

**KAJIAN KAPASITAS EKSISTING DAN PERKUATAN STRUKTUR  
BETON BERTULANG MASJID AGUNG KOTA BIMA**  
*Study of Existing and Strengthening Capacity of Reinforced Concrete Structure  
of Bima City Great Mosque*

Ngudiyono\*, Joedono\*, Nurun Ainuddin\*

**Abstrak**

*Kerusakan pada struktur beton bertulang akan menyebabkan penurunan kinerja pada sebuah bangunan. Pada penelitian ini akan dilakukan kajian terhadap bangunan Masjid Agung di Kota Bima yang telah mengalami kerusakan akibat beban gempa. Untuk keperluan analisis dan justifikasi terhadap permasalahan yang ada, maka dilakukan inverstigasi dilapangan. Inverstigasi tersebut meliputi uji Hammer Test, pengamatan dan pengukuran lebar retak, dimensi penampang, diameter dan jumlah tulangan, bentang balok dan tinggi kolom. Selain itu data sekunder berupa informasi tambahan diperoleh dari Gambar Rencana.*

*Hasil kajian menunjukkan bahwa retak-retak pada struktur balok dan pelat disebabkan karena mutu beton yang terpasang tidak memenuhi persyaratan kuat tekan rencana, sehingga menyebabkan kapasitas balok induk tidak mampu menerima beban layan. Sedangkan korosi pada tulangan terjadi, karena tulangan tidak tertutup dengan baik dengan selimut beton. Agar struktur dapat berfungsi dengan baik maka retak-retak yang terjadi harus dilakukan injeksi/grouting dengan bahan epoxy resin, demikian juga dengan korosi-korosi yang terjadi harus dibersihkan dan ditutup kembali dengan mortar. Untuk meningkatkan kapasitas balok/kolom dilakukan dengan menambahkan tulangan dan pelat baja. Dari hasil analisis terbukti mampu meningkatkan kapasitas tahanan kondisi existing.*

*Kata kunci : Kapasitas, Pelat, Balok, Kolom, Perkuatan*

## **PENDAHULUAN**

Masjid Agung merupakan salah satu masjid yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan sarana ibadah bagi warga Kota Bima dan sekitarnya. Masjid ini konstruksi utamanya (balok, kolom, pelat dan fondasi) menggunakan bahan beton bertulang. Sampai saat ini bangunan tersebut masih belum selesai pembangunannya, meskipun pada lantai dasar sudah difungsikan sebagai tempat ibadah.

Kota Bima termasuk daerah yang rawan gempa, sejak Masjid Agung Bima dibangun telah beberapa kali mengalami kejadian gempa, terakhir tahun 2010. Kejadian gempa tersebut diduga menjadi penyebab beberapa bagian dari konstruksi masjid tersebut mengalami kerusakan (keretakan) terutama pada bagian kolom dan balok. Untuk mengetahui sejauh mana dampak kerusakan kontruksi tersebut terhadap keamanan dan keberlanjutan pembangunannya, maka diperlukan kajian terhadap yang komprehensif trhadap kondisi existing Masjid Agung tersebut dan diharapkan dapat memberikan solusi untuk mengatasi persoalan tersebut.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

Metode perkuatan struktur dapat dilakukan dengan cara *Prepacked concrete* yaitu metode perbaikan yang bertujuan mengganti beton lama yang telah rusak dengan beton baru. Metode ini dilakukan dengan menempatkan agregat kasar terlebih dahulu dalam *bekisting* kemudian diinjeksi

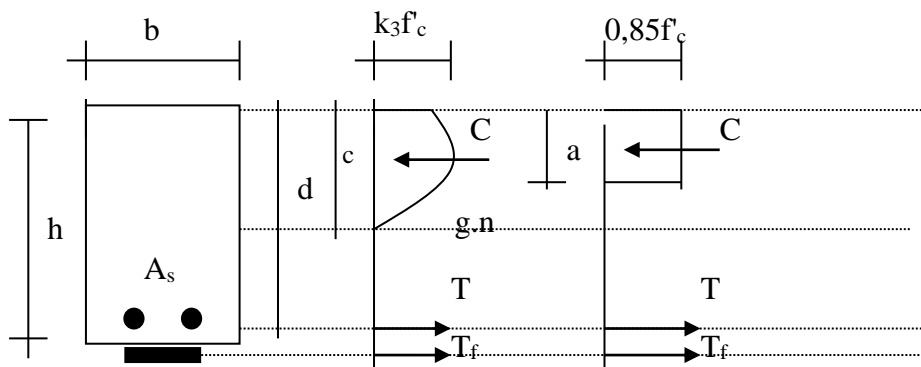
---

\* Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram

dengan pasta semen atau polimer. Metode lainnya dengan *jacketing* yang dilakukan dengan menyelubungkan (*confinement*) dengan bahan selubung yang dapat berupa baja, karet, beton, komposit yang ditempatkan pada struktur yang rusak, dan diberi tambahan tulangan untuk memperkuat elemen struktur balok/kolom agar dapat berfungsi kembali memikul beban. Tulangan tambahan tersebut dapat berupa tulangan longitudinal ataupun vertikal/senggang, yang bahannya berupa begel, pelat baja, *Carbon Fiber Strips* (SIKA, 1997).

David dkk. (1998) juga telah melakukan perkuatan struktur balok yang telah mengalami penurunan kekuatan dengan material komposit seperti *Delmat Glass Fibre Plate*, *Jitec Glass Fibre Rod*, *Sikadur Carbon Fiber Sheet*. Demikian juga Ngudiyono (2001, Purwanto (2001), Pangestuti (2009) juga memanfaatkan Sikadur *Crabon Fiber Sheet* atau *Carbon Fiber Strips* untuk memperkuat lentur dan geser balok beton bertulang. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa material-material tersebut mampu meningkatkan kapasitas ultimit baik lentur maupun geser struktur balok beton bertulang.

Analisa kapasitas penampang balok tampang persegi dengan perkuatan pelat baja atau *Carbon Fiber Strips* dapat diturunkan dari gaya-gaya dalam seperti pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Gaya-gaya dalam balok dengan perkuatan (Ngudiyono, 2001)

dengan kesetimbangan gaya-gaya dalam didapat :

$$a = \frac{A_s f_y + A_f f_f}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots (1)$$

jika :

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} 0,003 > \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots (2)$$

$$\epsilon_f = \frac{h_f - c}{d - c} \epsilon_s > \frac{f_f}{E_f} \dots\dots\dots (3)$$

maka :

$$M_n = A_s f_y (d - a / 2) + A_f f_f (h_f - a / 2) \dots\dots\dots (4)$$

tetapi jika :

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} 0,003 > \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots (5)$$

$$\epsilon_f = \frac{h_f - c}{d - c} \epsilon_s < \frac{f_f}{E_f} \dots\dots\dots (6)$$

maka :

$$M_n = A_s f_y (d - a / 2) + A_f \varepsilon_f E_f (h_f - a / 2) \dots\dots\dots (7)$$

dengan :  $a$  = tinggi distribusi tegangan persegi,  $T_f = A_f f_f$  = gaya dalam akibat adanya pelat baja atau *Carbon Fiber Strips*,  $A_f$  = luas penampang pelat atau *Carbon Fiber Strips*,  $E_f$  = modulus elastisitas pelat atau *Carbon Fiber Strips*,  $f_f$  = kuat tarik pelat atau *Carbon Fiber Strips*,  $\varepsilon_f$  = regangan pelat atau *Carbon Fiber Strips*,  $M_n$  = kuat lentur penampang diperkuat dengan pelat atau *Carbon Fiber Strips*

## METODE PENELITIAN

### Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang dibutuhkan guna keperluan analisis dan justifikasi terhadap permasalahan yang ada, maka dilakukan pengukuran dilapangan. Pengukuran tersebut meliputi uji kekerasan permukaan/*Hammer Test* dengan mengacu standart ASTM C805-02 investugasi ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton, jenis/type lebar lebar retak yang terjadi. Dalam investugasi ini juga dilakukan pengukuran dimensi penampang, pengukuran diameter dan jumlah tulangan, bentang balok dan tinggi kolom. Selain itu data sekunder berupa informasi tambahan diperoleh dari Gambar Rencana.

### Analisis

Analisis pembebanan dan desain pada struktur Masjid Agung Bima mengacu pada SNI 03-2847. Analisis struktur menggunakan bantuan software SAP2000 Student Version 7.4, sedangkan analisis penampang digunakan software XTRACT Educational and Evaluation Copy.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Mutu Beton ( $f'_c$ )

Hasil pengujian nondestruktif dengan hammer test menunjukkan bahwa kuat tekan beton ( $f'_c$ ) menunjukkan hasil yang bervariasi. Pada bagian balok induk kuat tekan beton ( $f'_c$ ) mencapai nilai 12 MPa, kolom lantai 1 mencapai nilai 13,4 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mutu beton yang digunakan tidak memenuhi kuat tekan rencana yaitu 17,5 MPa, khususnya pada bagian struktur yang mengalami keretakan sangat rendah. Kualitas yang sangat rendah ini kemungkinan disebabkan beberapa faktor misalnya kualitas agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil) yang buruk (banyak mengandung lumpur, kapur dan lain lain), campuran terlalu banyak air (sehingga meninggalkan banyak pori-pori), pemadatan ketika pengecoran yang kurang baik (terbukti banyak yang keropos). Selanjutnya untuk analisis kapasitas balok dan kolom digunakan mutu beton  $f'_c$  12 MPa sebagai batas bawah hasil pengujian.

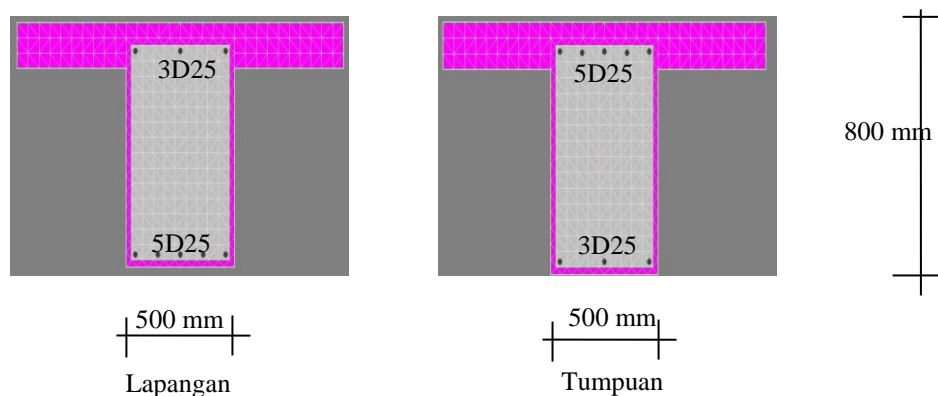
### Pelat Existing

Hasil pengamatan secara visual menunjukkan beberapa bagian pelat mengalami retak dan banyak terjadi korosi pada baja tulangan Hal ini kemungkinan disebabkan karena baja tulangan tidak terlindungi dengan baik oleh selimut beton (batas minimal selimut beton 40 mm). Disamping itu terjadi banyak keropos karena kurangnya pemadatan, sehingga permasalahan ini perlu dicarikan solusinya

Hasil analisis pelat existing dengan tebal pelat terpasang 150 mm, tulangan terpasang diameter 8 dan jarak 200 mm, dan dengan asumsi tebal selimut 25 mm, menunjukkan bahwa penulangan masih dalam kondisi *under-reinforced* dan masih mampu menerima beban layan yang bekerja, dimana momen rencana ( $M_r$ ) hasil analisis sebesar 4,584 kNm lebih besar daripada momen ultimate ( $M_u$ ) sebesar 1,91 kNm. .

### Balok Existing

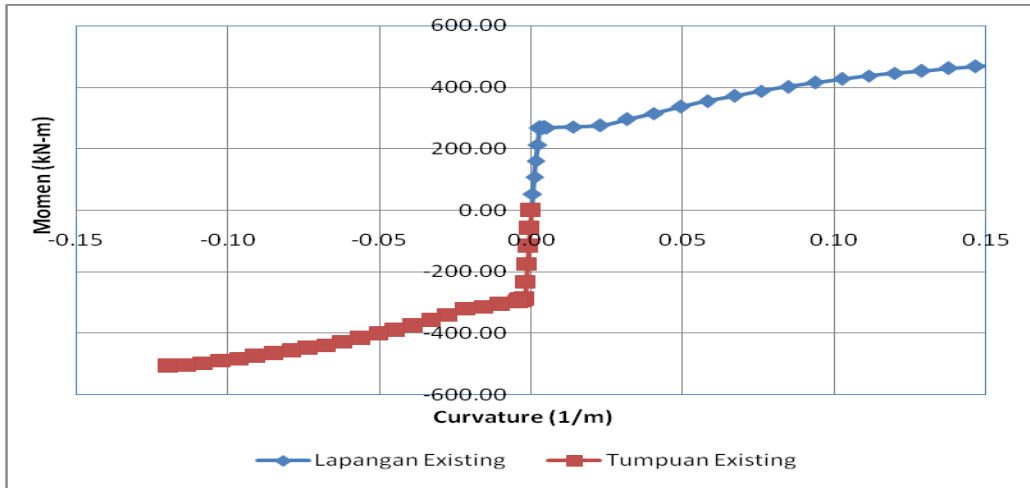
Hampir sama dengan kondisi pelat, hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa, pada bagian balok induk maupun anak juga banyak terjadi korosi pada baja tulangan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena baja tulangan tidak terselimuti dengan baik oleh beton dan juga karena banyak keropos karena kurang pemadatan. Selain itu juga banyak terjadi retak struktural, baik berupa retak lentur maupun retak geser.



Gambar 2. Penulangan Balok Induk Existing

Hasil analisis kapasitas penampang balok existing dengan dimensi dan penulangan seperti pada Gambar 2 diatas, menunjukkan bahwa penulangan masih dalam kondisi *under-reinforced*. Pada bagian lapangan diperoleh ( $M_r$ ) adalah sebesar 325,336 kNm, dan pada tumpuan ( $M_r$ ) adalah -325,336 kNm, dan gaya geser yang mampu diterima ( $V_r$ ) 154,076 kN.. Hasil analisis dengan menggunakan program XTRACT (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3) juga menunjukkan bahwa penampang balok induk dengan tulangan terpasang telah terjadi retak pertama (*first crack*), saat momen yang bekerja melebihi -288,1 kNm pada tumpuan dan pada lapangan melampaui 266,9 kNm.

Dari hasil analisis statika dengan beban layan yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa static menggunakan SAP2000 diperoleh gaya-gaya pada balok induk berupa momen ( $M_u$ ) lapangan max = 406,752 kNm,  $M_u$  tumpuan max = -329,385 kNm dan gaya geser ( $V_u$ ) max = 308,385 kN. Bila dibandingkan antara nilai analisa statika dan analisis kapasitas tahanan penampang balok maka dapat dilihat bahwa gaya-gaya yang bekerja lebih besar dari kemampuan penampang existing, sehingga balok tidak mampu menerima momen lentur dan gaya geser, yang selanjutnya menyebabkan balok mengalami keretakan.

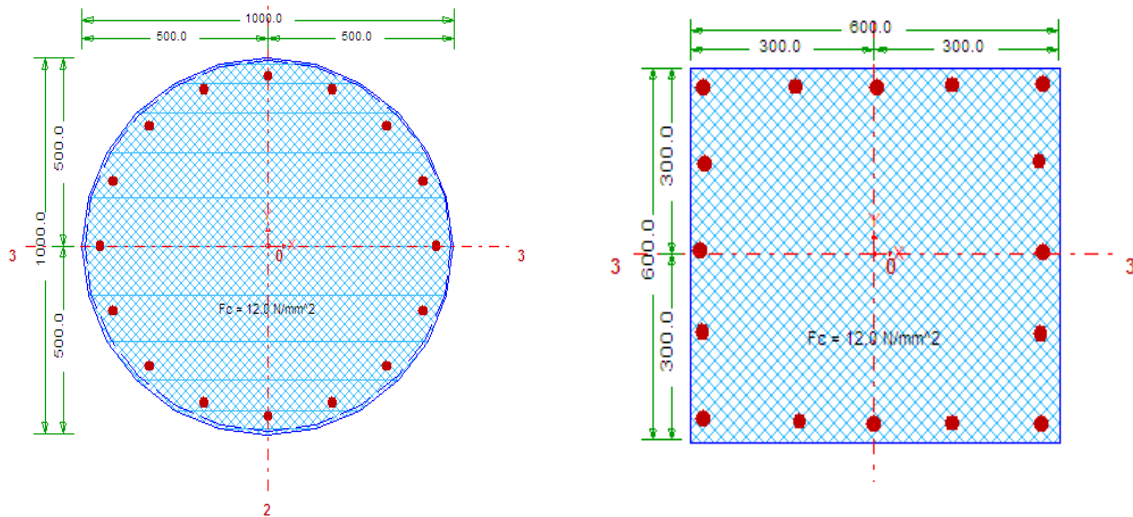


Gambar 3. Hasil analisis penampang balok

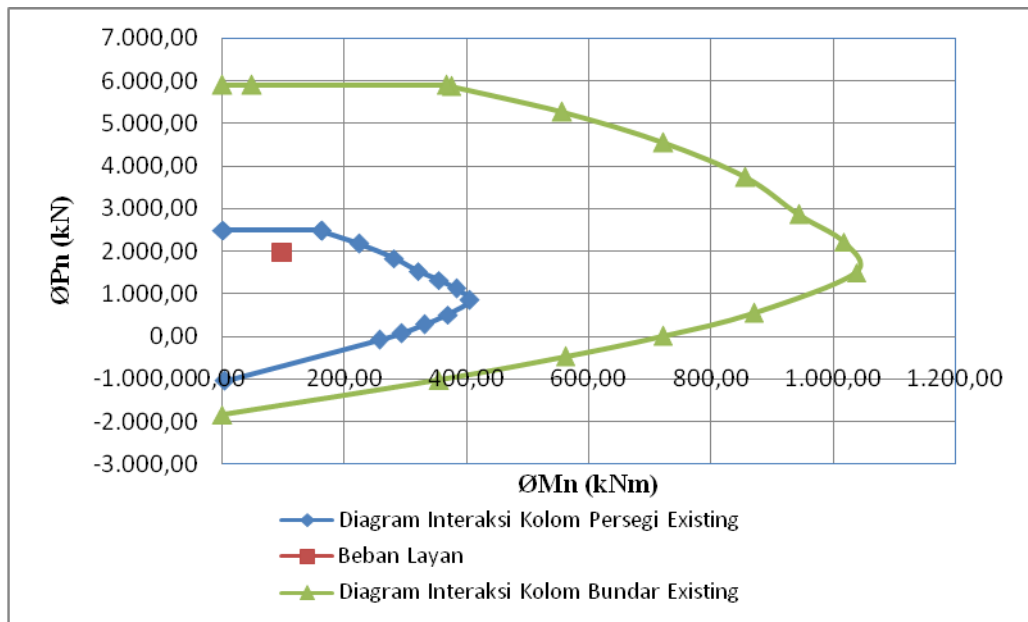
**Kolom Existing**

Dari hasil pengamatan secara visual, menunjukkan bahwa beberapa kolom mengalami retak dan spalling (pengelupasan) selimut beton, sehingga tulangan besinya terekspose dengan udara, yang selanjut menyebabkan korosi pada beberapa tulangan. Jika kondisi ini dibiarkan, penampang kolom akan mengalami penurunan kinerja.

Berdasarkan analisa kapasitas penampang kolom dengan dimensi dan penulangan seperti pada Gambar 4 dan secara ringkas ditampilkan pada Gambar 5 berupa diagram interaksi kolom, terlihat bahwa penampang kolom terpasang (existing) masih mampu menerima beban layan yang bekerja, Nampak beban layan  $P_u$  maks = 1983,984 dan  $M_u$  maks = 98,6225 kNm masih terletak di dalam batas diagram interaksi penampang existing.



Gambar 4. Penampang Kolom Existing



Gambar 5. Diagram Interaksi penampang kolom bundar

## REKOMENDASI PERBAIKAN

### Perbaikan pelat lantai

Secara kapasitas pelat existing masih mampu menerima beban layan yang bekerja, yang menjadi masalah utama adalah terjadi retak, banyak keropos dan korosi pada tulangan besinya. Solusi perbaikannya adalah untuk bagian yang retak adalah dengan melakukan *injeksi atau grouting* dengan bahan *epoxy resin* kedalam bagian retak (IAEE, 2013). Selanjutnya tulangan yang terekspose dan yang mengalami korosi harus dibersihkan selanjutnya baja tulangan dan bagian yang keropos ditutup dengan lapisan penutup akhir/seal berupa mortar. (Bahan-bahan tersebut sudah banyak beredar dipasaran). Supaya antara beton lama dan mortar yang baru dapat menyatu maka pada bagian permukaan beton lama harus dilapisi dengan lem beton (*bonding agent*).

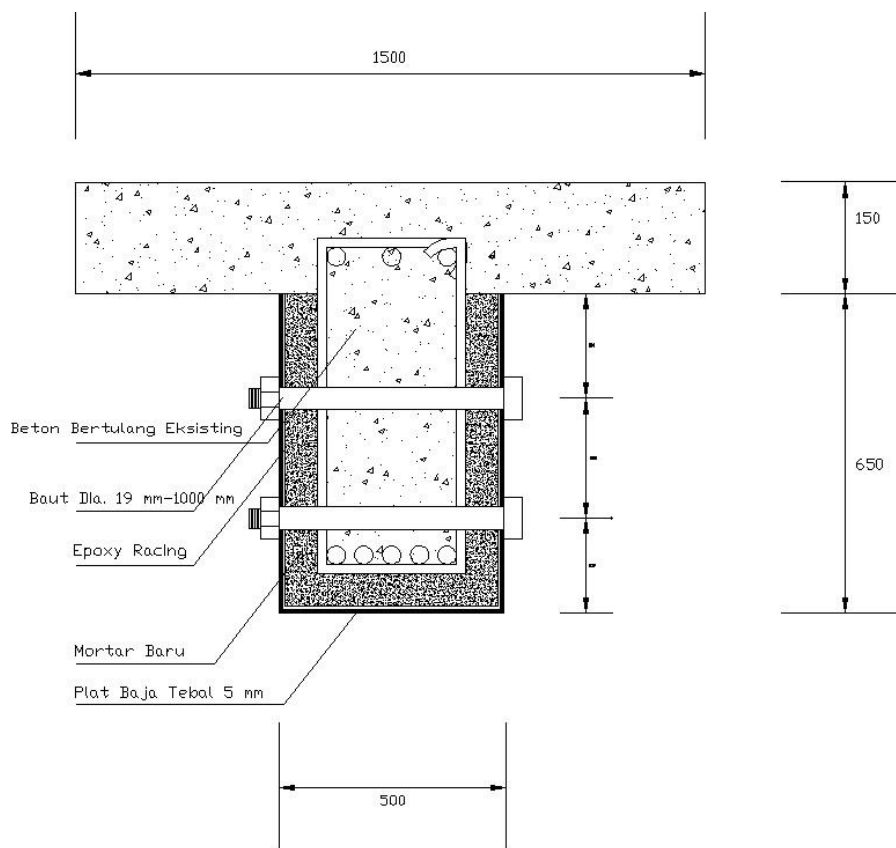
### Perbaikan Balok

Serupa dengan retak pada pelat lantai, namun demikian retak pada balok induk maupun balok anak retak yang terjadi lebih lebar dan lebih banyak. Selain itu balok existing tidak mampu menerima beban layan yang bekerja, sehingga perlu dilakukan perkuatan. Sebelum dilakukan perkuatan maka retak-retak yang terjadi harus dilakukan *injeksi/grouting* dengan bahan *epoxy resin*, demikian juga dengan korosi-korosi yang terjadi harus dibersihkan, selanjutnya tulangan besi yang terlihat ditutup kembali dengan mortar. Serupa dengan pelat supaya antara beton lama dan mortar yang baru dapat menyatu maka pada bagian permukaan beton lama harus dilapisi dengan lem beton (*bonding agent*).

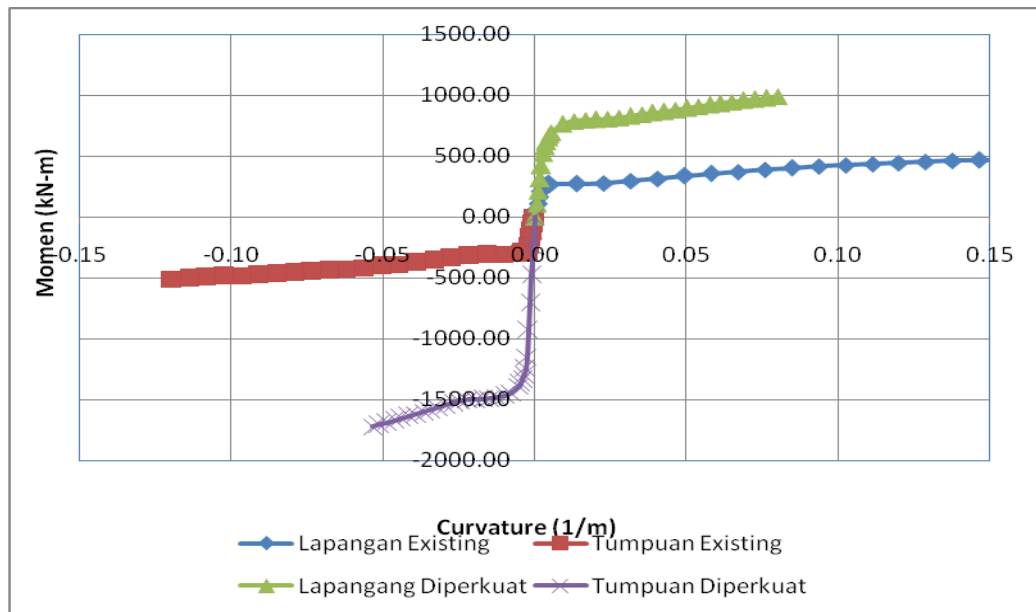
Strategi perkuatan balok yang digunakan adalah dengan meningkatkan kapasitas lentur dan geser penampang balok ekisting yaitu dengan menambahkan tulangan lentur dan geser pada balok

serta memperbesar dimensi penampang balok (IAEE, 2013).

Dalam pemilihan teknik perkuatan yang perlu diperhatikan adalah teknik pelaksanaan, biaya, material yang tersedia dan tenaga pelaksana di lapangan. Dari beberapa metoda yang ada, untuk konstruksi balok induk Masjid Agung Bima disarankan untuk memilih teknik perkuatan dengan menambahkan tulangan dan pelat baja, dengan menempatkannya pada bagian tarik (bawah balok) sebagai tulangan untuk menahan momen lentur dan pada badannya (web) untuk menahan gaya geser. Agar pelat baja menyatu dengan balok existing, maka pelat baja dilekatkan dengan bahan *epoxy adhesive* dan *dianchor* pada balok existing. Detail penampang melintang perkuatan balok induk dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini . Sedangkan balok anak tidak perlu dilakukan perkuatan, cukup dengan menginjeksi dengan bahan injeksi pada bagian yang retak, kemudian menambahkan selimut beton baru, pada bagian-bagian balok yang tulangnya terekspose dengan udara. Hasil analisis balok existing dan perkuatan dapat dilihat pada grafik pada Gambar 7. Dari grafik terlihat bahwa kapasitas balok existing pada bagian lapangan sebesar 476,5 kNm dan tumpuan sebesar 507,3 kNm. Setelah dilakukan perkuatan kapasitas balok mencapai 988,70 kNm pada bagian lapangan dan 1722,00 kNm pada bagian tumpuan. Hasil ini membuktikan bahwa perkuatan balok tersebut mampu meningkatkan kapasitas balok existing.



Gambar 6. Detail Perkuatan Balok Induk

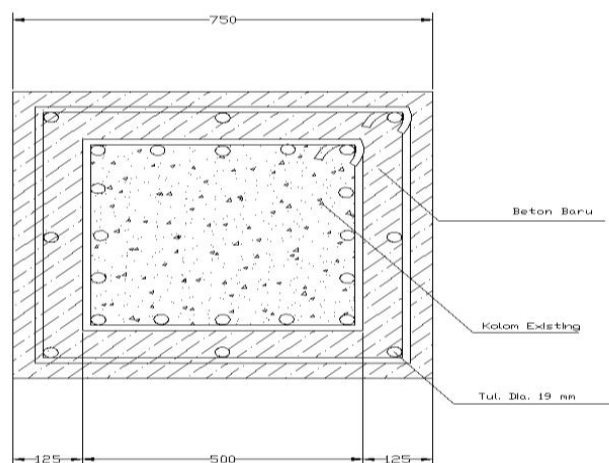


Gambar 7. Hasil analisis penampang balok perkuatan

### Perbaikan Kolom

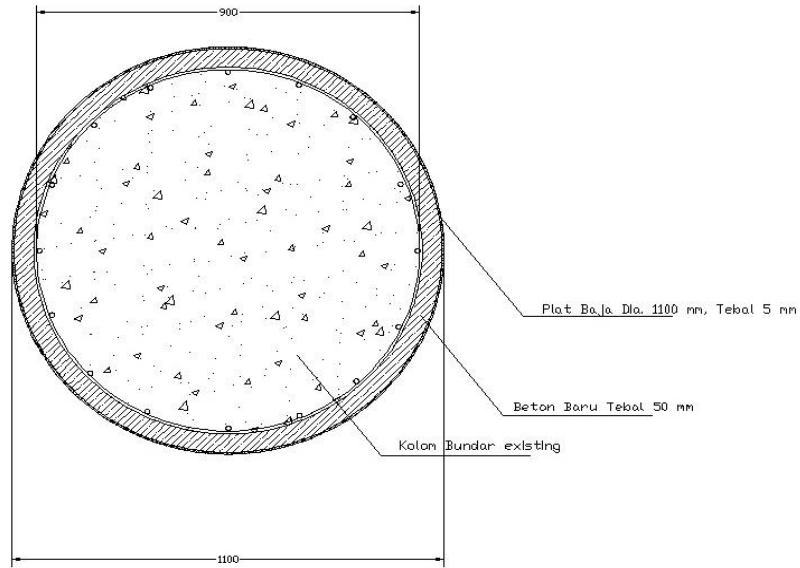
Permasalahan utama pada kolom adalah retak dan spalling (pengelupasan) selimut beton, strategi penyelesaian masalah tersebut adalah memberikan selimut beton kembali yaitu dengan cara memberikan pengekanan (*confinement*) pada penampang kolom dengan cor-coran baru atau dengan pelat baja yang dipasang melingkar sepanjang tinggi kolom. Pemasangan bahan *confinement* ini selain sebagai pelindung (selimut beton), sekaligus dapat berfungsi menambah kekuatan kolom. Sebelum diberikan *confinement* beton lama atau selimut beton lama yang sudah retak atau yang dianggap rapuh (tidak memiliki kekuatan) dikupas atau dihilangkan. Selanjutnya pada permukaan beton lama diberikan lem beton, sebelum dilakukan pengecoran beton baru atau pemasangan pelat baja.

Untuk konstruksi kolom Masjid Agung Bima disarankan menggunakan cara menambahkan cor-coran baru untuk kolom penampang persegi, dan dengan pelat baja untuk kolom penampang bundar. Detail penampang kolom perkuatan dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9 dibawah ini.



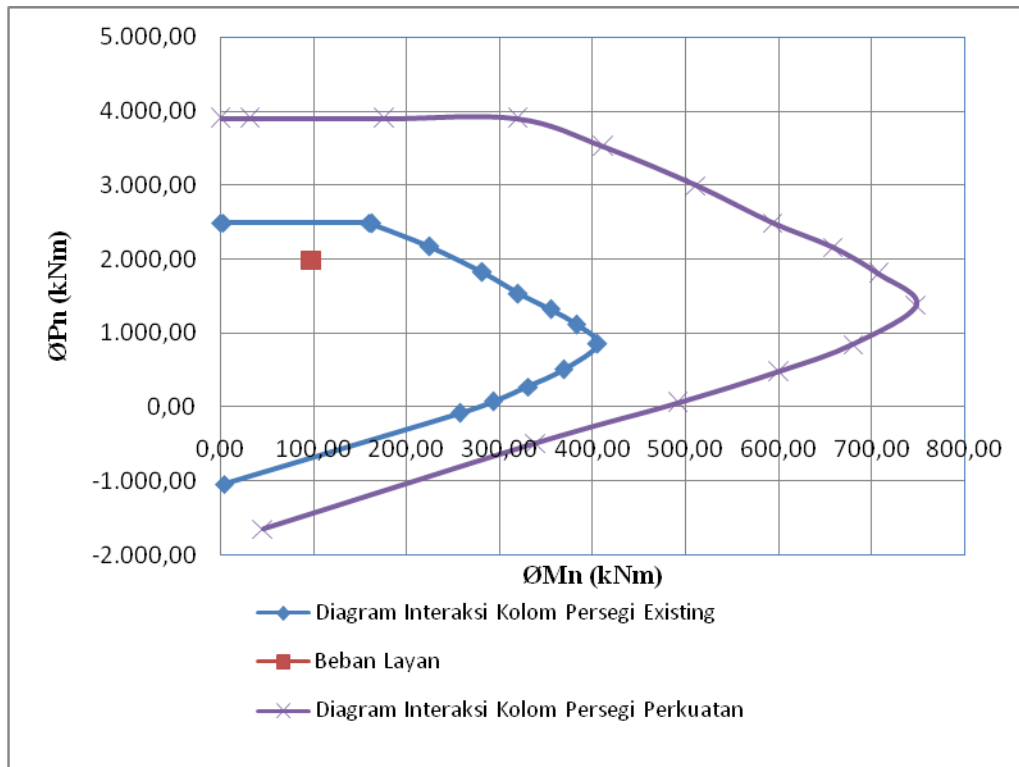
Gambar 8. Detail Perkuatan Kolom Persegi



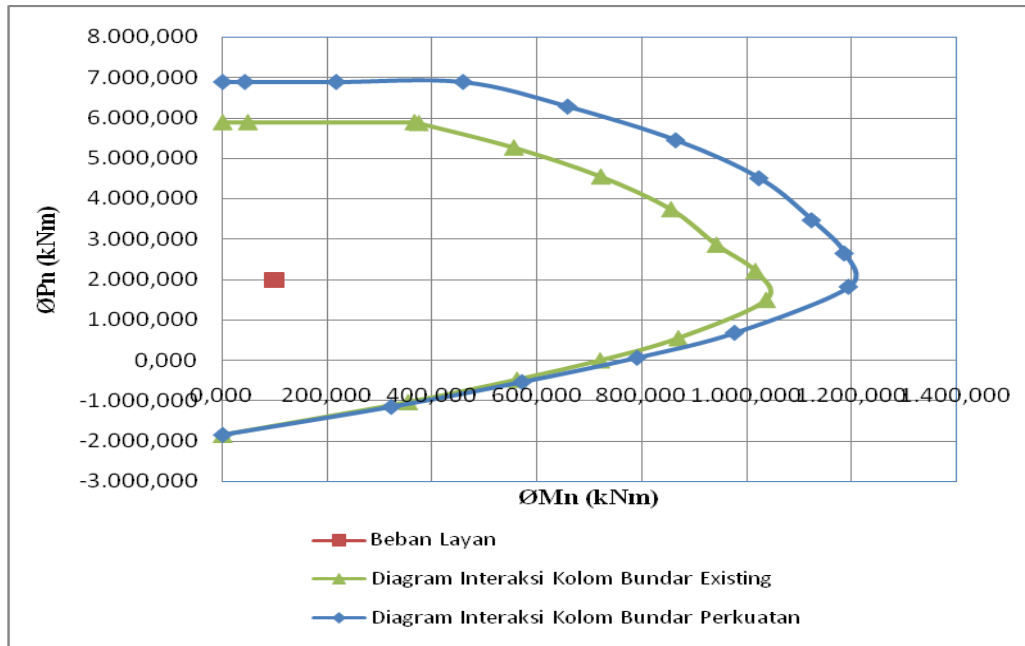


Gambar 9. Detail Perkuatan Kolom Bundar

Hasil analisis penampang kolom perkuatan dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11. Hasil analisis menunjukkan bahwa adanya perkuatan telah meningkatkan kapasitas tahanan penampang kolom, seperti nampak berturut-turut pada Gambar 9 dan 10 untuk kolom persegi dan kolom bundar.



Gambar 10. Diagram Interaksi kolom persegi perkuatan



Gambar 11. Diagram Interaksi kolom bundar perkuatan

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari uraian diatas adalah timbulnya retak-retak pada struktur balok dan pelat Masjid agung disebabkan karena mutu beton yang terpasang tidak memenuhi persyaratan sebagai yang ditargetkan  $f'_c$  17,5 MPa. Sehingga menyebabkan kapasitas balok induk tidak mampu menerima beban layan. Sedangkan korosi pada tulangan terjadi, karena tulangan tidak terlindungi dengan baik dengan selimut beton. Retak-retak yang terjadi harus dilakukan *injeksi/grouting* dengan bahan *epoxy resin*, demikian juga dengan korosi-korosi yang terjadi harus dibersihkan, selanjutnya tulangan besi yang terlihat ditutup kembali dengan mortar. Hasil analisa kapasitas penampang menunjukkan bahwa perkuatan balok dan kolom dengan menambahkan tulangan dan pelat baja mampu meningkatkan kapasitas tahanan kondisi existing.

### Saran

Agar balok induk dan kolom lebih mampu menerima beban layan yang bekerja, maka disarankan dilakukan perkuatan dengan menambahkan pelat baja, dengan menempatkannya pada bagian tarik (bawah balok) sebagai untuk menahan momen lentur dan pada badannya (web) untuk menahan gaya geser. Untuk kolom dengan cara menambahkan cor-coran baru untuk kolom penampang persegi, dan dengan pelat baja untuk kolom penampang bundar.

Selain itu perkuatan juga dapat dilakukan dengan memperbesar dimensi penampang balok/kolom existing, sehingga analisis penampang dapat dilakukan dengan lebih sederhana, namun yang perlu diperhatikan adalah ikatan antara beton lama dan baru supaya dapat menyatu dengan baik. Untuk melihat kinerja balok existing maupun balok dengan perkuatan sebaiknya perlu dilakukan uji beban dilapangan, dengan memantau perubahan defleksi yang terjadi.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C805-02, 2002, *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*, ASTM International Vol. 04. 02, USA.
- CSI, 1999, Tutorial SAP2000 Student Version 7.4, Computers and Structures, Inc, Berkeley, California, USA.
- David, D., Jhelal, C., Bodin, F.B., Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Beam using Composite Material.
- IAEE, 2013, *Repair, Restoration and Strengthening of Building*, [http://www.nicee.org/iaee/E\\_Chapter9.pdf](http://www.nicee.org/iaee/E_Chapter9.pdf).
- Ngudiyono, 2001, Perilaku Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang Pasca Bakar dengan *Carbon Fiber Strips*, Thesis, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Pujiastuti, E. K., 2009, Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate Sebagai Bahan Komposit Eksternal Pada Struktur Balok Beton Bertulang, dinamika TEKNIK SIPIL, Volume 9, Nomor 2.
- Purwanto, E. , 2001, Perkuatan Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang Pascabakar dengan *Carbon Fiber Strips*, Thesis, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- SIKA, 1997, *Strengthening of Structures with Carbon Fibre Reinforced Polymer Stips or Stell Plates*, Sika, Swiss.
- SNI 03-2847, 2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, LPMB Dep. Pekerjaan Umum RI, Bandung.
- XTRACT, 2004, Cross Section Analysis Of Structural Components, <http://www.imbsen.com>.