

STUDI PERBAIKAN BALOK BETON BERTULANG MENGUNAKAN GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER (GFRP) UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN TARIK PADA BENDING MOMEN

Bambang Kiswono¹⁾, Edy Jayanto²⁾
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surabaya 1
Jl Sutorejo 59 Surabaya
Email: bambangkiswono.48@gmail.com
Praktisi
Email: edy.jayanto.1973@gmail.com

Abstract

Study analysis increase flexure capacity strength reinforced concrete beam and plate with method conventional very difficult site and time schedule make alternative method precise, acceleration time with use Fibre Reinforced Polymer (GRP), There is marketing Glass Fibre Reinforced Polymer, Aramid Fibre Reinforced Polymer, and carbon fibre reinforced Polymer. This product still import from japan, Germany, chinese. This analysis method carbon fibre reinforced polymer study research at building Barbara 6th floor .Test concrete strength with core drill, UPV(Ultrasonic Pulse Velocity) and Profometer.for coredrill 5 point, UPV 10 point, Profometer 10 point.quality concrete K250, analisis data arithmetic reinforced concrete without GFRP sheet and uses GFRP sheet of 2 layers until 5 layers.

Keywords: strength flexure, beam and plate, test sample cylinder laboratory, GFRP sheets.

Abstrak

Studi analisis peningkatan kekuatan kapasitas lentur pada balok dan plat dengan metode konvensional sangat menyulitkan saat pelaksanaan dilapangan dan waktu sangat menentukan, sehingga alternative dipakai metode teknologi tepat guna karena adanya percepatan waktu seperti penggunaan Fiber Reinforced Polymer, ada beberapa jenis yang ada dipasaran Glass Fiber Reinforced Polymer, Aramid Fiber Reinforced Polymer dan Carbon Fiber reinforced Polymer. Produk ini masih berasal dari jepang, Jerman, Cina dalam analisis ini digunakan alternative metode Carbon fiber Reinforced Polymer. Pada studi penelitian di gedung wisma Barbara lantai 6, sebagai bahan acuan pada bangunan existing dilakukan test uji dengan core drill, UPV (Ultrasonic pulse velocity) dan profometer. dilakukan test coredrill 5titik, UPV 10titik, Profometer 10titik. Dengan batasan yang diperlukan untuk perbaikan struktur menggunakan mutu beton K250, Analisis data perhitungan antara beton tanpa GFRP dan memakai GFRP. 2 lapis. Hingga 5 lapis.

Kata kunci: kekuatan lentur balok dan plat beton bertulang, uji sampel beton silinder laboratorium, lapis GFRP

PENDAHULUAN.

Dengan perkembangan daerah pusat jaya yang beralih fungsi sebagai daerah prostitusi menjadi daerah permukiman, pemerintah kota Surabaya mengembangkan perekonomian warga setempat dengan merenovasi gedung wisma Barbara menjadi lebih layak huni sebagai pemberdayaan masyarakat dengan meningkatkan sumber mata pencaharian. Terkait hal tersebut, maka gedung yang akan digunakan disesuaikan dengan kebutuhan, oleh sebab itu dilakukan tata letak ruang untuk memenuhi target usulan produksi yang akan dicapai sesuai program pemerintah kota.

Zona gedung terbagi menjadi produksi, R Perkantoran, R Kerja dan R. pertemuan, sehingga diperlukan kajian mendalam terhadap beban hidup terhadap struktur gedung existing, sehingga perlu dihitung ulang kelayakan struktur gedung dengan metode GFRP yang sedang berkembang saat ini. Sehubungan dengan hal tersebut ditunjuk konsultan perencana untuk mendesain ulang tata letak ruang yang lebih harmonis sebagai bagian yang tidak terpisahkan dengan keinginan pemerintah kota Surabaya.

Salah satu material yang akan digunakan GFRP (Glass fiber reinforced polymer), karena kuat tarik fiber glass yang tinggi mampu menahan gaya tarik yang menambah peran baja tulangan sebagai tulangan tarik. Karena keruntuhan balok terjadi pada bending momen dan gaya geser lentur, aksial dan puntir.

GFRP dibuat dari pabrikasi berbentuk woven serat yang akan direkatkan dengan polyester/matrix secara berlapis tergantung perhitungan struktur cara pemasangan searah sumbu balok pada tumpuan dan lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur elemen balok lentur dan geser lentur yang mampu menerima beban vertikal sesuai kebutuhan peruntukan. Sehingga pemilik tidak ada keraguan dalam pemanfaatan gedung tersebut.

KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI

Perkuatan Struktur dengan menggunakan bahan (Glass Fiber Reinforced Plastics – GFRP), terdiri dari komponen Reinforcement/filler/fiber serat gelas dan matrix juga tergantung substrat/bahan terlapisi. Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; Matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), Penguat (Penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *interface* (permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain) Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent* (Nurun Nayiroh).

GFRP merupakan material komposit, yaitu komposit dari serat gelas di dalam matrik polymer. Serat berfungsi sebagai pemerkuat, sedangkan matrik berfungsi sebagai pemegang serat agar tidak bergeser, pelindung filamen terhadap goresan dan zat kimia ganas serta pelintas tegangan ke serat (Feldman dan Hartomo, 1995).

Studi untuk penggunaannya pada perkuatan balok telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Norris et. al (1997) yang menggunakan pelat FRP untuk perkuatan geser yang direkatkan pada sisi samping balok. Ross et. al (1999) telah menunjukkan bahwa balok yang direkatkan dengan pelat FRP pada sisi tarik dapat meningkatkan kapasitas lentur balok secara nyata. Christos et. al. (2009)

Penambahan lapis GFRP juga dapat meningkatkan kuat lentur balok, dimana pada penambahan 1 lapis GFRP terjadi peningkatan sebesar 10,8 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan putusanya GFRP. Sedangkan pada penambahan 2 lapis GFRP terjadi peningkatan kuat lentur sebesar 13,4 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan pelepasan lekatan antara GFRP dengan beton (*debonding*). I Ketut Sudarsana dan Ida Bagus Rai Widiarsa, (2008)

Terkait dengan hal tersebut, adalah penting sebagai teknologi tepat guna dalam penggunaan renovasi perkuatan beton bertulang dengan penambahan bahan GFRP sebagai metode perkuatan untuk mengembalikan atau meningkatkan kemampuan elemen struktur beton bertulang yang telah mengalami kegagalan akibat pelelehan tulangan

, METODE PENELITIAN & DATA

Tahapan yang dilaksanakan dalam study adalah data-data yang dipakai :

1. Data Sekunder.
2. Data Primer
3. Uji Laboratorium
4. Uji Lendutan konvensional.

1. Tahap awal dari pekerjaan evaluasi dilakukan untuk mempelajari data sekunder dari struktur gedung yang akan dimanfaatkan sebagai fungsi ruang kebutuhan pemberdayaan masyarakat. Selanjutnya dipastikan dengan mengadakan survey lapangan yang terkait dengan dimensi struktur dan penetapan system pengetesan lapangan
2. Sampel benda uji yang diambil adalah struktur plat dan balok, pengambilan secara acak dan yang paling lemah
3. Baja tulangan diambil dari sisa baja yang menempel pada plat, test kekuatan dan keseragaman beton yang dikerjakan dilapangan dilakukan dengan bor inti beton dan hammer test.
4. Guna mengetahui mutu baja tulangan yang terpasang dilakukan test uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, Kedua mutu bahan yang diuji ini dapat dipakai sebagai dasar guna menetapkan kemampuan dari elemen-elemen struktur yang terpasang
5. Sebelum dilakukan penempelan lahan, existing dibersihkan terlebih dahulu dari bongkaran keramik dan pasta semen dikupas hingga permukaan beton terlihat, perataan pada permukaan beton dengan grinda. Pembersihan dengan alat compressor hingga bersih dari kerak-kerak pasta semen. dengan urutan sebagai berikut :
 - a. Semua sudut-sudut pada balok, kolom atau pilecap harus dibuat rounded atau lengkung
 - b. Setelah Perataan dan pembersihan dari debu maka dilakukan pekerjaan Primering dengan Resin Polyester dengan merata dan tertutup semua permukaan. (Jika terdapat retakan atau gupilan maka harus digROUTTING atau pelindungan dengan korosif pada besinya.)
 - c. Pelaburan Resin Polyester sebagai Perekatan FRP EWR 600 pertama dilakukan dengan waktu $\pm$ 2-3 jam atau sebelum Setting maka FRP EWR600 ditempelkan merata sesuai gambar dan perhitungan struktur ...ulangi tahap ini hingga selesai jumlah lapis sesuai gambar dan analisa struktur (jeda waktu tiap lapis 5-7 jam)
 - d. Pekerjaan Finishing yaitu menutup dan meratakan permukaan dengan Resin Polyester atau Resin Epoxy hingga rata atau penaburan pasir jika dibutuhkan pekerjaan plesteran atau diberi kawat ayam
 - e. Selesai.

Data Umum Gedung

- Fungsi Gedung : Gedung It6 pemberdayaan Masyarakat.
- Lokasi Gedung : Jl. Putat Jaya Surabaya, Jawa Timur
- Tinggi Gedung : It 6.
- Umur rencana bangunan: 50 tahun

Peraturan dan Standar

Peraturan dan standar yang dijadikan acuan/referensi dalam pekerjaan study ini dapat diuraikan sebagai berikut.

Pembebanan dan perhitungan

- SNI 1727-1989-F: "Tata Cara Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung";
- SNI 1727-2012: "Tata Cara Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung";
- SNI 1726-2002: "Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia";
- SNI 1726-2012: "Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia";
- SNI 2847-2013: "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung";

Data Laboratorium:

Data hasil uji laboratorium:

Tabel 1:

Dari hasil pengujian di lapangan dan laboratorium yang secara lengkap terlampir diperoleh hasil sebagai berikut :

No	Uraian	Jumlah	Hasil Uji Rata-rata
1.	Core Drill Beton	5 titik	Kuat tekan 21.82 MPa.
2.	Ultrasonic Pulse Velocity	10 titik	Kecapatan 2284.17 m/s
3.	Barlocator/Profometer	10 titik	Tulangan lentur 3 bh & Jarak sengkang 188 mm

Demikian laporan hasil uji ini disampaikan untuk kiranya bisa dijadikan masukan dalam proses pekerjaan dilapangan. Atas perhatian dan kerjasamanya di sampaikan terima kasih.

Surabaya, 26 Oktober 2016

Kepala
LABORATORIUM DAN STRUKTUR
Ridho Bayu Aji, ST, MT, Ph.D.
Nip. 19730710 199802 1 002

	
TECHNICAL DATA SHEET EWR600	
【Product description】 EWR600 woven roving from E-glass direct roving by weaving machines. Applicable for hand lay-up process, mould pressing, machinery formation. Compatible with unsaturated polyester resin and vinyl resin.	
【Characteristics】 Thickness steady Free of contamination Fast wet out High laminate strength	【Product code】 EWR600-1270 E E-glass WR woven roving 600 unit weight (g/m ²)

Y	Weft		Moisture (%)	Loss on ignition (%)	Tensile strength on warp(N)	Tensile strength on weft(N)
	tex	Density (roving/10cm)				
10c	1200±5	25±10%	≤0.2	0.4~0.8	≥4000	≥3850
%	%					

370-2001

Brosur : vendor FRP

Jenis carbon dari jepang dan china pada gambar 1 dan2



Gambar 1: Kyoto Carbon Fiber WR167



Gambar 2: Shandong Fiberglass WR600

HASIL & PEMBAHASAN.

Langkah-langkah yang dilakukan di site diperlihatkan pada gambar 1, 2 dan 3.



Gambar 1: pengupasan lantai keramik.dan perataan lantai beton



Gambar 2: pelapisan FRP dengan polyester.



Gambar4: uji beban manual dengan bahan paking FRP seberat 400 kg.

Langkah-langkah perhitungan struktur balok dan plat dengan memakai GFRP diperlihatkan pada tabel 1 perhitungan plat, tabel 2 perhitungan balok.

Tabel1: perhitungan plat.



Gambar3: pelapisan daerah plat tumpuan sudah selesai.

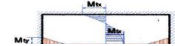
PERHITUNGAN PLAT LANTAI (SLAB) GEDUNG BARBARA DOLLY SURABAYA
PLAT LENTUR DUA ARAH (TWO WAY SLAB) PERKUATAN FRP EWR 600

[CP012 - H. EDY JAYANTO, ST.]

A. DATA BAHAN STRUKTUR

Kuat tekan beton,	$f'_c =$	21	MPa
Tegangan leleh baja untuk tulangan lentur,	$f_y =$	240	MPa
Tebal bersih selimut beton,	$t_b =$	25	mm
Faktor Reduksi Lingkungan	$C_e =$	0.85	
Kuat tarik Ultimate FRP	$f_{tk} =$	2,345.00	MPa
Regangan Pecah FRP	$\epsilon_{tk} =$	0.0213	mm/mm
Modulus elastis FRP	$E_f =$	70,000.00	MPa
Tebal FRP WR 600	$T_f =$	0.6	mm
Modulus elastis Baja	$E_s =$	200,000.00	MPa
Modulus elastis Beton	$E_c =$	21,409.52	MPa

B. DATA PLAT LANTAI

Panjang bentang plat arah x,	$L_x =$	4.20	m
Panjang bentang plat arah y,	$L_y =$	4.00	m
Tebal plat lantai,	$h =$	120	mm
Koefisien momen plat untuk :	$L_y / L_x =$	0.95	
	KOEFISIEN MOMEN PLAT		
	$C_x =$	21	
	$C_y =$	21	
Diameter tulangan yang digunakan,	$\phi =$	10	mm
Tebal bersih selimut beton,	$t_b =$	25	mm

C. BEBAN PLAT LANTAI

1. BEBAN MATI (DEAD LOAD)

No	Jenis Beban Mati	Berat satuan	Tebal (m)	Q (kN/m ²)
1	Berat sendiri plat lantai (kN/m ²)	24.0	0.12	2.880
2	Berat finishing (kN/m ²)	3.4	0.25	0.850
3	Berat air hujan (kN/m ²)			1.000
4	Berat peralatan			0.000
Total beban mati,				$Q_D =$ 4.730

2. BEBAN HIDUP (LIVE LOAD)

Beban hidup pada lantai bangunan =	250	kg/m ²
$Q_L =$	2.500	kN/m ²

3. BEBAN RENCANA TERFAKTOR

Beban rencana terfaktor,

$$Q_u = 1.2 \cdot Q_D + 1.6 \cdot Q_L = 9.676 \text{ kN/m}^2$$

4. MOMEN PLAT AKIBAT BEBAN TERFAKTOR

Momen lapangan arah x,

$$M_{lx} = C_{lx} \cdot 0.001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 = 3.584 \text{ kNm/m}$$

Momen lapangan arah y,

$$M_{ly} = C_{ly} \cdot 0.001 \cdot Q_u \cdot L_y^2 = 3.584 \text{ kNm/m}$$

Momen tumpuan arah x,

$$M_{tx} = C_{tx} \cdot 0.001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 = 8.876 \text{ kNm/m}$$

Momen tumpuan arah y,

$$M_{ty} = C_{ty} \cdot 0.001 \cdot Q_u \cdot L_y^2 = 8.876 \text{ kNm/m}$$

Momen rencana (maksimum) plat,

$$\rightarrow M_u = 8.876 \text{ kNm/m}$$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0.85 \cdot f'_c / f_y \cdot [1 - \sqrt{1 - 2 \cdot R_u / (0.85 \cdot f'_c)}] = 0.0059$$

Rasio tulangan minimum,

$$\rho_{min} = 0.0025$$

Rasio tulangan yang digunakan,

$$\rho = 0.0059$$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 535 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \pi / 4 \cdot \phi^2 \cdot b / A_s = 147 \text{ mm}$$

Jarak tulangan maksimum,

$$s_{max} = 2 \cdot h = 240 \text{ mm}$$

Jarak tulangan maksimum,

$$s_{max} = 200 \text{ mm}$$

Jarak sengkang yang harus digunakan,

$$s = 147 \text{ mm}$$

Ditambil jarak sengkang :

$$s = 140 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan,

$$\phi 10 - 140$$

Luas tulangan terpakai,

$$A_s = \pi / 4 \cdot \phi^2 \cdot b / s = 561 \text{ mm}^2$$

Tulangan Terpasang,

$$\phi 10 - 150$$

Luas tulangan terpasang,

$$A_s = \pi / 4 \cdot \phi^2 \cdot b / s = 524 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan kondisi diatas maka luas penampang besi yang dibutuhkan kurang yaitu :

Luas Besi yang dibutuhkan

$$535$$

Luas Besi yang terpasang

$$524$$

→ RETAK

B. PERHITUNGAN LENTUR PLAT SETELAH PERKUATAN FRP 1 LAPIS ARAH X DAN Y

Luas Tulangan Besi terpasang

$$A_s = 524 \text{ mm}^2$$

Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton,

$$d' = 30 \text{ mm}$$

Tebal efektif plat,

$$d = h - d' = 90.00 \text{ mm}$$

Rasio Tulangan terhadap penampang Balok

$$\rho_s = A_s / (b \cdot d) = 2.327.11$$

Labar FRP WR600

$$\eta_s = E_s / E_c = 9.342$$

Jumlah Lapis FRP WR600 tiap m plat

$$W_f = 300.00 \text{ mm}$$

Luas Penampang FRP

$$A_f = n \cdot T_f \cdot W_f = 180.00 \text{ mm}^2$$

Tegangan tjin FRP yang dipakai

$$f_u = 1.993.25 \text{ MPa}$$

Regangan tjin FRP yang dipakai

$$\epsilon_{fu} = 0.0181$$

Rasio FRP yang dipakai

$$\rho_f = 800.00$$

Nilai kekakuan akibat adanya FRP

$$k = \{ \rho_s \cdot E_s / E_c + \rho_f \cdot E_f / E_c \} + 2 \cdot \{ \eta_s \cdot E_s / E_c + \rho_f \cdot E_f / E_c \} \cdot (h / d) = 0.9668$$

Kontrol Assumsi Nilai c

$$c = A_s \cdot f_u + A_f \cdot F_{le} - A_s' \cdot f_c' / (\phi \cdot f_c' \cdot L_b) \text{ atau } 0.2 d \dots \dots \dots ACI 440.2R-44$$

Momen Inertia Penampang FRP + Plat beton

$$I_{cr} = 25.939.547.9 \text{ mm}^4$$

Regangan Effektiv FRP < ϵ_{fu} atau $\epsilon_{fu} = 0.0202$ atau $0.002424 =$

$$\epsilon_{fu} = 0.003 \cdot (h - c) \cdot \epsilon_{bi} = 0.00390 > 0.0024$$

$$\text{dipakai} = 0.0024$$

Tingkat regangan beton pada katan FRP

$$\epsilon_{uk} = (MDL \cdot (h - k)) / I_{cr} \cdot E_c = 0.00190$$

Untuk : $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$,

$$f_u = E_f \cdot \epsilon_{uk} = 168.00 \text{ MPa}$$

Untuk : $f'_c > 30 \text{ MPa}$,

$$\beta_1 = 0.85$$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \cdot (f'_c - 30) / 7 = -$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0.85$$

$$f_s' = (1 - d'/c) \cdot 0.003 \cdot E_s \cdot \phi = 240.00 \text{ MPa}$$

Nilai perhitungan diatas dapat digunakan sebagai dasar perhitungan kapasitas Balok setelah diperkuat dengan FRP dengan Persamaan sebagai Berikut :

Momen negatif nominal rencana,

$$M_{n\phi} = M_u = [A_s \cdot F_s \cdot (d - (\beta_1 \cdot c / 2)) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') + \eta_f \cdot A_f \cdot f_{u\phi} \cdot (h - (\beta_1 \cdot c / 2))] = 20.776.072.97 \text{ Nmm}$$

$$= 20.78 \text{ KNm}$$

$$= 2.08 \text{ TON-m}$$

Syarat :

$$\phi \cdot M_n \geq M_u \rightarrow 20.78 \geq 8.88 \rightarrow \text{AMAN (OK)}$$

Penambahan FRP WR 600 diatas setara $\phi 10 - 50$ maka luas penampang besi menjadi =

$$\text{Tulangan Terpasang, } \phi 10 - 50 = 50$$

$$\text{Luas tulangan terpasang, } A_s = \pi / 4 \cdot \phi^2 \cdot b / s = 1.570.80 \text{ mm}^2$$

Untuk : $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$,

$$\beta_1 = 0.85$$

Untuk : $f'_c > 30 \text{ MPa}$,

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \cdot (f'_c - 30) / 7 = -$$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0.85$$

Rasio tulangan pada kondisi balance,

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0.85 \cdot f'_c / f_y \cdot 600 / (600 + f_y) = 0.0446$$

Faktor tahanan momen maksimum,

$$R_{max} = 0.75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot [1 - \frac{1}{2} \cdot 0.75 \cdot \rho_b \cdot f_y / (0.85 \cdot f'_c)] = 6.2028$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0.80$$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,

$$d_s = t_s + \phi / 2 = 30.0 \text{ mm}$$

Tebal efektif plat lantai,

$$d = h - d_s = 90.0 \text{ mm}$$

Ditinjau plat lantai selebar 1 m,

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Momen nominal rencana,

$$M_n = M_u / \phi = 11.095 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen,

$$R_n = M_n \cdot 10^6 / (b \cdot d^2) = 1.36969$$

$$R_n < R_{max} \rightarrow \text{(OK)}$$

B. PENULANGAN PLAT ARAH X TUMPUAN

Untuk : $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$,

$$\beta_1 = 0.85$$

Untuk : $f'_c > 30 \text{ MPa}$,

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \cdot (f'_c - 30) / 7 = -$$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,

$$\beta_1 = 0.85$$

Rasio tulangan pada kondisi balance,

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0.85 \cdot f'_c / f_y \cdot 600 / (600 + f_y) = 0.0446$$

Faktor tahanan momen maksimum,

$$R_{max} = 0.75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot [1 - \frac{1}{2} \cdot 0.75 \cdot \rho_b \cdot f_y / (0.85 \cdot f'_c)] = 6.2028$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0.80$$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,

$$d_s = t_s + \phi / 2 = 30.0 \text{ mm}$$

Tebal efektif plat lantai,

$$d = h - d_s = 90.0 \text{ mm}$$

Ditinjau plat lantai selebar 1 m,

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Momen nominal rencana,

$$M_n = M_u / \phi = 11.095 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen,

$$R_n = M_n \cdot 10^6 / (b \cdot d^2) = 1.36969$$

$$R_n < R_{max} \rightarrow \text{(OK)}$$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0.85 \cdot f'_c / f_y \cdot [1 - \sqrt{1 - 2 \cdot R_n / (0.85 \cdot f'_c)}] = 0.0059$$

Rasio tulangan minimum,

$$\rho_{min} = \sqrt{f'_c} / (4 \cdot f_y) = 0.0047$$

Rasio tulangan yang digunakan,

$$\rho_{min} = 1.4 / f_y = 0.0058$$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$\rho = 0.0059$$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 535 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan maksimum,

$$s = \pi / 4 \cdot \phi^2 \cdot b / A_s = 147 \text{ mm}$$

Jarak tulangan maksimum,

$$s_{max} = 2 \cdot h = 240 \text{ mm}$$

Jarak sengkang yang harus digunakan,

$$s_{max} = 250 \text{ mm}$$

Ditambil jarak sengkang :

$$s = 147 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan,

$$s = 140 \text{ mm}$$

Luas tulangan terpakai,

$$A_s = \pi / 4 \cdot \phi^2 \cdot b / s = 561 \text{ mm}^2$$

Tulangan Terpasang,

$$\phi 10 - 150$$

Luas tulangan terpasang,

$$A_s = \pi / 4 \cdot \phi^2 \cdot b / s = 524 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan kondisi diatas maka luas penampang besi yang dibutuhkan kurang yaitu :

Luas Besi yang dibutuhkan

$$535$$

Luas Besi yang terpasang

$$524$$

→ RETAK+Hrs diperkuat FRP spt arah Y

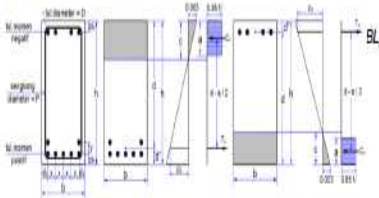
Tabel2: perhitungan balok.

PERHITUNGAN BALOK (BEAM) DGN PERKUATAN FRP EWR 600

BALOK 200/320 GDG BARBARA DOLLY SURABAYA L = 6 M

Struktur Engineer : H. Eddy Jayanto (Hp. 082330592315)

Lokasi Tulangan Tumpuan



A. DATA BALOK LANTAI

BAHAN STRUKTUR		
Kuat tekan beton,	$f'_c =$	20.8 MPa
Tegangan leleh baja (deform) untuk tulangan lentur,	$f_y =$	400 MPa
Tegangan leleh baja (polos) untuk tulangan geser,	$f_y =$	240 MPa
DIMENSI BALOK		
Lebar balok	$b =$	150 mm
Tinggi balok	$h =$	320 mm
Diameter tulangan (deform) yang digunakan,	$D =$	16 mm
Diameter sengkang (polos) yang digunakan,	$P =$	10 mm
Tebal bersih selimut beton,	$t_s =$	25 mm
Faktor Reduksi Lingkungan	$C_e =$	0.85
Kuat tarik Ultimate FRP	$f_{u,F} =$	2.200.00 M
Regangan Pecah FRP	$\epsilon_{F,F} =$	0.0213 m
Modulus elastis FRP	$E_F =$	70.000.00 M
Tebal FRP	$T_F =$	0.8 m
Modulus elastis Baja	$E_s =$	200.000.00 M
Modulus elastis Beton	$E_c =$	21.409.62 M
MOMEN DAN GAYA GESER RENCANA		
Momen rencana positif akibat beban terfaktor,	$M_u^+ =$	78.31 kN
Momen rencana negatif akibat beban terfaktor,	$M_u^- =$	158.61 kN
Gaya geser rencana akibat beban terfaktor,	$V_u =$	113.61 kN

B. PERHITUNGAN LENTUR BALOK SETELAH PERKUATAN FRP

Luas Tulangan Besi terpasang	$A_s =$	1005 mm ²
Diperkirakan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton,	$d' =$	51 mm
Tinggi efektif balok,	$d = h - d' =$	269.00 mm
Rasio Tulangan terhadap penampang Balok	$\rho_s = A_s / (b \cdot d) =$	0.02491
	$\eta_s = E_s / E_c =$	9.342
Lebar CFRP 300	$W_f =$	300.00 mm
Jumlah Lapis FRP	$n =$	6.00
Luas Penampang FRP 300	$A_f = n \cdot T_f \cdot W_f =$	1080.00 mm ²
Tegangan Ijin FRP yang dipakai	$f_{u,F} =$	1.870.00 MPa
Regangan Ijin FRP yang dipakai	$\epsilon_{F,F} =$	0.0181
Rasio FRP yang dipakai	$\rho_f =$	0.0267658
Nilai kekakuan akibat adanya FRP	$k = (\text{akar} [\rho_s \cdot E_s / E_c + \rho_f \cdot E_F / E_c] + 2 \cdot [\rho_s \cdot E_s / E_c + \rho_f \cdot E_F / E_c] \cdot (h/d)) \cdot (E_s \cdot E_c / E_c + \rho_f \cdot E_F / E_c) =$	0.5608

Kontrol Assumsi Nilai c

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_F}{\phi \cdot f_c \cdot b} \text{ atau } 0.2 d \text{ ACI 440.2R-44}$$

Momen Inertia Penampang FRP + Balok beton

$$\text{Regangan Efektif CFRP} < \epsilon_{F,F} = 0.12 \times 0.0202 = 0.002424$$

$c =$	186.99	mm
$I_{cr} =$	813.083.479.3	mm ⁴
$\epsilon_{F,F} = 0.003 \cdot (h - c) \cdot \beta_1$	0.00186	> 0.0024
dipakai	0.0024	
husus material Glass ewr600 Regangan	0.0032	
$\epsilon_{F,F} = (MDL' \cdot (h - c)) / I_{cr} \cdot E_c$	0.00287	
$f_{t,F} = E_F \cdot \epsilon_{F,F}$	224.00	MPa
$\beta_1 =$	0.85	
$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \cdot (f'_c - 30) / 7$	-	
$\beta_1 =$	0.85	
$\phi =$	0.80	
$f_s' = (1 - (d'/c)) \cdot 0.003 \cdot E_s$	286.80	MPa

Nilai perhitungan diatas dapat digunakan sebagai dasar perhitungan kapasitas Balok setelah diperkuat dengan FRP dengan Persamaan sebagai Berikut :

Momen negatif nominal rencana,

$$M_n = M_u = [A_s F_s \cdot (d - (\beta_1 \cdot c/2)) + A_f f_F \cdot (d - d') + \psi_s A_s f_{t,F} \cdot (h - (\beta_1 \cdot c/2))]$$

Syarat :

$$\phi \cdot M_n \geq M_u$$

C. PERHITUNGAN GESER BALOK SETELAH PERKUATAN FRP

Luas Penampang FRP sengkang	$A_{Fv} = n \cdot (2 \cdot t_f \cdot w_f) =$	180.00 mm ²
Tegangan FRP untuk sengkang	$\epsilon_{Fv} =$	0.0181
Regangan efektif FRP untuk sengkang	$\epsilon_{Fv} =$	0.0024
Lebar FRP untuk sengkang	$t_f =$	150 mm
Panjang FRP untuk sengkang	$d_f =$	1080 mm
Jarak pemasangan FRP	$S_f =$	1000 mm
Kapasitas geser yang diberikan oleh FRP	$V_f = A_{Fv} \cdot f_{t,F} \cdot (\sin 90 + \cos 90) / d_f \cdot S_f =$	43.545.60 N
	$\sin 90 =$	1
	$\cos 90 =$	0
	$V_f = A_{Fv} \cdot f_{t,F} \cdot (\sin 90 + \cos 90) / d_f \cdot S_f =$	43.55 KN
Faktor reduksi untuk geser	$\phi =$	0.75
	$V_c =$	1374.56 KN
	$V_s =$	163.20 KN
	$V_F =$	43.55 KN
Kapasitas geser balok setelah dilakukan perkuatan FRP	$\phi \cdot V_n = \phi \cdot (V_c + V_s + \psi \cdot V_F) =$	1.181.08 KN
		118.11 TON

Syarat :

$$\phi \cdot V_n \geq V_u$$

KESIMPULAN & SARAN.

Dari hasil studi dan pembahasan kemampuan beton bertulang dengan metode penambahan dengan GFRP pada bending momen sebagai berikut :

1. Berdasarkan Perhitungan balok bertulang existing 200/320 dengan penambahan GFRP $\phi M_n > M_u$
 $\phi M_n = 181,56 \text{ KNm}$, $M_u = 156,61 \text{ KNm}$ ok
 $\phi V_n = 1.181,08 \text{ KN}$, $V_u = 113,51 \text{ KN}$ ok
2. Berdasarkan Perhitungan Plat bertulang existing tebal 12cm dengan penambahan GFRP $\phi M_n > M_u$
 $\phi M_n = 20,78 \text{ KNm}$, $M_u = 8,88 \text{ KNm}$ ok
 $\delta = 8,473 \text{ mm}$, $\delta \text{ ijin} = L/480 = 8.750 \text{ mm}$ ok
3. Dilapangan dipakai 5 lapis serat $90^\circ, 0^\circ$ sebagai faktor keamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Parno Taufikurrahman. (2014). "Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polimer (GFRP) Strips.". Journal Ilmu-Ilmu Teknik-Sistem.
- Rudy Jamauddin dan shinichi Hino. (2011). "Kapasitas Perkuatan Lentur Balok beton bertulang yang telah meleleh dengan menggunakan lembaran GFRP". Journal dinamika teknik sipil.
- Mozartha et.al. (2009). "Pemilihan Resin Komposit dan Fiber untuk meningkatkan kekuatan flektural". Journal PDGI 59..
- Tavio, Purwono, R dan Sosyidah, A. "Peningkatan Daya Dukung dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer" Dinamika Teknik Sipil, 2009
- Feldman, D. dan Hartomo, A.J. (1995), *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 117 pp.
- Nawy, E.G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, PT. Eresco, Bandung, 763 pp.