser yang Berlebih , Pergerakan Tanah, Korosi dan kesalahan perencanaan. Ciri Struktur beton yang didesain dengan konsep *underreinforced* adalah terjadinya retak yang terus menerus bertambah dan memiliki pola tertentu yang dapat dijadikan dasar untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya retak. Identifikasi juga dapat dilakukan dengan melihat perilaku struktur yang terjadi. Deformasi pada struktur juga menjadi acuan penyebab terjadinya kerusakan pada struktur.

### 2. Deformasi

Deformasi atau perubahan bentuk dapat terjadi pada struktur. UBC, ACI dan SNI telah menetapkan batasan – batasan deformasi struktur baik pada balok maupun pada kolom (*story drift*), Defleksi terjadi pada perletakan, pondasi, kolom, slab dan dinding yang secara visual terlihat sebagai lengkungan, lenturan atau perubahan bentuk. Defleksi terjadi karena overload, pengaruh korosi, ketidakcukupan pada konstruksi awal, beban gempa dan susut. Defleksi, dengan pembentukan tegangan internal di dalam beton, menyebabkan spalling pada permukaan beton. Biasanya defleksi dihindari dengan membatasi lendutan yang diijinkan sampai

1/200 atau maksimum 1 inchi dari bentang sepanjang 9 m.

### 3. Korosi

Korosi adalah hasil dari penetrasi klorida yng masuk pada beton maupun pada tulangan akibat terbukanya atau retak yang terjadi pada beton bertulang. Korosi ini dapat menentukan waktu layan dan waktu kerusakan sebuah struktur. Tulangan yang ditempatkan terlalu dekat dengan permukaan beton atau yang terekspose karena spalling, erosi atau retak dapat mengalami korosi. Oksidasi pada baja karena adanya kelembaban yang memicu terjadinya karat. Lingkungan yang agresif seperti air laut akan semakin menambah memperparah kerusakan akibat korosi. Hilangnya permukaan lekat antara baja dan beton akibat korosi menyebabkan menurunnya kekuatan beton.

### 4. Jenis-jenis Material Untuk Perbaikan

Saat ini tersedia sejumlah besar pilihan material yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan pada struktur beton, diantaranya yang utama adalah:

#### a. Material-material yang *cementitious*

Material ini berkisar dari mortar dan grout serta beton yang konvensional sampai kepada material dengan sifat-sifat yang diperbaiki sesuai dengan kebutuhan dengan menggunakan *admixtures*. Penggunaan *admixtures* antara lain dapat menghasilkan sifat-sifat kohesif, pencapaian kekuatan secara cepat, kelecakan yang lebih tinggi, daya tahan terhadap tercucinya semen dan pengurangan *bleeding* serta susut.

Material perbaikan yang termasuk dalam jenis ini antara lain adalah:

**Beton, mortar atau grout**, beton terutama digunakan untuk penggantian total penampang atau untuk memperbaiki rongga-rongga

yang dalam sampai melalui tulangan beton. Sedangkan mortar dapat digunakan untuk perbaikan rongga-rongga sampai sekecil 4 cm. *Grout* memiliki keuntungan karena bersifat encer dan dapat dipompa sampai kebagian yang tidak terlihat sekalipun, namun *grout* memiliki kandungan air yang tinggi dan konsekuensinya mengalami penyusutan lebih besar besar dibanding mortar atau beton.

**Beton, dan mortar yang dimodifikasi dengan menambahkan latex**, merupakan material perbaikan yang sangat berguna untuk melapisi kembali permukaan lantai bangunan atau lantai jembatan yang rusak. Material seperti ini dikenal dengan sebutan beton latex (*latex concrete*) atau *latex-modified concrete* dan pada akhir-akhir ini sering dikenal sebagai *polimer modified concrete*. (Material ini harus dibedakan dari *polymer concrete* yang mengandung polimer yang tidak ditambahkan dalam bentuk *latex*..

**Beton, mortar atau grout yang dimodifikasi dengan menambahkan polimer**, polimer ditambahkan sebagai matrik memiliki beberapa keuntungan bagi pekerjaan perbaikan, keuntungan-keuntungan ini meliputi: kekuatan yang tinggi pada umur dini, kemampuan untuk dicor pada temperature dibawah titik beku memiliki kekuatan lekat yang baik, durabilitas yang tinggi walaupun bila harus digunakan pada kondisi yang akan merusak beton biasa. Sebagai polimer biasanya digunakan *epoxy*, *polyurethane*, *unsaturated polyester*, *methyl methacrylate* dan lain-lain.

Beton, mortar atau *grout* yang harus memiliki sifat tertentu untuk suatu tipe perbaikan dapat dibuat menggunakan semen khusus misalnya semen dengan kandungan alumina yang tinggi akan mengalami *setting* dalam 2 s.d 4 jam dan dapat mencapai kuat tekan sebesar 22 Mpa dalam 6 jam. Beton, mortar

atau *grout* yang dibuat dengan bahan ini memiliki daya tahan terhadap perusakan asam, sulfat, alkali, air laut dan minyak. Semen

Portland tipe III yang dipakai dengan *accelerator* akan menghasilkan bahan yang sesuai untuk pekerjaan perbaikan yang cepat. Selain itu semen *magnesium phosphate* baik untuk pekerjaan penambalan.

**Dry Pack**, istilah ini biasanya digunakan untuk mortar dengan bahan dasar semen *Portland* dengan kandungan air yang cukup rendah sehingga tidak mengalami *slump*. Sebenarnya setiap material yang dapat digunakan dengan konsistensi sedemikian rupa sehingga tidak mengalami *slump* (*no-slump consistency*) dapat disebut *dry pack*,- Beton serat, beton serat memiliki kekuatan tarik, kekuatan lentur, daya tahan terhadapimpak dan daya tahan terhadap abrasi yang lebih baik daripada beton biasa. Serat yang digunakan dapat berupa metal, plastic, gelas atau serat natural.

**Shotcrete**, atau yang juga biasa disebut *sprayed concrete* atau *sprayed mortar* terdiri dari bahan-bahan pembentuk yang sama seperti beton yaitu semen, agregat dan air. Perbedaan *Shotcrete* dengan beton biasa adalah bahwa *Shotcrete* biasanya menggunakan agregat kerikil yang bulat dan kandungan semennya lebih tinggi, selain itu water-cement rasio dari *Shotcrete* lebih rendah-sekitar 0,4.

#### **b. Material yang berbasah dasar resin: Epoxy**

Material ini umumnya dibuat atas dasar *epoxy resin* (*epoxy* merupakan senyawa organik) dan meliputi resin untuk injeksi (*injection resins*), mortar yang dapat dicor dan pasta yang dapat diterapkan dengan tangan. Epoxy mortar terdiri dari *resin*, *hardener* dan

*filler* yang terdiri dari pasir halus, sedangkan *epoxy concrete* terdiri dari *resin*, *hardener*, pasir halus dan agregat kasar ukuran kecil.

**c. Elastomeric Sealants**

Bila retak yang harus diperbaiki bersifat aktif, artinya mengalami pergerakan-pergerakan yang berarti, pilihan untuk material yang akan digunakan sering jatuh pada *elastomeric sealants*. Material ini harus melawan infiltrasi pecahan-pecahan beton dan air kedalam retakan, memiliki ekstensibilitas yang tahan lama dan melekat pada tepi-tepi retak. Dua tipe *elastomeric sealants* yang biasa dipakai adalah: *hot-applied*, yang biasanya merupakan campuran material yang bituminous dengan karet yang kompatibel dan *cold-applied*, yang dapat didasarkan atas berbagai material dan biasanya harus dicampur di lapangan

**d. Silicones**

Biasanya digunakan sebagai material perbaikan untuk masalah uap air melalui dinding. Ada dua cara pembuatannya yaitu dengan melarutkan bahan *silicone* padat pada suatu pelarut atau membuat garam alkali dari asam *siliconic* dan melarutkannya dalam air.

Larutan material ini disemprotkan ke dinding dengan kecepatan 3m<sup>2</sup>/ltr dan ketika pelarutnya menguap, silicon resin tertinggal di dalam struktur pori dinding.

**e. Bentonite**

*Bentonite* merupakan bubuk batuan yang diambil dari debu vulkanik yang mengandung mineral tanah liat dengan persentase tinggi terutama *sodium bentonite*. Material ini dapat mengabsorpsi air dalam kuantitas banyak dan rnengembang sampai 30 kali volumenya semula dan membentuk massa yang menyerupai *jelly* yang efektif berfungsi sebagai penghalang air.

**f. Bituminous Coating**

*Bituminous coating* yang berbahan dasar aspal atau *coal tar* sering digunakan sebagai *waterproofing* pada beton atau untuk perlindungan terhadap pelapukan. Material ini murah dan sudah biasa digunakan oleh buruh, efektif berfungsi sebagai *waterproofer* sepanjang suatu perioda tertentu apabila dikerjakan dengan baik, dan ketebalannya. Metode Perbaikan dan bahan yang dipergunakan dan umum dilakukan diIndonesia dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode dan Material untuk Perbaikan Beton

Kerusakan	Metode Perbaikan	Material
– Retak yang hidup (Live/Active Crack)	– Caulking	Elastomeric Sealer
	– Injeksi bertekanan menggunakan flexible filler	Flexible epoxy filler
	– Jacketting (strapping)	Kawat atau batang baja
	– Overlaying	Membran atau mortar khusus
	– Perkuatan	Plat baja, post tensioning, stitching, dsb
– Retak yang dormant	– Caulking	Cement grout atau mortar, fast setting mortar
	– Injeksi bertekanan menggunakan rigid filler	Rigid epoxy filler
	– Coating	Bituminous coating, tar

Kerusakan	Metode Perbaikan	Material
	– Overlaying	Asphalt overlay dengan membran
	– Grinding dan overlaying	Latex modified concrete, beton sangat padat
	– Dry pack	Dry pack
	– Shotcrete	Mortar (semen), fast setting mortar, Mortar semen, beton epoxy atau polymer
	– Jacketing (Strapping)	Batang baja
	– Perkuatan	Post tensioning dsb
	– Rekonstruksi	Sesuai kebutuhan
– Voids	– Dry pack	Dry pack
– Honeycombs	– Patching	PC grout, mortar atau semen
	– Resurfacing	Beton epoxy atau polymer
	– Shotcrete	Fast setting mortar
	– Replaced aggregate	Agregat kasar dan grout
	– Penggantian	Sesuai kebutuhan
– Spalling	– Patching	Beton epoxy, polymer, latex, aspal
	– Shotcrete	Mortar semen, fast setting mortar
	– Overlay	Latex modified concrete, beton aspal, beton
	– Coating	Bituminous coating
	– Penggantian	Sesuai kebutuhan

Sumber :Mohd Isneini (2009)

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dalam pelaksanaannya dilakukan dalam 2 (dua) tahap, yaitu :

### 1. Tahapan Penyelidikan

Penyelidikan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Penyelidikan Visual dan studi lapangan
- Penyelidikan *non destructive* / tidak merusak yang terdiri dari Penyelidikan kekuatan beton kondisi eksisting dengan hammer test, penyelidikan deformasi bangunan dengan alat ukur theodolite dan penyelidikan retak dengan digital mikroskop pembesaran 200 x.

### 2 Tahapan Permodelan

Permodelan dilakukan dengan perangkat lunak, kondisi yang terjadi pada bangunan akan dimodelkan dan akan diambil kesimpulan kondisi penyebab terjadinya kegagalan.

Dalam pelaksanaan tahapan penyelidikan maupun pada tahapan permodelan, peraturan atau kode pelaksanaan yang diacu adalah SNI SPM1003 untuk pengujian angka pantul beton keras, SNIT03-2847-2002 tentang perencanaan konstruksi beton untuk mengetahui deformasi, PPURG 1987 tentang pembebanan bangunan dan gedung dan SNI 03-2854-1992 tentang korosif dalam beton

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penyelidikan Visual / Visual Test

Data konstruksi struktur bangunan secara detail dapat ditunjukkan seperti pada Tabel 2

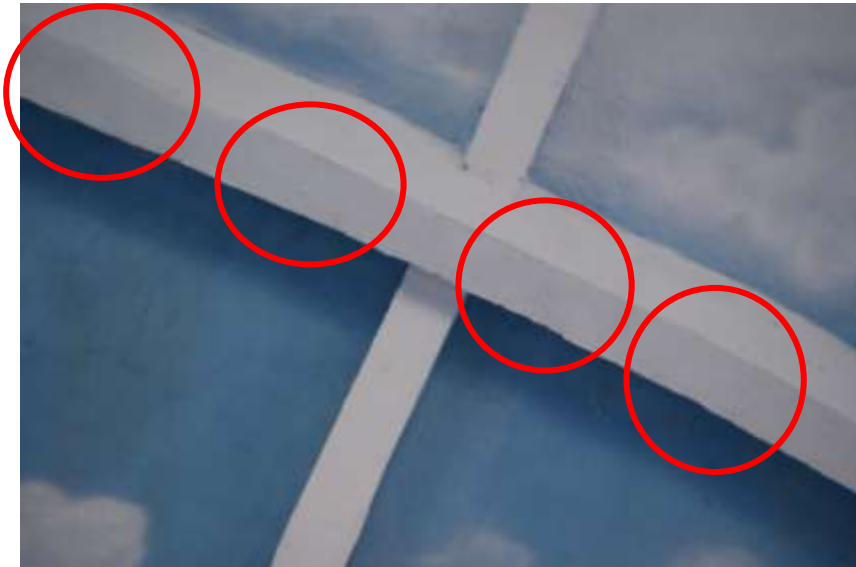
Tabel 2. Data Konstruksi Bangunan Pendopo

<i>Elemen</i>	<i>Material</i>	<i>Data Pendukung</i>	<i>Data Material</i>
<i>Pondasi</i>	<i>Pondasi Dangkal Beton</i>	<i>Gambar Teknik</i>	-
<i>Kolom Lantai Dasar</i>	<i>Beton</i>	<i>Gambar Teknik</i>	<i>Tidak ada data</i>
<i>Lantai Dasar</i>	<i>Beton</i>	<i>Gambar Teknik</i>	<i>Tidak ada data</i>
<i>Slofe</i>	<i>Beton</i>	<i>Gambar Teknik</i>	<i>Tidak ada data</i>
<i>Balok Lantai 1</i>	<i>Beton</i>	<i>Gambar Teknik</i>	<i>Tidak ada data</i>
<i>Plat Lantai 1</i>	<i>Beton</i>	<i>Gambar Teknik</i>	<i>Tidak ada data</i>
<i>Kolom Lantai 1</i>	<i>Beton</i>	<i>Gambar Teknik</i>	<i>Tidak ada data</i>
<i>Ringbalk</i>	<i>Beton</i>	<i>Gambar Teknik</i>	<i>Tidak ada data</i>
<i>Dak</i>	<i>Beton</i>	<i>Tidak ada data</i>	<i>Tidak ada data</i>
<i>Penulangan</i>	<i>Baja</i>	<i>Tidak ada data</i>	<i>Tidak ada data U24</i>

Gambar struktur bangunan secara visualisasi seperti pada Gambar 1 sampai Gambar 3 berikut



Gambar 1. Struktur Bangunan Gedung pendopo Iman



Gambar 2. retak lentur akibat beban berlebih pada area kubah



Gambar 3. Retak settlement di lantai dasar sisi kiri sebesar 5 mm



Gambar 4. Retak settlement di lantai dasar sisi kiri sebesar > 5 mm

Dari hasil pengamatan yang dilakukan, hasil survey lapangan diperoleh :

- Plat lantai saat digunakan untuk pertemuan terasa bergerak/ berdeformasi
- Pengguna ruang basement saat beban penuh di atasnya merasakan adanya pergerakan di lantai beton dan terdapat material yang berjatuhan
- Tidak dirasakan pergerakan bangunan ke samping

#### **Penyelidikan tidak merusak**

##### ***a. Pengujian Hammer Test***

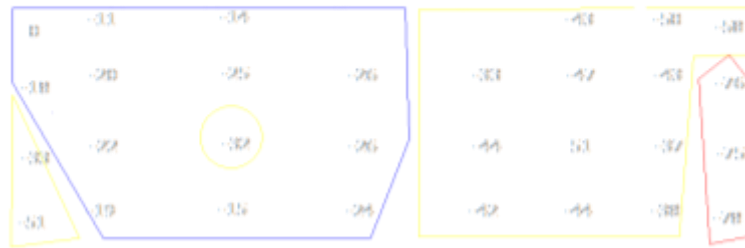
Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton saat ini adalah untuk kolom memiliki kekuatan sebesar 45 Mpa atau setara dengan K-500 dengan

keseragaman data / tingkat kebenaran data sebesar 58 % serta balok dan plat memiliki nilai kuat tekan prakiraan sebesar 26 Mpa atau setara dengan K300 dengan tingkat keseragaman data sebesar 78%.

##### ***b. Pengujian elevasi dan Deformasi***

Pengujian elevasi bertujuan untuk dapat melihat kondisi akhir dari kerataan permukaan dan sekaligus dapat dijadikan rujukan kondisi akhir dari bangunan. Hasil analisa menunjukkan perilaku penurunan plat yang sangat dominan berbeda, penurunan terbesar adalah sebesar 76 mm atau sebesar 7.6 cm tanpa disadari karena plat lantai miring dalam ke arah kiri bangunan. Gambar peta area deformasi plat seperti ditunjukkan pada Gambar 5





Gambar 5. Peta Area deformasi plat

c.

d. **Pengujian Retak**

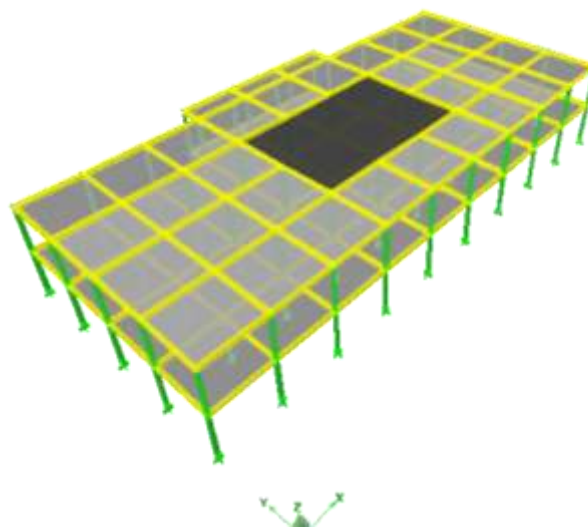
Pengujian visual pada bagian bawah lantai yaitu Balok-Balok penopang kubah pendopo dengan menggunakan mikroskop digital diperoleh bahwa retak yang terjadi adalah retak lentur dengan lebar retak > 3 mm dengan indikasi bahwa kerusakan struktur terjadi akibat kelebihan beban layan.

Dari hasil pengujian tidak merusak (*nondestructive test*) didapatkan bahwa hasil pengujian pada plat menunjukkan adanya deformasi pada plat yang melebihi batas yang diijinkan

(25 mm) ini mengindikasikan adanya kegagalan struktur. Pengujian retak struktur pada balok – balok penopang kubah menunjukkan adanya kegagalan struktur dengan beban konstruksi yang berlebih, indikasinya adalah adanya retak struktur > 3 mm dengan jumlah yang banyak

**Tahapan Permodelan**

Berdasarkan data-data yang diketahui dari Gambar kerja dibuatlah model acuan tiga dimensi untuk analisa ulang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



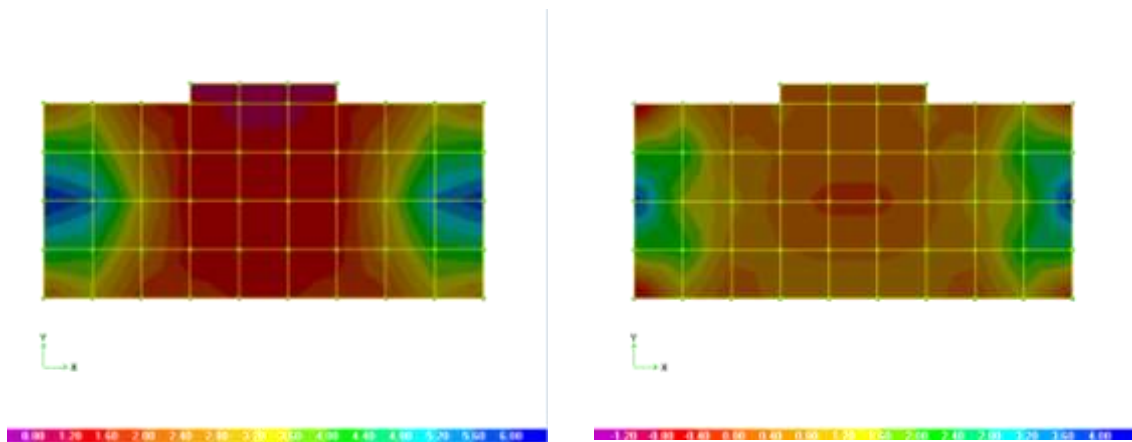
Gambar 6. Model Acuan

Pembebanan dipergunakan adalah beban mati (DL) = 5 KN (dinding

pasangan bata+ kaca ) dan beban hidup (LL) = 2.5 KN/m<sup>2</sup> . Model

yang digunakan berdasarkan gambar teknik pembangunan Pendopo Tahap II

Hasil perilaku tegangan pada plat F Mak ditunjukkan seperti pada Gambar 7 .



Gambar 7. Perilaku Tegangan Struktur

Hasil analisa yang diperoleh berdasarkan acuan kode pelaksanaan yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

1. Untuk elemen plat mengalami perilaku melendut / deformasi yang besar diperkirakan akibat kesalahan detailing plat yaitu berdasarkan gambar kerja diameter plat yang dipergunakan adalah 100 mm namun akibat detailing pembesian / kurangnya pembesian hanya memiliki kekuatan setara dengan diamtere 60 mm .
2. Berdasarkan pada gambar kerja ukuran balok yang dipergunakan adalah 20/20 , di lapangan ukuran balok adalah 30/20. Berdasarkan SNI T03 - 2847 -2002 acuan untuk balok lantai adalah  $1/10 - 1/12 L$  sehingga tinggi balok harus minimal 416 mm atau dapat dikoreksi menjadi 400 / 300. Ukuran balok lapangan menjadi sangat tidak memenuhi syarat. Menggunakan data momen balok diatas dengan profil 30/20. Di lapangan berdasarkan gambar teknik dipergunakan penulangan 2  $\phi 12$  tumpuan dan 2  $\phi 12$  lapangan. Oleh karenanya dapat diindikasikan bahwa Profil balok tidak memenuhi syarat SNI T03 - 2847 -2002. Penulangan balok tidak memenuhi syarat untuk momen dengan beban rencana dan penulangan tidak memenuhi syarat penulangan minimum yang disyaratkan.
3. Profil kolom tidak memenuhi syarat SNI T03 -2847 -2002 sebagai kolom struktural, hanya memenuhi syarat untuk gaya vertikal dengan beban rencana dan tidak memenuhi syarat untuk gaya momen/ gaya horizontal.
4. Balok anak pada gambar kerja tertera untuk mengurangi deformasi, namun pada pelaksanaanya tidak terdapat adanya balok anak , akibatnya plat akan menerima momen yang lebih besar. Penulangan Plat kemungkinan menggunakan penulangan biasa, Sehingga deformasi besar terjadi .
5. Merujuk pada pondasi yang digunakan maka akan diperhitungkan kemampuan perlu daya dukung tanah

ultimate. Kesimpulan elemen pondasi adalah pondasi masih memenuhi syarat dan Pilecap tidak memenuhi syarat dan kemungkinan retak di pile cap bisa terjadi

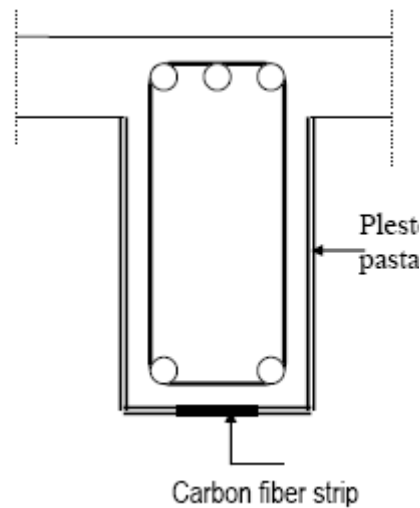
(Collapse Prevented). Kondisi ini menyebabkan penggunaan konstruksi harus berada dalam batas pengawasan dan kendali teknis.

**Rekomendasi Perbaikan**

Merujuk pada kondisi diatas maka direkomendasikan beberapa perbaikan sebagai berikut :

1. Secara keseluruhan bangunan konstruksi ini berada pada kondisi penjagaan sebelum kerusakan

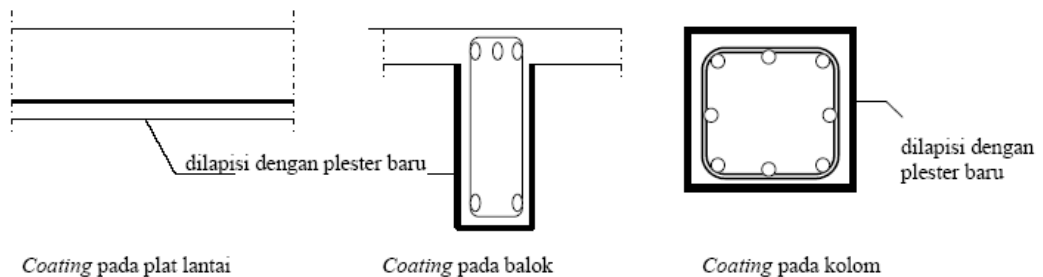
2. Untuk mengurangi deformasi di plat sangat disarankan untuk menambahkan balok anak dengan cara menggunakan baja WF kecil yang disambungkan dengan angkur kimiawi.
3. Untuk penulangan balok yang kurang disarankan menggunakan CFR dengan memperhitungkan momen yang harus didukung oleh CFR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8



Gambar 8. Penulangan Balok dengan CFR

4. Untuk Kolom dapat dilakukan jacketing kolom dengan memperhitungkan momen maksimal yang terjadi dan

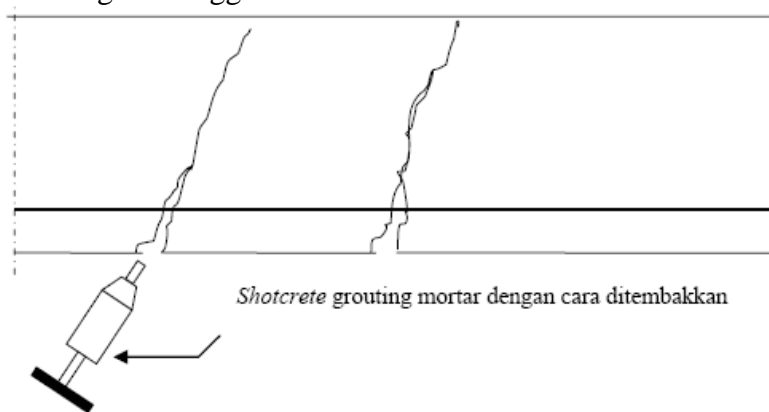
membesarkan penampangnya menjadi 300 x 300 dalam netto, seperti pada Gambar 9



Gambar 9. Jacketing pada kolom

5. Untuk kubah perlu dilakukan pengurangan beban, namun jika dirasa kubah tersebut harus dipertahankan maka balok – balok yang retak harus diperbaiki dengan menggunakan

3 teknik yaitu penambahan CFR, injeksi aditive ke beton dan terakhir penambahan kolom bantu / peningkatan kekuatan balok, seperti pada Gambar10



Gambar 10. *Shotcrete grouting mortar*

### Kesimpulan

1. Analisa Ulang yang dilakukan pada Gedung Pendopo Mahligai Iman di Kabupaten Tanahumbu mengindikasikan bahwa bangunan mengalami degradasi kemampuan.
2. Degradasi kemampuan ini terjadi karena beberapa hal antara lain adanya ketidaktepatan pemilihan profil desain dan detailing penulangan, ketidaksesuaian dengan kode standar SNI yang berlaku dan kelebihan beban layan.
3. Rekomendasi yang diberikan adalah dilakukan perbaikan pada konstruksi bangunan dengan berbagai metode perbaikan (*retrofitting*) beton seperti penggunaan CFR (*carbon fibre reionforced*), *Jacketing* pada kolom dan *Shotcrete grouting mortar* untuk retak yang terjadi.
4. Harus ada *maintenance* (perawatan) konstruksi bangunan secara periodik agar konstruksi tetap aman dan nyaman untuk dipergunakan oleh publik

### Daftar Pustaka :

- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Bandung. (SNI 03-2847-2002)
- Mohd Isneini, 2009. *Kerusakan dan Perkuatan Struktur Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Vol 13 No 3. Desember 2009
- Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*, Badan Standarisasi Nasional, Puslitbang Pemukiman, Bandung.
- Paulay, T dan Park, R, *Reinforced Concrete Structures*, Wiley & Sons Ltd, New Zealand, 1975
- Suhendro, 2008, *Evaluasi, monitoring dan Repair Existing structures*. Program Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Suhendro, 2000, *Teori Model Struktur dan Teknik Eksperimental*. Beta Offset. Yogyakarta  
Vis, W.C, 1993, *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta

Wahyudi L dan A. Rahim S, 1999, "*Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03*". Jakarta : Erlangga