

PERKUATAN (*STRENGTHENING*) STRUKTUR KOLOM DENGAN METODA PENAMBAHAN TULANGAN

Ignatius Christiawan

Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRACT

Ignatius Chistiawan, in this paper explain that in the management of buildings, frequent damage to buildings due to the increasing load beyond the load plan. Safety of building users to the dangers of building collapse is the main priority.

The addition of load beyond the load on the building plans because of changes in building functions often lead to the collapse of the building. The addition of load beyond the load on the building plans because of changes in building functions often lead to the collapse of buildings. Structural strength evaluation to the condition of existing building is required and when it is necessary to give reinforcement to the plate, beams and columns before adding a new load. additional reinforcement is one way of strengthening the column. Research was focused on performance evaluation of structure on existing condition relate at regulation of the Procedure of Concrete Structure Calculation for the SNI 2847-2002.

From some previous research, the basics of analysis and design of flexible and practical calculation examples retrofitting columns with the addition of reinforcement can be concluded that this method is easy and practically implemented and can improve the flexural strength of reinforced concrete columns.

Keywords : load addition, evaluation, strength, safety.

PENDAHULUAN

Dalam pengelolaan infrastruktur bangunan gedung, selama kurun waktu penggunaan gedung sering terjadi kerusakan bangunan sebagai akibat beberapa sebab, penambahan beban diluar beban rencana, sebagai akibat alih fungsi bangunan adalah sebab yang umum terjadi.

Sebuah gedung 3 lantai menjadi studi kasus dalam penelitian ini, dimana terjadi kerusakan pada balok dan dibutuhkan perkuatan pada kolom akibat penambahan beban diluar rencana sebagai akibat alih fungsi bangunan tersebut.

Alih fungsi bangunan menyebabkan terjadi perubahan pembebanan dari 250 kg/m² menjadi 500 kg/m² sehingga dibutuhkan evaluasi kekuatan struktur kondisi *existing*. Penelitian ini dilakukan untuk evaluasi kekuatan struktur bangunan pada kondisi *existing*, memberikan alternatif solusi perkuatan, menentukan spesifikasi teknis metode pelaksanaan perkuatan berdasar peraturan beton SNI-2847-2002, dan melakukan analisis struktur ulang setelah perkuatan.

Tulisan ini diharapkan dapat memberi masukan kepada pengelola gedung dalam mengatasi permasalahan yang muncul akibat penambahan beban, sehingga menjamin keamanan bagi pengguna bangunan dan kepastian hukum bagi pengelola bangunan.

LANDASAN TEORI

Kerusakan Struktur Bangunan

Pada umumnya bangunan gedung direncanakan dapat berfungsi selama masa layan tertentu. Namun selama masa layannya, bangunan rentan terhadap kerusakan akibat berbagai hal.

Setiap kerusakan diusahakan dapat dideteksi sedini mungkin, sebab satu kerusakan dapat merembet, memicu dan memperparah kerusakan lainnya. Beberapa penyebab kerusakan struktur antara lain (Triwiyono, 2005) :

- Masalah *durability* akibat kualitas material yang kurang baik
- Kesalahan perencanaan dan pelaksanaan
- Lingkungan agresif yang belum diantisipasi saat perencanaan
- *Overloading* akibat kenaikan beban karena perubahan fungsi/pemakaian bangunan.
- Kenaikan *life-span*.
- Penyebab khusus dan beban berlebih : gempa, banjir, kebakaran.
- *Life-span* yang berbeda-beda antara bahan-bahan struktur dan non struktur.

Evaluasi Kekuatan Struktur Bangunan *Existing* mengacu pada SNI-03-2847-2002

Evaluasi Kekuatan Struktur

Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung SNI - 03 - 2847-2002 mengatur mengenai evaluasi kekuatan struktur yang telah berdiri sebagai berikut :

Evaluasi Kekuatan

Bila timbul suatu keraguan mengenai keamanan dari suatu struktur atau komponen struktur pejabat bangunan yang berwenang boleh meminta suatu penilaian terhadap kekuatan struktur dengan cara analitis ataupun dengan uji beban, atau dengan kombinasi analisis dan uji beban.

Bila pengaruh defisiensi kekuatan struktur diketahui dengan baik dan biladimensi struktur serta sifat bahan yang dibutuhkan untuk tujuan analisis dapat diukur nilainya, maka evaluasi kekuatan struktur secara analitis berdasar data hasil pengukuran tersebut dianggap sudah memadai.

Bila pengaruh defisiensi kekuatan struktur tidak diketahui dengan baik atau bila dimensi struktur serta sifat bahan yang dibutuhkan untuk tujuan analisis tidak memungkinkan untuk diukur nilainya, maka uji beban harus dilakukan bila struktur tersebut diinginkan untuk tetap berfungsi.

Bila keraguan terhadap keamanan struktur atau bagian struktur adalah terkait dengan penurunan kinerja struktur sebagai fungsi waktu, dan bila respon struktur selama uji beban ternyata masih memenuhi kriteria penerimaan, maka struktur atau bagian dari struktur tersebut boleh tetap digunakan untuk jangka waktu tertentu. Pemeriksaan secara berkala harus dilakukan jika dianggap perlu oleh konsultan penilai.

Penentuan Dimensi Struktur dan Sifat Bahan yang Diperlukan

Dimensi struktur dan sifat bahan ditentukan sesuai ketentuan berikut :

- Dimensi komponen struktur harus diukur pada bagian atau penampang yang kritis.
- Lokasi dan ukuran batang tulangan, kawat jaring las, atau tendon harus ditentukan dengan cara pengukuran. Penentuan lokasi tulangan boleh dilakukan berdasarkan gambar kerja yang tersedia asalkan gambar tersebut telah dikonfirmasi dengan melakukan pemeriksaan acak di beberapa tempat.
- Bila dibutuhkan, kuat tekan beton harus ditentukan berdasar hasil uji silinder beton atau sampel bor inti yang diambil dari bagian struktur yang kekuatannya diragukan. Kuat tekan beton harus ditentukan sesuai dengan persyaratan Evaluasi dan penerimaan beton. Metoda pengambilan dan pengujian sampel bor inti harus dilakukan sesuai dengan ketentuan dalam SNI-03-2492-1991 dan SNI-03-3403-1991-03.
- Bila dibutuhkan, kuat tarik batang tulangan atau tendon harus ditentukan berdasarkan hasil uji tarik benda uji yang mewakili bahan struktur yang kekuatannya diragukan.
- Bila dimensi dan sifat fisik bahan yang diperlukan ditentukan melalui pengukuran dan pengujian dan bila perhitungan dapat dilakukan sesuai dengan ketentuan, maka faktor reduksi kekuatan (ϕ) yang berlaku pada kuat rencana komponen struktur boleh diperbesar, tetapi faktor reduksi kekuatan (ϕ) tersebut tidak boleh melebihi nilai seperti yang tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Faktor reduksi kekuatan ϕ untuk evaluasi

No	Beban yang bekerja	ϕ
1	Lentur, tanpa beban aksial	0,90
2	Tarik aksial, dan tarik aksial dengan lentur	0,90
3	Tekan aksial dan tekan aksial dengan lentur :	
	- komponen dengan tulangan spiral	0,80
	- komponen lain	0,75
4	Geser dan/atau puntir	0,80
5	Tumpuan pada beton	0,75

Evaluasi Kekuatan Struktur Bangunan *Existing* dengan cara analitis

Dalam melakukan evaluasi kekuatan struktur dengan cara analitis dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Pengumpulan Data
Data-data yang diperlukan adalah data dimensi komponen struktur serta kualitas bahan yang meliputi antara lain :
 - Kuat tekan beton
Sebagai data masukkan dalam melakukan analisis struktur, maka perlu diketahui kualitas beton, terutama kuat tekannya. Untuk mengetahui kuat tekan beton dapat dilakukan uji *non-destructive test* (uji tidak merusak) dengan pengambilan sampel bor inti (*core case*), *Schmidt Hammer Test*, *UPV (Ultrasonic Pulse Velocity)* dan lain-lain. Pengujian bahan dilakukan pada bagian struktur yang pada dugaan awal diragukan kekuatannya.
 - Baja Tulangan
Tegangan leleh baja tulangan ditentukan berdasar data mutu baja yang digunakan pada pelaksanaan pembangunan (*as build drawing*).
- Penilaian Kekuatan Penampang Komponen Struktur.
Apabila dimensi komponen struktur dan kualitas bahan sudah diketahui, maka kekuatan struktur dalam mendukung momen, gaya geser, dan aksial dapat dianalisis. Komponen struktur harus mempunyai kekuatan tersedia R (*resistance*) minimum sama dengan kekuatan diperlukan atau kuat perlu U (*ultimate*) atau dapat dituliskan $R \geq U$. Kuat tersedia R adalah sama dengan kapasitasnya (kuat nominal) dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ sesuai pasal 22.2.5 SNI-2847-2002. Kuat perlu U dihitung berdasarkan kombinasi beban, masing-masing dikalikan dengan faktor beban γ sesuai pasal 11.1. SNI-2847-2002.

Perbaikan dan Perkuatan Struktur

Konsep Dasar Perbaikan (*Retrofitting*)

Triwiyono (2005) menyatakan bahwa perbaikan atau perkuatan struktur atau elemen-elemen struktur diperlukan apabila terjadi degradasi bahan yang berakibat tidak terpenuhi lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu : kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffnes*), stabilitas (*stability*) dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan (*durability*). Tidak terpenuhinya persyaratan-persyaratan tersebut tidak hanya disebabkan karena kerusakan saja akan tetapi perubahan peraturan (*code*) dengan persyaratan yang lebih ketat, mungkin saja struktur yang sebelumnya dianggap memenuhi persyaratan, menjadi tidak lagi, sehingga diperlukan tindakan perkuatan.

Ada dua jenis perbaikan yang dapat dilakukan dalam pekerjaan *retrofitting* yaitu *repairing* dan *strengtheing*. Istilah *repairing* diterapkan pada bangunan yang sudah rusak, dimana telah terjadi penurunan kekuatan, untuk dikembalikan seperti semula. Sedangkan *strengtheing* adalah suatu tindakan modifikasi struktur, mungkin belum terjadi kerusakan, dengan tujuan untuk menaikkan kekuatan atau kemampuan bangunan untuk memikul beban-beban yang lebih besar akibat perubahan fungsi bangunan dan stabilitas.

Sebelum perbaikan/perkuatan dilaksanakan perlu dikaji terlebih dahulu terhadap aspek jenis dan penyebab kerusakan, tingkat kerusakan, biaya, ketersediaan material, alat, tenaga dan waktu pelaksanaan serta estetika bangunan dan arsitektur. Keputusan untuk melaksanakan perbaikan merupakan hasil kompromi kajian tersebut. Disamping itu masih perlu dipertimbangkan, apakah perbaikan juga akan mengantisipasi adanya resiko yang akan datang misalnya terjadinya gempa, kebakaran atau memenuhi kriteria perencanaan terbaru. Idealnya perbaikan harus memenuhi kriteria perencanaan terbaru yang lebih ketat dari perencanaan sebelumnya.

Pemilihan Bahan Perbaikan dan Perkuatan

Setelah melakukan kajian mendalam dan mengetahui jenis perkuatan yang dibutuhkan dan dimungkinkan struktur dapat diperkuat, maka langkah selanjutnya adalah pemilihan metoda perbaikan untuk masing-masing elemen struktur. Didalam pemilihan ini juga terkait pemilihan bahan agar diperoleh hasil perbaikan yang kekuatannya sesuai dengan yang diinginkan dan tahan lama. Secara umum persyaratan bahan untuk perbaikan/perkuatan adalah :

- Susut kecil.
- Melekat secara baik.
- Muaihan dan modulus elastisitas tidak jauh dengan bahan yang diperbaiki.
- Permeabilitas rendah.

- Tahan lama.

Selain persyaratan-persyaratan tersebut terpenuhi, dalam pemilihan material perlu dikaji kemudahan dalam pelaksanaan, biaya terjangkau, tenaga ahli dan pelaksana tersedia serta waktu pelaksanaan. Jenis material perbaikan struktur beton biasanya berbahan dasar semen (*cementious based*), *epoxy*, *elastomeric sealant*, *bentonite* dan lain lain.

Pemilihan Metoda Perbaikan

Beberapa metode perbaikan yang dapat digunakan antara lain :

- *Drypacking*, Bagian beton yang rusak atau berongga dibersihkan atau dibuang kemudian diisi dengan mortar atau beton yang mempunyai kandungan air yang rendah untuk mengurangi susut. Metode ini kurang cocok untuk mengisi rongga atau retak yang aktif.
- Injeksi (*grout*), Digunakan untuk perbaikan elemen atau bagian elemen yang retak. Bahan injeksi, misalnya *epoxy resin* yang bersifat encer dimasukkan pada celah/retak dengan cara dipompa (diberi tekanan). Sebelumnya dibuat lobang-lobang dengan jarak tertentu sebagai jalan masuk bahan injeksi pada bagian yang retak tersebut. Kemudian bagian-bagian retak yang lain diberi penutup (*diplester*) untuk menghindari kebocoran. Setelah itu bahan diinjeksikan dengan tekanan, masuk ke dalam celah/retak sampai terlihat pada lobang-lobang lain telah terisi atau mengalir keluar. Metoda ini dapat digunakan untuk mengisi retak-retak yang kecil dan cukup dalam dimana tidak diinginkan adanya rongga-rongga dalam retak.
- *Shotcrete*, Metoda ini dilakukan dengan cara menyemprotkan mortar atau beton (biasanya dengan ukuran agregat yang kecil) pada permukaan beton yang diperbaiki dengan suatu alat bertekanan. Melalui pipa yang memiliki *nozle*, mortar atau beton disemprotkan dengan kecepatan tinggi, sehingga memungkinkan terjadi lekatan yang kuat pada permukaan yang diperbaiki. *Shotcrete* sangat cocok digunakan untuk perbaikan permukaan yang vertikal atau bagian langit-langit, misalnya permukaan samping dan bawah balok, permukaan bawah pelat. Teknik pelaksanaan *Shotcrete* dibedakan menjadi *wetmix* dan *drymix*.
- *Prepacked Concrete*, Metoda ini dilakukan jika kerusakan beton sudah sangat parah, misalnya retak yang besar dan banyak serta kuat tekan beton menurun. Terlebih dahulu beton pada bagian ini dikupas dibersihkan dan diisi dengan beton baru. Beton baru tersebut dibuat dengan cara mengisi ruang kosong dengan agregat hingga penuh. Kemudian

diinjeksi dengan mortar yang sifat susutnya kecil dan mempunyai ikatan yang baik dengan beton yang lama. Pada daerah vertikal atau permukaan bawah, pekerjaan ini perlu dibantu dengan bekesting.

- *Jacketing*, Bahan berupa selubung yang dapat melindungi beton terhadap kerusakan. Bahan selubung ini dapat berupa metal baja, karet, beton, komposit. Metoda ini umum digunakan untuk perbaikan kekuatan kolom.
- Penambahan Tulangan (*external reinforcement*), Digunakan untuk memperkuat elemen struktur (balok, pelat atau kolom) yang rusak cukup parah atau membutuhkan kekuatan, agar dapat berfungsi lagi memikul beban atau beban baru yang harus dipikul. Perkuatan pada balok dilakukan jika balok sudah melendut dan/atau berdasarkan analisis kekuatan sisa tidak mampu lagi memikul beban rencana atau beban baru yang dibebankan akibat perubahan fungsi bangunan. Tulangan tambahan tersebut dapat berupa tulangan longitudinal ataupun vertikal (begel atau pelat baja). Sebagai tulangan longitudinal tambahan tersebut dapat juga digunakan kabel pra tekan dengan cara *external prestressing*, cara ini dilakukan jika retak cukup lebar dan banyak serta tidak memungkinkan balok dibongkar. Pada cara ini kabel pra tekan ditempatkan di bawah atau di samping dengan memberikan gaya tarik tertentu sehingga menimbulkan lendutan ke atas dan akhirnya retak-retak pada balok tersebut dapat tertutup kembali. Penambahan tulangan pada pelat dengan cara dilakukan pengelupasan selimut beton kemudian tulangan tambahan dipasang, ditutup dengan beton baru, misalnya dengan *shortcrete*. Penambahan tulangan pada kolom dapat dilakukan bersamaan dengan metoda *jacketing* diatas. Yang perlu diperhatikan pada kolom adalah bahwa tulangan tambahan harus diangkerkan pada fondasi, balok atau pelat.

METODA PENELITIAN

Obyek penelitian adalah gedung 3 lantai yang merupakan gedung perkuliahan. Dalam penelitian ini, alat yang digunakan meliputi *Rebar Locator*, *Schmidt Rebound Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test*. Penelitian diawali dengan persiapan/*setting* alat di laboratorium dengan melakukan kalibrasi, untuk memastikan alat berfungsi dengan baik dan akurat. Pengambilan data pada gedung dilakukan pada 5 titik kolom lantai 1 (1-C ; 2-C ; 0-B ; 0-C ; 1-E). Dari hasil uji kuat tekan yang didapat, dihitung nilai rerata dan deviasi standar dari seluruh hasil uji. Dalam Triwiyono (2005) dinyatakan bahwa penetapan nilai kuat tekan beton f_c' yang digunakan untuk evaluasi kekuatan struktur tidak boleh

diambil lebih besar dari nilai terkecil dari 2 nilai kuat tekan yang dihitung dengan persamaan (1) dan (2) berikut:

- Menurut pasal 7.6.5). (4) SNI 03-3403-1991-03 disyaratkan bahwa kuat tekan rata-rata dari tiga beton inti adalah minimal sama dengan $0,85 f_c'$ atau jika diperhitungkan suatu kemungkinan (*probability*) rentang kuat tekan minimum, dihitung dengan :

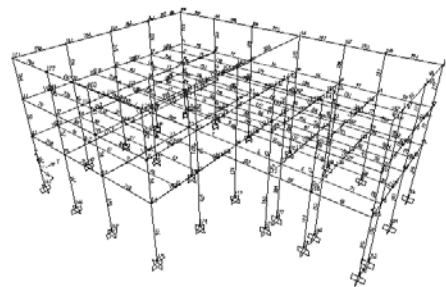
$$f_c' = \frac{f_c' \text{ rerata 3 benda ujia kuat tekanan terendah}}{0,85}$$

..... (1)

- Tidak ada satupun beton inti yang kuat tekannya kurang dari $0,75 f_c'$, sehingga nilai kuat tekan beton dihitung dengan :

$$f_c' = \frac{f_c' \text{ terendah} \cdot h}{0,75} \dots\dots\dots (2)$$

Data berupa *as build drawing* dan hasil uji bahan dengan beban baru mengacu pada SNI 03-1727-1989 untuk beban statik dan SNI-1726-2002 untuk beban dinamik (beban gempa *response spectrum*) dimodelkan dengan program analisis struktur SAP 2000 versi 10.0.7 (gambar 1).



Gambar 1 Pemodelan Gedung 3 Lantai

Hasil analisis struktur didapatkan momen lentur, gaya geser dan gaya aksial pada balok dan kolom portal gedung. Analisis Beban Statik Dorong (*Pushover Analysis*) dilakukan untuk mendapatkan nilai daktilitas gedung dan nilai faktor reduksi (*R*) gedung sebenarnya. Jika tidak terpenuhi maka perhitungan diulang kembali dengan memasukkan nilai (*R*) hasil analisis beban statik dorong pada perhitungan beban dinamik. Data hasil uji bahan digunakan untuk menghitung kekuatan sisa struktur kondisi eksisting dengan program BETON 2000.

Alternatif usulan teknis perkuatan (*strengthening*) bangunan dilakukan dengan mengacu pada *output* dari analisis struktur dengan SAP 2000 dan BETON 2000.



Gambar 3 Operasional UPV



Gambar 2 Operasional rebar locator



Gambar 4 Operasional schmidt rebound

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data Lapangan

Dari hasil uji bahan kondisi eksisting sesuai persamaan (1) dan (2) didapat kuat tekan beton $f'_c = 17$ MPa dan tegangan leleh baja tulangan berdasar *as build drawing* didapatkan $f_y = 390$ MPa.

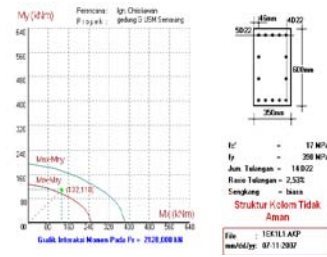
Evaluasi Struktur

Hasil analisis struktur kolom didapatkan bahwa kolom lantai 1 : 1E ; 2A ; 2E ; 2I ; 3E ; 3 I perlu perkuatan lentur, seperti contoh Gambar 5. Hasil analisis struktur kolom selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

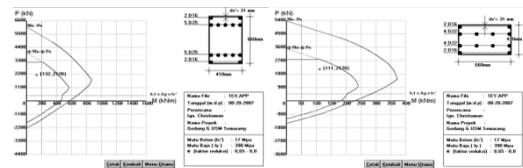
Usulan Perkuatan Struktur

Perkuatan lentur kolom dilakukan dengan metoda penambahan tulangan. Tulangan tambahan dirangkaikan pada kolom asli dengan ikatan beugel d8-15 cm, setelah terlebih dahulu dilakukan pengelupasan lapis plesteran dan selimut beton setebal 1 cm. Tulangan tambahan diangkerkan terhadap pelat lantai sedalam 10 cm dan disela lubang diisi dengan *epoxy*. Kemudian tutup

tulangan dengan selimut beton baru menggunakan *epoxy mortar* kuat tekan tinggi dengan $f'_c 30$ MPa, seperti tampak pada Gambar 6.



Gambar 5. interaksi P dan M



Gambar 7 interaksi P dan M kolom 1E

Setelah dilakukan penambahan tulangan kolom, maka dilakukan analisis ulang menggunakan Program BETON 2000 pada kolom-kolom tersebut dengan beban rencana P_u , M_{ux} dan M_{uy} hasil analisis struktur SAP 2000 beban baru seperti contoh Gambar 7. Hasil analisis perkuatan kolom selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil uji bahan kondisi eksisting didapat $f'_c = 17$ MPa dan $f_y = 390$ MPa.
- Hasil analisis struktur kolom lantai 1 : 1E ; 2A ; 2E ; 2I ; 3E ; 3 I perlu perkuatan lentur. Perkuatan lentur kolom digunakan metode *external reinforcement* dengan penambahan tulangan 8D16 mm.

Saran

Dari hasil analisis dan pembahasan di atas ada beberapa saran yang perlu disampaikan yaitu :

- Pengujian bahan kondisi eksisting selain menggunakan *Schmidt Rebound Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test* diperlukan uji *core case* untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti.
- Untuk mencegah terjadinya kerusakan bangunan, maka setiap terjadi alih fungsi bangunan yang mengakibatkan penambahan beban, harus dilakukan evaluasi kekuatan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

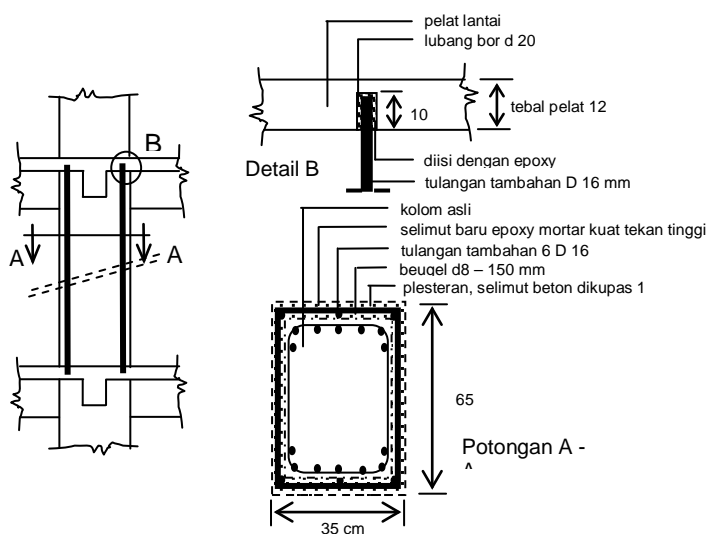
1. Badan Standarisasi Nasional, 2002, **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung**, SNI-2487-2002, Jakarta
2. Badan Standarisasi Nasional, 1989, **Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung**, SNI 03-1727-1989, Jakarta
3. Iswari AY, 2004, **Perkuatan Lentur Balok Tampang Persegi dengan Penambahan Tulangan Menggunakan Perekat Epoxy**, Tesis S2
4. Nguyen,D.M.,Chan, T.K., dan Cheng, H.K., 2003, **Effects of Plates Lenght on the Strength of Reinforced Concrete Beams Bonded with CFRP Plates**, <http://ww.must.edu.my/tkchan/nguyen1999a.pdf>.
5. Triwiyono,A., 2006, **Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton Pasca Gempa dengan FRP, Makalah Seminar Perkembangan Standard dan Methodologi Konstruksi Tahan Gempa**, Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia, Medan.

Tabel 2. Hasil Analisis Struktur Kolom dengan Beban Baru

NO	KODE	NO ELM	DIM (cm)	REDESAIN			KONDISI EKSISTING	
				Pu (KN)	Mux (KNm)	Muy (KNm)	tul terpasang	KETERANGAN
LANTAI 1								
1	1E	168	35 x 60	2128,11	132,22	110,96	14 D 22	perkuatan
2	2A	170	35 x 60	1194,56	249,66	107,72	14 D 22	perkuatan
3	2E	171	35 x 60	2396,04	114,65	106,56	14 D 22	perkuatan
4	2I	172	35 x 60	1204,93	261,27	107,37	14 D 22	perkuatan
5	3E	174	35 x 60	1870,65	190,27	106,27	14 D 22	perkuatan
6	3I	173	35 x 60	1308,50	261,57	107,31	14 D 22	perkuatan

Tabel 3. Hasil Analisis Struktur Kolom dengan Perkuatan

NO	KODE	NO ELM	DIM baru (mm)	REDESAIN			PERKUATAN	
				Pu (KN)	Mux (KNm)	Muy (KNm)	tul terpasang	KETERANGAN
LANTAI 1								
1	1E	168	410 x 660	2199,37	439,14	191,78	14D22 + 8D16	memenuhi
2	2A	170	410 x 660	1274,58	461,87	249,06	14D22 + 8D16	memenuhi
3	2E	171	410 x 660	2103,72	399,65	201,15	14D22 + 8D16	memenuhi
4	2I	172	410 x 660	1167,40	463,38	255,26	14D22 + 8D16	memenuhi
5	3E	174	410 x 660	1909,72	477,92	209,48	14D22 + 8D16	memenuhi
6	3I	173	410 x 660	1358,39	485,76	246,01	14D22 + 8D16	memenuhi



Gambar 6. Perkuatan Kolom dengan penambahan tulangan