

PERKUATAN STRUKTUR BALOK PENOPANG KOLOM TRANSFER RUMAH TINGGAL 3 LANTAI YANG RETAK AKIBAT GETARAN

Reynaldo Pratama Intan¹⁾, M. Shofwan Donny Cahyono²⁾

¹⁾Dosen Teknik Sipil Universitas Widya Kartika ²⁾Dosen Teknik Sipil Universitas Widya
Kartika

e-mail: reynaldo@widyakartika.ac.id¹⁾

ABSTRAK

Dalam merencanakan bangunan rumah tinggal kerap kali perencana tidak memperhitungkan efek dari beban gempa atau getaran yang dapat terjadi pada bangunan, sementara rumah tinggal sangat mungkin memiliki sistem struktur yang tidak beraturan, terutama kolom transfer yang menumpu pada balok. Ketika terjadi beban tambahan dari luar, misalkan gempa ataupun getaran karena proses konstruksi tetangga, sangat mungkin balok yang menahan kolom transfer kapasitasnya tidak cukup dan ditandai dengan retakan geser dan lentur. Dalam studi ini akan menginvestigasi kekuatan struktur eksisting terhadap beban kolom transfer yang ada, kemudian membandingkan 2 sistem perkuatan struktur yaitu concrete jacket dan FRP Jacket untuk diaplikasikan pada balok rumah tinggal yang mengalami retak akibat beban tambahan akibat getaran pada kolom transfer tersebut. Kedua sistem perkuatan ini bisa diaplikasikan, tetapi pada realitasnya jacketing cukup sulit diterima untuk rumah tinggal, karena dengan menambah dimensi struktur, fungsi ruangan jadi tidak bisa maksimal. Di lain sisi dengan FRP Jacket, ukuran elemen struktur tidak berubah, dan fungsi ruangan dapat dipakai seperti sedia kala.

Kata kunci : concrete jacketing, FRP Jacket, Kolom Transfer, Sistem Struktur.

I. PENDAHULUAN

Perencanaan layout rumah tinggal sangat berbeda dengan perencanaan pada gedung. Pada gedung layout tiap lantai cenderung sama dan tipikal, sedangkan pada rumah tinggal layout pada lantai 1 dan lantai 2 bisa sangat berbeda. Hal ini mengakibatkan bisa terjadi ketidakberaturan pada sistem struktur rumah tinggal. Contohnya sering didapati kolom transfer yang menahan beban 2 lantai tapi bertumpu pada balok lantai 1, sehingga beban pada balok tersebut menjadi besar. Sebaliknya pada gedung yang denahnya tipikal, kolom cenderung menerus hingga sampai pondasi, sehingga beban besar dari lantai-lantai atas langsung ditahan oleh pondasi.

Pada prakteknya pihak perencana struktur pada rumah tinggal hanya memperhitungkan beban gravitasi saja. Sehingga kapasitas balok dalam menerima beban dari kolom transfer masih memenuhi secara perhitungan. Tetapi pada kenyataannya, ketika terjadi getaran yang bisa diakibatkan oleh Gempa, proses

konstruksi atau pemancangan di area sekitar rumah, dapat mempengaruhi beban yang diterima oleh balok tersebut, getaran yang terjadi membuat beban yang diterima selama ini oleh balok menjadi bertambah akibat goyangan atau getaran yang terjadi. sehingga kapasitasnya terlampaui dalam menahan beban kolom transfer. Pada akhirnya dapat membuat balok mengalami retak dan penurunan kekuatan. Sehingga ketika proses getaran nya telah selesai, balok menjadi lebih lemah, dan kapasitasnya tidak lagi cukup untuk menahan beban kolom transfer.

Dengan adanya tuntutan bahwa bangunan yang mengalami kerusakan perlu diperbaiki, maka perlu adanya penanganan terhadap kerusakan yang terjadi (Rosyidah dkk, 2010). Dengan melakukan perkuatan dan perbaikan elemen struktur yang mengalami kerusakan. Perlu dilakukan investigasi lapangan guna mendapatkan data umum bangunan serta gambaran kerusakan yang terjadi melalui pengamatan visual maupun dengan pengujian *non-destructive* ataupun *destructive*.

Dari hasil Investigasi tersebut, dapat dilakukan analisa dan evaluasi untuk menentukan kekuatan yang dibutuhkan untuk perbaikan elemen struktur tersebut.

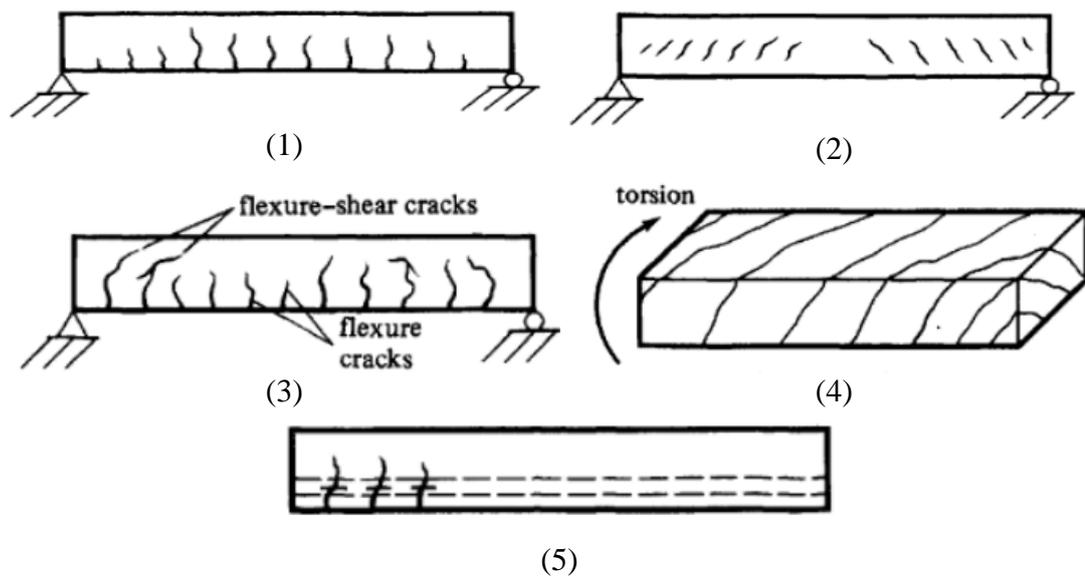
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Retak pada Beton

Retak pada beton (Layang, 2022) dapat dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu retak non-struktural dan retak struktural. Retak non-struktural terjadi akibat adanya tegangan yang diinduksi secara internal dalam material bangunan, dan tidak berpengaruh secara langsung terhadap kekuatan struktur. Sedangkan retak struktural disebabkan karena adanya pengaruh getaran (vibrasi), gempa dan beban yang bekerja melebihi kapasitas elemen struktur.

Retak yang terjadi pada balok beton bertulang (Gambar.1) dibedakan menjadi :

1. Retak Lentur, Berbentuk vertikal dimulai dari serat terbawah balok yang menerima tarik sampai pada sumbu netral.
2. Retak diagonal, Berbentuk diagonal pada area *Web* (Badan) Balok
3. Retak Geser Lentur, Terjadi akibat pengaruh gaya geser dan lentur secara bersamaan.
4. Retak Puntir, Retakan berbentuk diagonal dan berlanjut hingga melingkari sekeliling balok
5. Retak Lekatan, terjadi akibat pemisahan antara beton bertulang di sepanjang tulangan.



Gambar 1. Jenis-jenis retak pada balok beton bertulang
Sumber: McCormac & Nelson (2005)

2.1.Perkuatan pada Beton Bertulang

Terdapat beberapa metode perkuatan (Abdelrahman, 2023) yang dapat meningkatkan kemampuan dari kapasitas, kekakuan dan kemampuan layan balok, menggunakan *jacketing* beton, baja, maupun FRP. *Jacketing* beton bisa menggunakan beton bertulang maupun *prestressed*. *Jacketing* pelat baja dapat memperkuat balok beton dengan menggunakan angkur

maupun besi dowel. Sedangkan *Jacketing* FRP ada yang berbentuk *fabric* maupun tulangan, bahan *fabric* ditempel menggunakan *adhesive* atau cairan *epoxy* pada balok, dan FRP berbentuk tulangan dapat ditanam didalam balok beton dengan membuat coakan terlebih dahulu. Pada kasus ini akan dibahas 2 metode yaitu *Jacketing* Beton bertulang dan *Jacketing* menggunakan FRP.

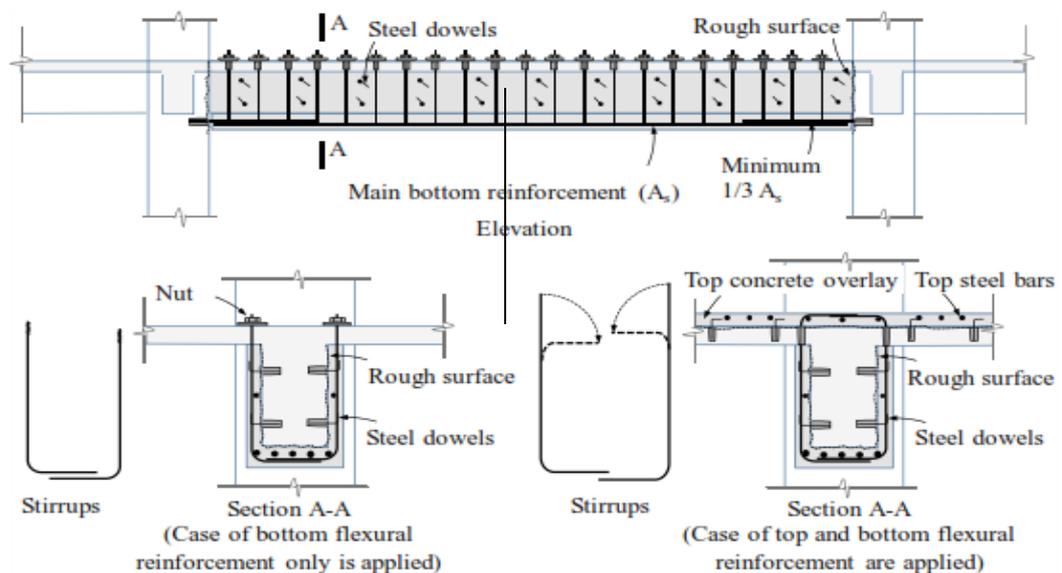
lapisan atas

diluar balok seperti pada gambar.

2.1.1. Jacketing Beton Bertulang

Gambar.2 menunjukkan contoh perkuatan untuk *jacketing* beton bertulang. Dimensi dari balok beton bertambah untuk mengakomodasi penambahan tulangan longitudinal dan tulangan sengkang. Bagian dari tulangan longitudinal juga perlu ditanam ke dalam kolom untuk mempertahankan perilaku balok-kolom. Jika dibutuhkan perkuatan tulangan pada sisi atas, besi tulangan dapat diletakan pada

Untuk perkuatan sengkang, sengkang dapat dipasang hingga area *compression* balok agar dapat berfungsi maksimal. Sengkang (*Stirrup*) sebaiknya menembus sayap dari pelat lantai dan ditanam pada *overlay* dari beton tambahan di atas balok. Pada kasus dimana tidak diperlukan *overlay* pada atas pelat, direkomendasikan menggunakan angkur pada tiap kaki sengkang, angkur yang terekspos harus dilindungi oleh cat anti korosi.



Gambar 2. Jacketing untuk beton bertulang
Sumber: Abdelrahman (2023)

2.2.2. FRP Jacket

FRP ada yang berupa lembaran dengan ketebalan 1,2 mm hingga 1,4 mm dan berbentuk tulangan dengan berbagai diameter dari 6,8,10,12, dan 16 mm. FRP yang paling umum digunakan pada perkuatan adalah yang terbuat dari *Carbon Fiber*, dikarenakan memiliki kekuatan dan modulus yang paling tinggi dibandingkan dengan bahan kaca, aramid, dan basalt. Secara estetika tidak merubah desain arsitektur karena tebalnya yang sangat tipis.

Pada banyak kasus, aplikasi FRP untuk perkuatan lentur, geser, torsi dan aksial sangat bergantung pada bonding. Maka dari itu, terdapat syarat minimum bahwa kekuatan tarik dari beton eksisting tidak boleh lebih rendah dari 1,4 MPa. Permukaan beton

eksisting juga harus bebas dari retak. Gambar.3 menunjukkan layout dari balok beton yang diperkuat menggunakan laminasi FRP untuk lentur dan geser.

Untuk tulangan FRP yang pada umumnya ditanam pada permukaan beton (*Near-surface Mounted system*), minimum dimensi untuk coakan minimal 1,5x diameter dari FRP. Untuk jarak antar tulangan juga disyaratkan 2x kedalaman coakan dan jarak ujung adalah 4x kedalaman coakan agar menghindari kegagalan pada lekatan (*debonding failure*) seperti terlihat pada Gambar.4.

2.3. Perhitungan Lentur (Momen) pada Perkuatan Balok

Pada Gambar.5 dapat dilihat distribusi

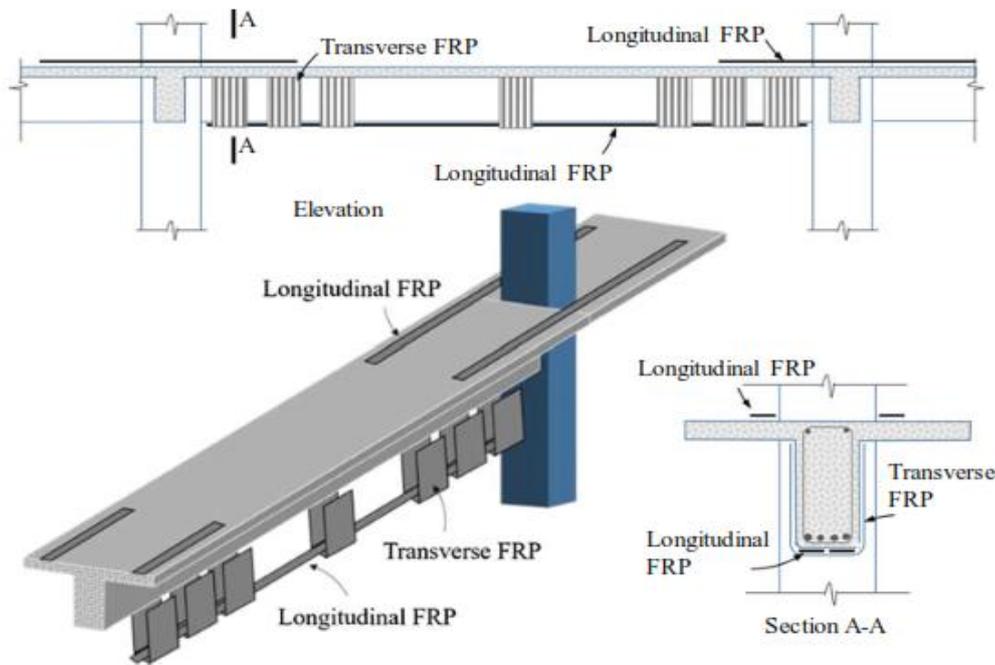
regangan dan tegangan pada balok beton yang diperkuat dengan beton bertulang, dan FRP.

Dimana nilai kurvatur pada penampang beton dapat dihitung menggunakan persamaan 1. pada beban servis

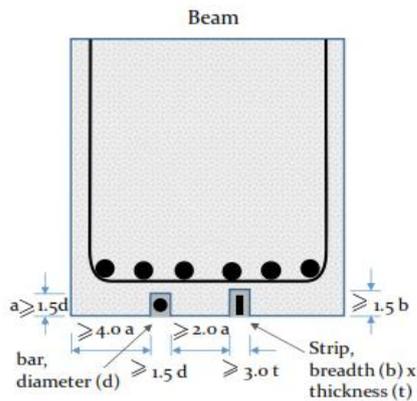
$$\Phi_i = \frac{\epsilon_{ci}}{kd} = \frac{\epsilon_{bi}}{h-kd} = \frac{M_s}{E_{ci}I_{cr}} \dots\dots(1)$$

Regangan tarik yang disebabkan oleh perkuatan dapat dihitung berdasarkan persamaan 2, dimana “R” bisa digantikan antara tulangan ataupun FRP. Perhitungan

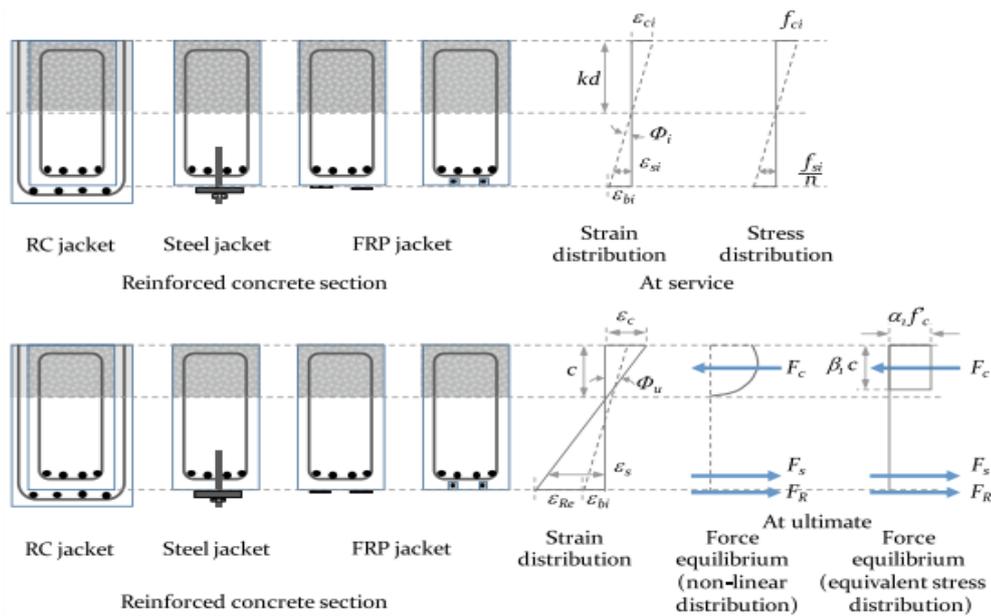
kesetimbangan pada penampang dapat dilihat pada Persamaan 3 dan 4.



Gambar 3. FRP Jacket untuk beton bertulang
 Sumber: Abdelrahman (2023)



Gambar 4. NSM (Near-surface Mounted system) sistem FRP
 Sumber: Abdelrahman (2023)



Gambar 5. Analisis kekuatan penampang perkuatan *jacketing* beton, Pelat baja dan FRP
 Sumber: Abdelrahman (2023)

nilai β_1 dapat diambil dari Gambar.6. Untuk perhitungan “AS” luas area tulangan berdasarkan Persamaan 5-9.

$$\epsilon_R = \epsilon_{cu} \left(\frac{d_R - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \dots\dots (2)$$

$$F_C = F_S + F_R \dots\dots (3)$$

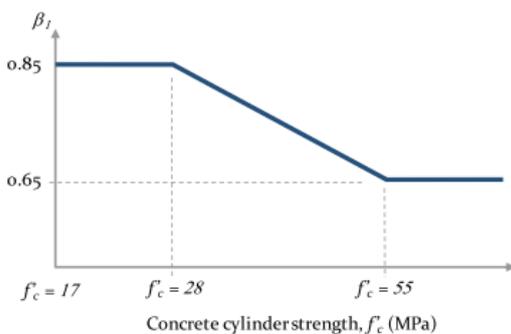
$$\alpha_1 f_c \beta_1 c b = A_S f_S + A_R f_R \dots\dots (4)$$

Untuk tulangan longitudinal,

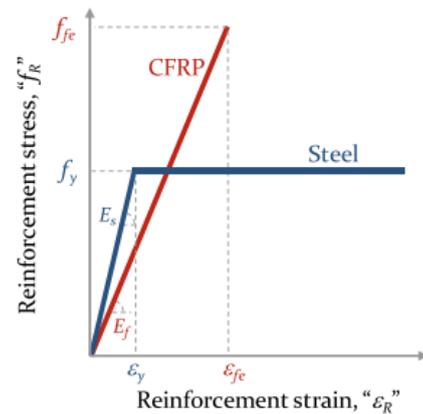
$$f_R = E_S \epsilon_R \leq f_y \dots\dots (5)$$

Untuk laminasi FRP dan tulangan FRP,

$$f_R = E_f \epsilon_R \leq f_{fd} \dots\dots (6)$$



Gambar 6. Perhitungan nilai β_1
 Sumber: SNI 2847:2019



Gambar 7. Perhitungan nilai f_R
 Sumber: Abdelrahman (2023)

Untuk *near-surface-mounted* FRP,

$$f_{fd} = \Psi_f \Psi C_e f_{fu}^* \leq \Psi_f (0.7 \epsilon_{fu}) E_f \dots\dots (7)$$

Dimana, $f_{fu}^* = \underline{f_{fu}} - 3\sigma \dots\dots (8)$, dan

$$\epsilon_{fu} = \frac{f_{fu}^*}{E_f} \dots\dots (9)$$

Perhitungan diatas valid jika *failure mode* (Mode keruntuhan) adalah *Under – reinforced* yaitu kegagalan beton terlebih dahulu akibat tekan ($\epsilon_{cu} = 0.003$). Jika Terjadi kegagalan FRP akibat delaminasi atau lepasnya *bonding*, perhitungan diatas masih memberikan hasil yang akurat (ACI 440.2R-17). Setelah itu

momen dapat dihitung menggunakan Persamaan 10.

$$M_r = \phi \left[A_s f_s \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_R f_R \left(d_R - \frac{a}{2} \right) \right] \quad (10)$$

2.4. Perhitungan Geser pada Perkuatan Balok

Perhitungan Geser pada penampang yang diperkuat dengan jacketing sama dengan perhitungan geser balok beton bertulang yaitu, Kapasitas geser nominal tereduksi harus lebih besar dari gaya geser ultimit yang terjadi (Persamaan 11-13).

$$\phi V_n \geq V_u \quad (11), \quad \phi V_n = \phi (V_u + V_s + V_R) \quad \dots\dots (12)$$

$$V_c = \left(0.66 \lambda_s (\rho_w)^{1/3} \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right) b_w d \leq 0.42 \sqrt{f'_c} b_w d \quad \dots\dots (13)$$

Untuk perhitungan kontribusi gaya geser oleh FRP atau Tulangan dapat dilihat pada persamaan 14-16.

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad \dots\dots (14)$$

$$\text{Untuk perkuatan sengkang geser, } V_R = \frac{A_v R f_{yt} d}{s} \quad \dots\dots (15)$$

$$\text{Untuk perkuatan gaya geser FRP, } V_R = \psi_f \frac{A_f v f_f e d_f}{s_f} \quad \dots\dots (16)$$

Sedangkan rumus akhir untuk menghitung gaya geser ultimit atau V_u dapat dilihat pada persamaan 17.

$$V_u \leq (V_c + 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d) \quad \dots\dots (17)$$

2.5 Pembebanan

Berdasarkan SNI 1727:2020 tentang beban minimum dan kriteria terkait untuk Bangunan gedung dan struktur lain. Untuk perencanaan terhadap beban gravitasi, dapat dikategorikan sebagai berikut:

- Beban Mati (*Dead Load*)
Yaitu berat semua komponen struktural bangunan meliputi pelat, balok, kolom, dan

dinding geser. Beban mati adalah beban sendiri.

- Beban Mati Tambahan (*Super Imposed Dead Load*)

Beban mati tambahan yaitu berat komponen non-struktural seperti arsitektural, mekanikan, elektrik dan plumbing yang terdapat pada struktur bangunan.

- Beban Hidup (*Live Load*)

Beban Hidup adalah beban yang posisinya berubah-ubah, beban hidup terjadi akibat penghuni atau penggunaan gedung yang berasal dari barang atau orang yang dapat berpindah tempat sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap.

III. METODE PENELITIAN

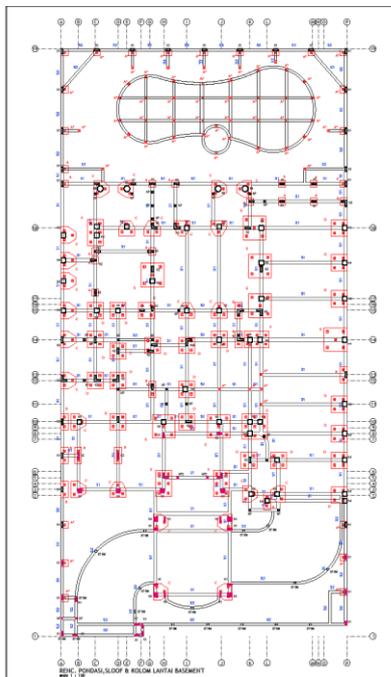
Struktur Eksisting yang menjadi bahan studi kasus ini di deskripsikan sebagai berikut:

Fungsi Bangunan	:	Rumah tinggal
Lokasi	:	Surabaya
Jumlah Lantai	:	3 Lantai
Material	:	Struktur Beton Bertulang
Beban Lantai	:	Beban Mati (Berat sendiri beton): <i>Super Imposed Dead Load</i> : 150 kg/m ² Beban Hidup (<i>Live Load</i>) : 200 kg/m ²
Beban Atap	:	Beban Mati (Berat sendiri beton): <i>Super Imposed Dead Load</i> : 100 kg/m ² Beban Hidup (<i>Live Load</i>) : 100 kg/m ²
Dimensi Balok (Gambar.1	:	B4 250 mm x 600 mm B4A 300 mm x

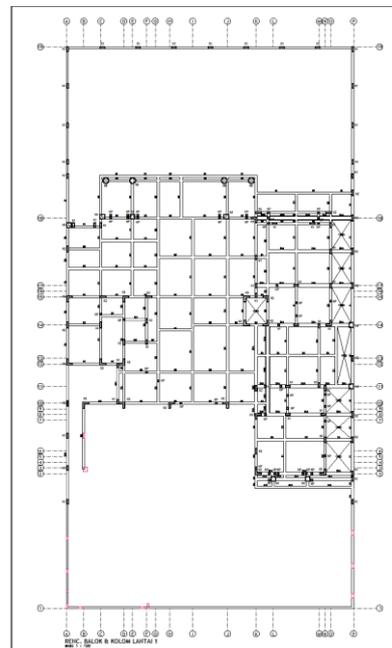
1) 700 mm
300 mm x
B4B 800 mm

Mutu :
Beton 20 MPa
Balok (f'_c)
Mutu Baja :
Tulangan 400 MPa
Lentur (f_y)
Mutu Baja :
Tulangan 240 MPa
geser (f_{ys})

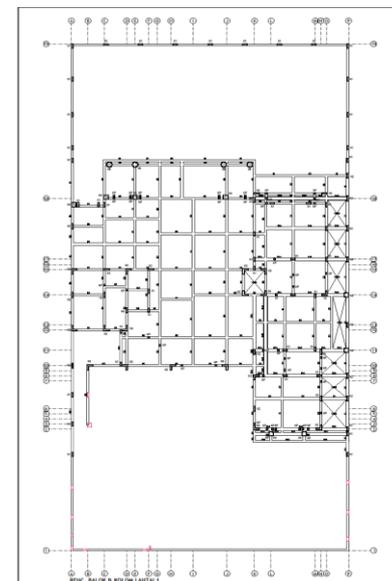
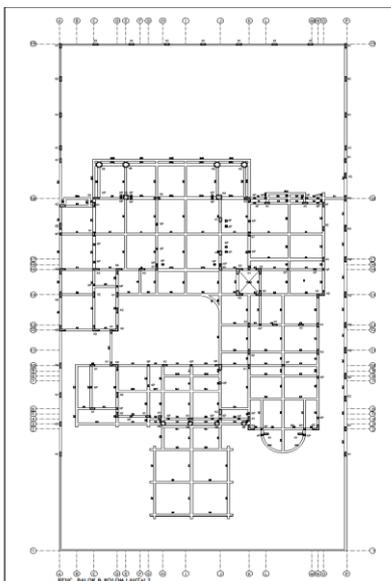
Bangunan rumah tinggal ini sudah berdiri selama 10 tahun dan tidak ada retak, hingga adanya proses konstruksi dari tetangga sisi kanan dari denah. Ada 8 buah elemen struktur balok yang mengalami retak yang diakibatkan oleh proses konstruksi dari bangunan tetangga, retak yang terjadi adalah pada balok-balok garasi lantai 1 yang menahan kolom transfer pada As 0 di denah (Gambar. 9). Pola Retak (Gambar. 10) yang terjadi jika diamati adalah pola Retak Lentur dan Geser yang terjadi pada titik kolom transfer tersebut



a. Lantai basement



b. Lantai 1



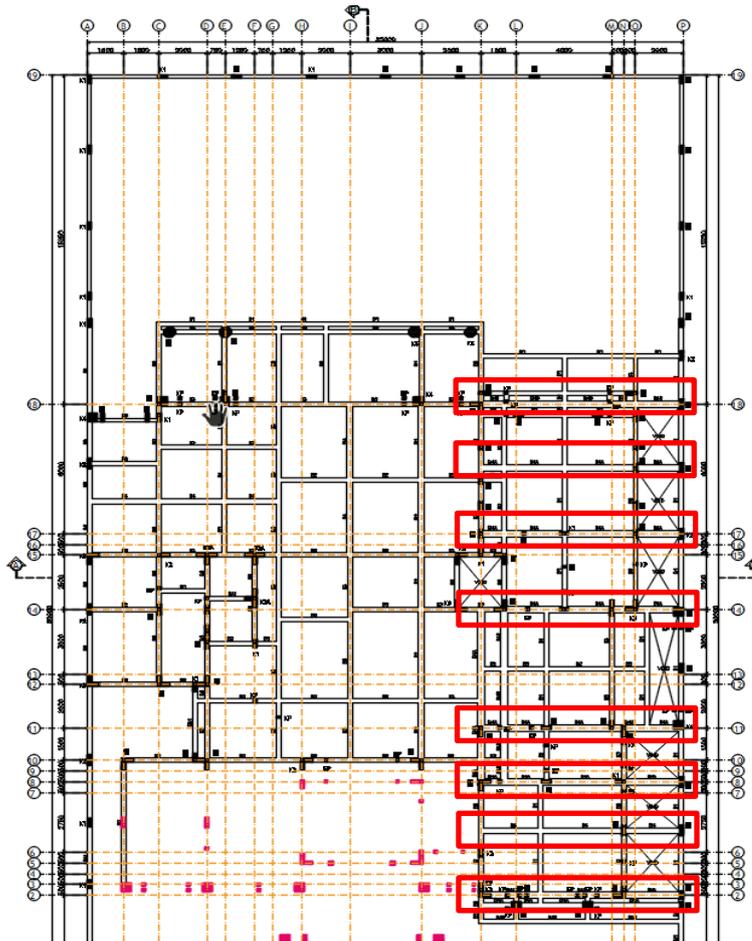
c. Lantai 2

d. Lantai Atap

Gambar 8. Denah Struktur Rumah Tinggal

Karena retak terjadi pada posisi kolom transfer, maka agar konservatif elemen Struktur yang seharusnya jepit pada lapangan akan dimodelkan secara lokal (2D) dengan perletakan sendi-sendi pada kedua ujung balok. Untuk beban yang diterima oleh balok akan diambil dari luasan beban preliminary dari tiap lantai, dimana denah struktur dari

lantai basement hingga atap dapat dilihat pada Gambar.8. Pembebanan yang dilakukan hanya mencakup beban gravitasi, yaitu beban mati, beban *superimposed dead load* dan beban hidup. Untuk menentukan perkuatan gaya dalam lentur dan geser yang akan di cek adalah gaya dalam pada posisi kolom transfer.



Gambar 9. Posisi balok lantai 1 yang retak akibat kolom transfer



a. Pola retak geser pada balok



b. Pola retak lentur pada balok

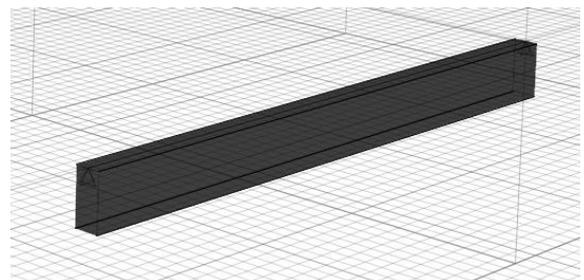
Gambar 10. Pola Retak Balok

TABEL PENULANGAN BALOK

BALOK UTAMA	TUMPUAN	LAPANGAN
B4	<p>6D19</p> <p>Ø12 - 100</p> <p>4D19</p>	<p>4D19</p> <p>Ø12 - 150</p> <p>6D19</p>
B4A	<p>10D19</p> <p>Ø12 - 100</p> <p>2D16</p> <p>7D19</p>	<p>7D19</p> <p>2D16</p> <p>Ø12 - 150</p> <p>10D19</p>
B4B	<p>12D19</p> <p>4D16</p> <p>Ø12 - 100</p> <p>9D19</p>	<p>9D19</p> <p>Ø12 - 100</p> <p>4D16</p> <p>12D19</p>

Gambar 11. Detail penulangan balok.

Untuk mempermudah perhitungan gaya dalam, akan digunakan bantuan *software* program FEM (Gambar.12) sedangkan analisis kapasitas kekuatan struktur dan perkuatan dilakukan melalui perhitungan manual.



Gambar 12. Permodelan balok sendi-sendi di

kedua sisi.

Dari hasil analisis elemen balok dengan menggunakan kombinasi pembebanan, gaya dalam yang terjadi nantinya akan dibandingkan dengan kapasitas eksisting balok. Bila didapati kekuatan struktur eksisting tidak cukup besar, dapat disimpulkan bahwa struktur eksisting tidak mampu menerima beban yang direncanakan dan tambahan getaran dari konstruksi. Sehingga dibutuhkan perencanaan perkuatan agar struktur mampu menerima beban rencana.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Struktur Eksisting.

Berdasarkan perhitungan beban *preliminary*, pembebanan pada idealisasi balok dapat dikelompokkan menjadi 2, balok nomor 3,4,5 dan 6 mendapat pembagian beban yang lebih besar karena luasan dan jarak pelat yang lebih besar dan terdapat 2 kolom transfer jika dibanding dengan balok 1,2,7, dan 8 yang hanya memiliki 1 kolom transfer (Lihat Tabel 1).

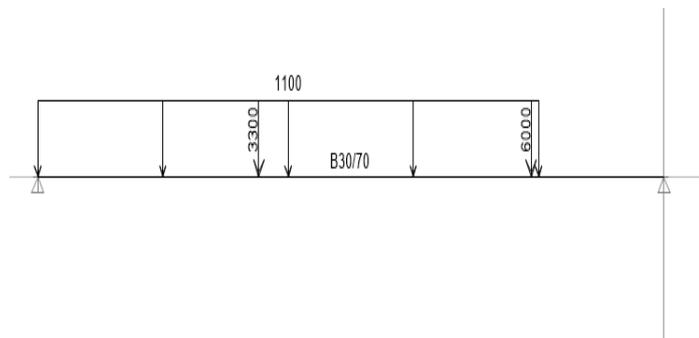
Tabel 1. Kelompok balok

Balok Nomor	Beban Merata (Kg/m1)		Beban Terpusat (Kg) di 3m		Beban Terpusat (Kg) di 6,4m	
	SIDL	LL	SIDL	LL	SIDL	LL
3,4,5,6	4716	1100	6000	3300	21000	6000
1,2,7,8	4800	770	-	-	6150	3000

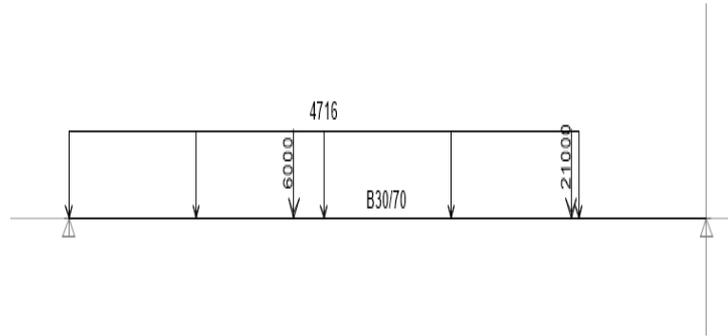
* SIDL= super imposed dead load, LL= Live Load, Dead load dihitung otomatis oleh program, tidak perlu diinput

Beban merata adalah beban lantai yang ditahan oleh balok, sedangkan beban terpusat adalah beban kolom transfer pada balok yang menahan lantai-lantai di atasnya (Gambar 13).

Dari hasil gaya dalam pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa memang terjadi lonjakan gaya geser pada titik tempat retak berada dimana terdapat gaya terpusat dari kolom transfer.

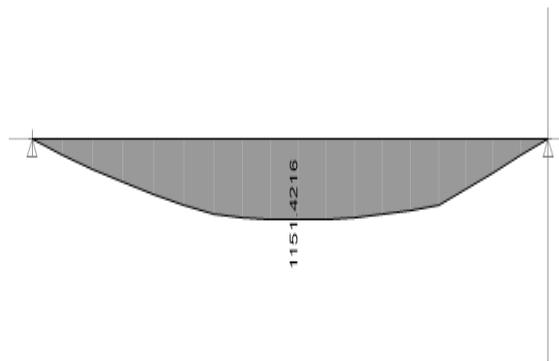


a. Live Load

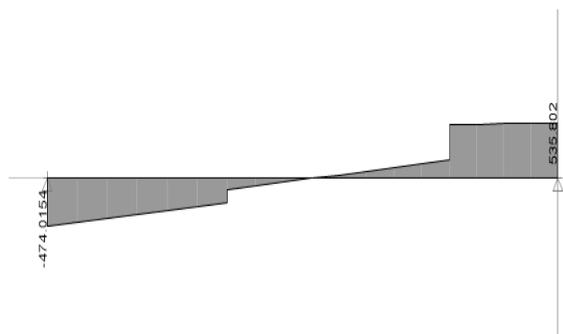


b. Super Imposed Dead Load

Gambar 13. Contoh pembebanan pada idealisasi balok di *software* FEM



a. Diagram Momen



b. Diagram Geser

Gambar 14. Diagram gaya dalam pada idealisasi balok di *software* FEM

Tabel 2. Perbandingan gaya momen nominal terhadap beban ultimit.

Balok	Tipe Balok	Momen	Momen	Ket
-------	------------	-------	-------	-----

Nomor		Ultimit (Mu)	Nominal Eksisting (ϕMn)	
1	B4A	575	550	NOT OK
2	B4	545	285	NOT OK
3	B4A	941	550	NOT OK
4	B4A	941	550	NOT OK
5	B4A	941	550	NOT OK
6	B4A	941	550	NOT OK
7	B4A	575	550	NOT OK
8	B4B	575	755	NOT OK

Hasil permodelan kapasitas eksisting terhadap beban yang terjadi (asumsi dari beban *preliminary*) dibandingkan pada Tabel 2 dan 3. Terlihat bahwa balok-balok yang kapasitas tahanannya tidak cukup karena lentur dan geser pada titik kolom transfer adalah balok-balok pada posisi tengah yaitu balok 3,4,5 dan 6. Nilai Momen pada tumpuan adalah 941 kNm sedangkan kapasitas balok B4A adalah 550 kNm, sedangkan nilai geser pada tumpuan balok B4A adalah 518 kN dibanding nilai tahanannya sebesar 493.76 kN. Pada balok 1 dan 7 dengan detail B4A, Momen yang terjadi adalah 575 kNm sedangkan kapasitas adalah 550, pada gaya geser kapasitas memenuhi dengan tahanan 493 kN dan gaya sebesar

226,5 kN. Pada Balok 2 dengan detail B4, Gaya momen yang terjadi adalah 545 kNm melampaui tahanannya yang sebesar 285 kNm sedangkan gaya geser masih memenuhi dengan tahanan sebesar 401 kN dan gaya sebesar 226.5 kN. Pada balok 8 dengan detail B4B secara umum masih kuat, gaya momen yang terjadi adalah 575 kNm sedangkan tahanan sebesar 755 kNm, gaya geser sebesar 226,5 dan kapasitas sebesar 565.44 kN.

Untuk balok no 8 akan diabaikan pada perhitungan perkuatan, tetapi pada prakteknya retak yang terjadi bisa diisi dengan inject beton, untuk perbaikan tipe ini tidak akan dibahas pada studi ini. Karena bukan merupakan perkuatan *jacketing*.

Tabel 3. Perbandingan gaya geser nominal terhadap beban ultimit.

Balok Nomor	Tipe Balok	Geser Ultimit (Vu)	Geser Nominal Eksisting (ϕVn)	Ket
1	B4A	226.5	493.76	OK
2	B4	226.5	401.08	OK
3	B4A	518	493.76	NOT OK
4	B4A	518	493.76	NOT OK
5	B4A	518	493.76	NOT OK
6	B4A	518	493.76	NOT OK
7	B4A	226.5	493.76	OK
8	B4B	226.5	565.44	OK

4.2 Perancangan Perkuatan Struktur

Opsi perkuatan struktur yang akan direncanakan adalah perkuatan dengan metode

concrete jacketing dan metode *FRP Jacket*. Dengan tujuan untuk mengcover kekurangan kekuatan pada gaya lentur dan geser pada tumpuan yang terkena gaya dari kolom transfer. Perhitungan akan dilakukan pada balok no 1-7. Dua alternatif perkuatan ini nantinya dapat dipilih oleh pemilik rumah.

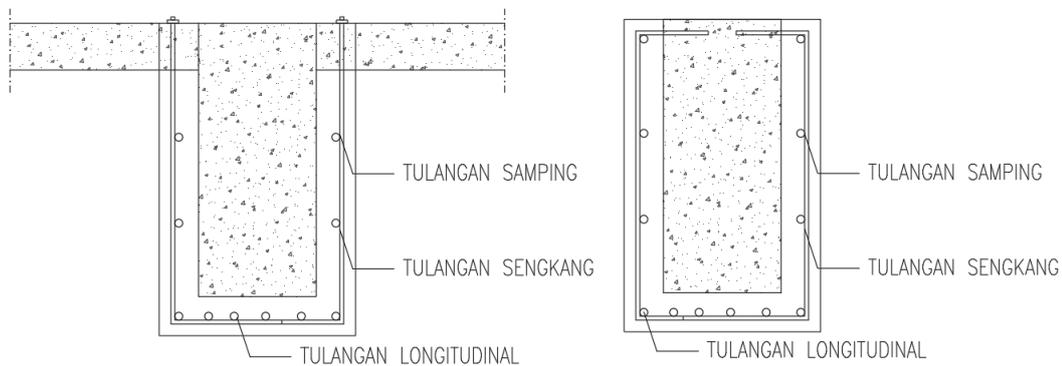
4.2.1. Metode Jacketing Concrete

Metode perkuatan *Jacketing* beton dengan menambah dimensi penampang sebesar 10 cm pada 3 sisi balok dengan mutu beton yang sama yaitu f_c 20 MPa, untuk *jacketing* balok yang terdapat pelat dan tidak dapat dilihat pada Gambar 15. Proses *jacketing* diawali dengan pengupasan balok hingga terlihat beton lama, baru kemudian di inject tulangan sengkang dan dowel di inject dengan bantuan chemical anchor, sebelum akhirnya tulangan baru dirangkai. Perkuatan ini harus dilakukan sepanjang balok (Gambar.16) dikarenakan terdapat perubahan dimensi, sedangkan posisi balok adalah *expose* pada garasi di bawah lantai 1. Ketika dilakukan pada seluruh balok, tinggi ruangan di bawah akan berkurang, sehingga fungsi garasi tidak

lagi bisa dipakai, karena mobil tidak bisa masuk.

Seperti tercantum dalam Tabel 4, pada balok 1 dan 7, dimensi balok menjadi 500 x 800 mm dan terdapat tulangan longitudinal tambahan sebanyak 3D19 serta tulangan sengkang D10-150 dan tulangan samping 4D16. Pada balok 2 dimensi balok menjadi 450 x 700 mm dengan tambahan tulangan longitudinal 3D19, tulangan sengkang D10-150 dan tulangan samping 4D16. Balok 3-7 merupakan balok yang membutuhkan perkuatan terbanyak, yaitu 6D19 untuk tulangan longitudinal, tulangan sengkang D10-150 dan tulangan samping 4D16.

Dikarenakan efek Gempa diabaikan, sehingga tidak perlu melakukan pengecekan kapasitas SCWB (*Strong column weak beam*) setelah dilakukan perkuatan. Secara *overall* kekuatan kolom eksisting masih mampu menahan beban yang ada, sehingga tidak perlu dilakukan *jacketing* kolom.



Gambar 15. Skematik perkuatan *jacketing* beton.

Tabel 4. Dimensi dan Tulangan untuk perkuatan balok dengan *Concrete Jacketing*.

Balok Nomor	Dimensi Balok		Tulangan Longitudinal	Tulangan Sengkang	Tulangan Samping
	B (mm)	H (mm)			
1	500	800	3D19	D10-150	4D16
2	450	700	4D19	D10-150	4D16
3	500	800	6D19	D10-150	4D16
4	500	800	6D19	D10-150	4D16
5	500	800	6D19	D10-150	4D16
6	500	800	6D19	D10-150	4D16
7	500	800	3D19	D10-150	4D16

4.2.1. Metode FRP Jacket

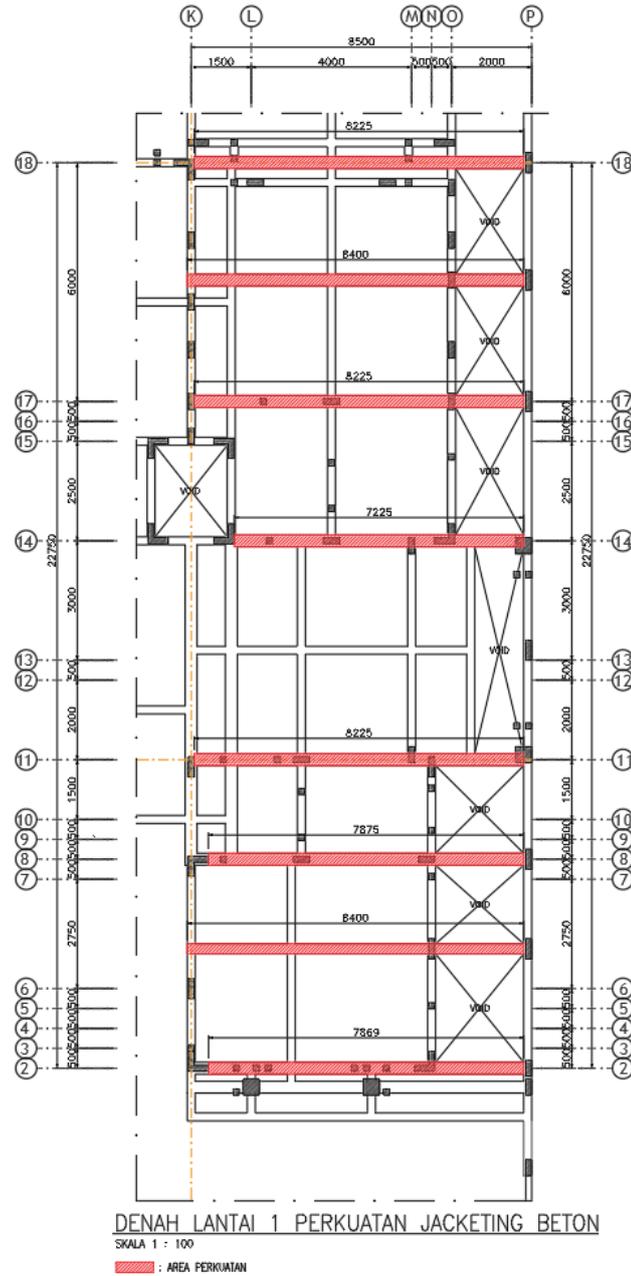
Metode perkuatan FRP *jacket*

menggunakan produk SIKA, yaitu SIKAWRAP 231 C untuk perkuatan gaya geser sebagai pengganti sengkang, dan SIKA Carbodur BC $\phi 10$ mm sebagai perkuatan terhadap gaya lentur. Pada perkuatan FRP ukuran dimensi balok tidak akan berubah terlalu signifikan, sehingga bisa dianggap ukuran balok tetap. Pada metode ini balok dikupas terlebih dahulu hingga terlihat beton asli, kemudian di inject dengan beton untuk mengisi retak di dalam balok, kemudian di aplikasikan SIKA Carbodur BC $\phi 10$ yang di pasang pada bagian bawah balok setelah dicoak terlebih dahulu, dan SIKA WRAP yang di lilitkan pada balok dengan cairan epoxy

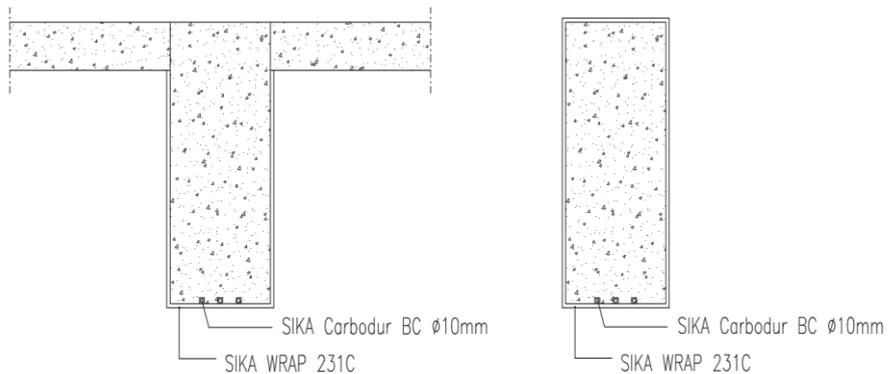
sebagai perekat bonding nya.

Pada balok 1,2,dan 7 di butuhkan tambahan BC rod $\phi 10$ sebanyak 2 batang, sedangkan pada balok 3,4,5, dan 6 yang menahan lebih banyak beban membutuhkan 4 batang. Untuk kebutuhan menahan gaya geser juga hanya menggunakan 1 lapis SIKAWRAP.

Pengaplikasian perkuatan ini juga tidak perlu sampai sepanjang balok (Gambar 18), karena tidak merubah dimensi balok, sehingga tidak akan kelihatan perbedaan ukuran. Opsi ini sangat cocok untuk kasus rumah tinggal karena tidak merubah dimensi balok.



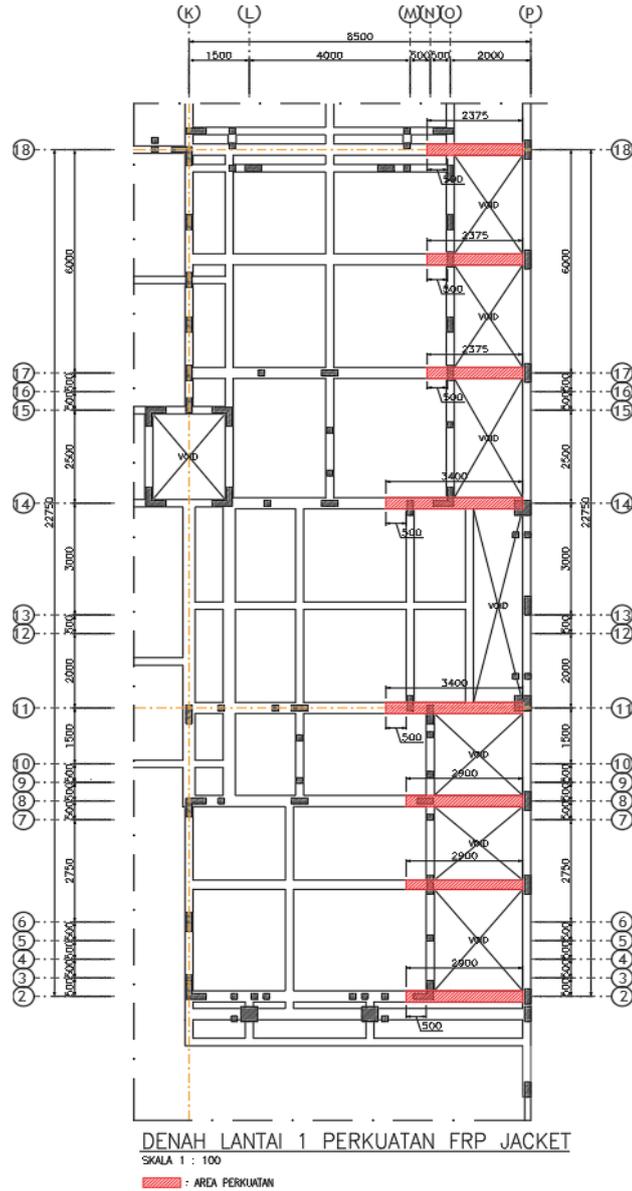
Gambar 16. Denah struktur perkuatan *jacketing* beton.



Gambar 17. Skematik perkuatan FRP *jacket*.

Tabel 5. Perkuatan balok dengan FRP *Jacket*.

Balok Nomor	Dimensi Balok		BC Rod	SIKA Wrap
	B (mm)	H (mm)		
1	400	700	2D10	1 Lapis
2	250	600	2D10	1 Lapis
3	400	700	4D10	1 Lapis
4	400	700	4D10	1 Lapis
5	400	700	4D10	1 Lapis
6	400	700	4D10	1 Lapis
7	400	700	2D10	1 Lapis



Gambar 18. Denah struktur perkuatan FRP Jacket.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan kekuatan eksisting, dan perkuatan pada balok penahan kolom transfer yang mengalami retak akibat getaran pada proses konstruksi di dekat site, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Perencanaan rumah tinggal yang memiliki 3 lantai atau lebih, sebaiknya struktur direncanakan terhadap beban dinamis yaitu beban gempa perlu dipertimbangkan.
- b. Pada perencanaan rumah tinggal perlu dipertimbangkan system strukturnya agar tidak terlalu banyak gaya yang di transfer dari kolom ke balok, karena pada area tersebut sangat rentan untuk terjadi *failure* diakibatkan balok tidak cukup kuat menahan gaya dari kolom transfer yang mengalami getaran.
- c. Perkuatan menjadi opsi untuk dilakukan jika sudah terjadi retak/*crack*, dan harus segera dilakukan.
- d. *Concrete jacketing* merupakan salah satu perkuatan yang mungkin cocok untuk gedung, tetapi untuk kasus ini kurang cocok, dikarenakan dengan bertambahnya ukuran balok/struktur akan mengganggu kenyamanan dan fungsi ruang di bawah balok tersebut.
- e. Secara teknis *FRP Jacket* sangat cocok untuk perkuatan pada studi kasus ini, tetapi perlu dilihat dari aspek biaya, karena *FRP Jacket* termasuk perkuatan dengan biaya yang tidak sedikit.
- f. Perhitungan pembebanan yang didasarkan pada SNI 1720-2020, menemukan bahwa struktur eksisting tidak kuat menahan beban yang akan terjadi, sedangkan struktur sudah berdiri selama 10 tahun.
- g. Dengan pertimbangan pada kesimpulan nomor 6, dapat disimpulkan bahwa metode LRFD yang dipakai untuk menghitung struktur, dapat mengantisipasi kekurangan dalam perhitungan atau beban yang lebih berat daripada perencanaan dalam batasan tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rosyidah, Anis., Rinawati., Wiratenaya,D., dan Pattisia, M A., 2010. Perkuatan Struktur pada Bangunan Rumah Tinggal 3 Lantai. Poli Teknologi, Vol. 9, No. 1, pp. 8-21.
- [2] Sika Wrap®-231:Woven Unidirectional Carbon Fiber Fabric for Structural Strengthening. diakses pada 31 Agustus 2023, https://idn.sika.com/dam/dms/id01/p/sikawrap-231_c.pdf
- [3] Sika Carbodur®BC:Pultruded Carbon Fiber Rods For Structural Strengthening. diakses pada 31 Agustus 2023, https://idn.sika.com/dam/dms/id01/4/sika_carbodor_bc.pdf
- [4] ACI Comitee 440, 2017, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures* , American Concrete Institute, detroit, Mich.