

**PRE-TEST BERBASIS ELEMEN HINGGA BALOK BETON
BERTULANG DENGAN PERKUATAN GESER
MENGUNAKAN GFRP**

Sary Shandy¹

Abstrak

Penelitian terhadap perkembangan-perkembangan material yang baru serta metode dan teknik perkuatan struktur yang telah banyak dilakukan menunjukkan bahwa *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) merupakan material yang menjanjikan untuk digunakan dalam perkuatan struktur beton bertulang.

Penelitian ini bertujuan memodelkan balok beton bertulang dengan perkuatan geser menggunakan GFRP berbasis metode elemen hingga. Metode dengan menggunakan program bantu *Finite Element Analysis* (FEA) LUSAS pemodelan dilakukan dengan model 2-dimensi terhadap benda uji yaitu balok beton normal tanpa perkuatan geser (BGN), balok dengan perkuatan geser menggunakan GFRP yang menerus pada bentang geser (BGPF).

Dari hasil penelitian yang dilakukan terlihat bahwa secara umum program bantu yang digunakan dapat menunjukkan perilaku yang mendekati dengan hasil desain teoritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase selisih beban geser maksimum balok normal antara hasil *pre-analysis* FEA LUSAS dengan desain teoritis adalah 7,8%, dan selisih rata-rata beban geser maksimum untuk balok normal hasil pemodelan dengan 4 meshing yang berbeda adalah sebesar 8,5%. Hal ini memperlihatkan respons perilaku material yang dihasilkan dari studi simulasi dapat dengan baik digambarkan oleh program tersebut.

Kata kunci: Balok Geser, GFRP, LUSAS, pemodelan 2-dimensi.

¹ Dosen Fakultas Teknik UMMU Ternat

PENDAHULUAN

*K*ejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, umumnya kerusakan terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok dan dinamakan bentang geser. Retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser. Pada bentang geser yang lebih pendek, kerusakan timbul akibat kombinasi dari pergeseran, remuk dan belah, sedangkan untuk balok tanpa tulangan geser dengan bentang geser lebih panjang, retak akibat tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum retak karena tarik diagonal (Kusnadi, 2011).

Terjadinya retak tarik lentur pada balok tanpa tulangan geser merupakan peringatan awal kerusakan geser. Retak miring akibat geser di badan balok bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan retak lentur yang telah mendahuluinya (Asroni, 2010).

Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan material yang sangat menjanjikan untuk digunakan dalam perkuatan struktur beton bertulang. Penggunaan GFRP pada balok beton bertulang dapat memberikan kontribusi meningkatkan kapasitas beban bila dibandingkan dengan balok beton bertulang tanpa perkuatan GFRP. Sebagai perkuatan geser pada balok beton bertulang, GFRP dapat direkatkan pada sisi balok. Peningkatan kapasitas

bervariasi seiring dengan penambahan jumlah lapisan (Khalifa et al., 1998).

Kuat geser nominal balok beton bertulang merupakan jumlah kuat geser beton dan kuat geser tulangan. Dalam kasus balok yang diperkuat dengan FRP kuat geser nominal dapat diperhitungkan dengan menambahkan kuat geser FRP (Nawy, 1998).

Alami dkk (2010), meneliti tentang pengaruh variasi pemasangan GFRP terhadap peningkatan kekuatan geser balok beton bertulang dan perilaku retak balok beton bertulang tanpa perkuatan GFRP (balok normal) dengan balok beton bertulang menggunakan perkuatan GFRP. Peningkatan beban maksimum yang terjadi bila dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan adalah sebesar 14,46% untuk balok beton bertulang perkuatan geser dengan GFRP yang dipasang 3 strip dan 20,13% untuk balok beton bertulang perkuatan geser yang dipasang 5 strip pada area dekat tumpuan. Penambahan GFRP pada kedua sisi balok sepanjang bentang geser mempengaruhi pola retak yang terjadi.

Kader (2012), meneliti tentang kinerja balok beton bertulang dengan perkuatan lentur lembar *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) yang divariasikan dengan mutu beton dan jumlah lapis lembar CFRP. Mutu beton 23 Mpa dengan menggunakan 3 lapis CFRP memberikan peningkatan kapasitas balok bila dibandingkan balok beton dengan mutu yang sama tanpa perkuatan adalah sebesar 30,15% dan

mempengaruhi pola keruntuhan yang terjadi pada balok.

Deskarta (2009), meneliti tentang pengaruh dari penambahan pelat GFRP dengan arah serat $0^{\circ}/90^{\circ}$, $\pm 45^{\circ}$ dan 0° terhadap peningkatan kapasitas geser dari penampang beton bertulang. Penampang balok adalah 100 x 150 cm dan panjang 950 cm. Pelat GFRP ditambahkan pada kedua sisi permukaan balok dengan melapisi permukaan tersebut dengan *epoxy resin* dan menambahkan *glass fiber* dalam bentuk *woven roving* pada arah yang diperlukan dan terakhir ditutup kembali dengan *epoxy*. Balok ditumpu sederhana dan diberikan beban di empat titik. Data yang dikumpulkan berupa beban-lendutan pada setiap penambahan beban sampai runtuh dan pola runtuh dari balok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok tanpa GFRP mengalami pola runtuh geser sedangkan balok dengan GFRP mengalami pola runtuh lentur. Selanjutnya, penambahan GFRP pada balok meningkatkan kapasitas beban balok sebesar rata-rata 12,48%.

Pendekatan numerik sangat bermanfaat dan berguna dalam menghitung kasus-kasus yang berhubungan dengan kekuatan material, analisa thermal, kekuatan struktur bahkan pada mekanika fluida. Salah satu pendekatan yang sering digunakan dalam studi numerik adalah metode elemen hingga (*finite element method*), dimana struktur kontinum ditinjau sebagai rangkaian elemen-elemen kecil berhingga yang dihubungkan satu sama lain melalui titik-titik

nodal yang terdapat pada tepi elemen. Setiap elemen mempunyai beberapa titik nodal yang mempunyai derajat kebebasan (*degree of freedom*) (Wahjoedi, 2011).

Terdapat 3 langkah dalam analisis elemen hingga yaitu: *pre-processing*, *finite element solver* dan *result processing*. Sistem dalam program *finite element* LUSAS terdapat 2 bagian pelaksanaan analisis *finite* elemen yaitu: (1) LUSAS *modeller*, untuk pemodelan grafis sebelum dan sesudah proses. (2) LUSAS *solver*, untuk melaksanakan analisis *finite* elemen (Lusas, 2004).

Kader (2011), menganalisis balok-T (tanpa dan dengan perkuatan FRP), yang dimodelkan dengan menggunakan *software* berbasis FEM yaitu *software* LUSAS. Penampang balok yang digunakan yaitu penampang standar Bina Marga dengan skala 1:4. Dari hasil validasi Pengujian balok-T (balok tanpa dan dengan perkuatan FRP) secara umum menunjukkan kedekatan perilaku yang cukup baik antara hasil pengujian laboratorium dengan hasil pengujian FEA LUSAS.

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan balok beton bertulang dengan perkuatan geser menggunakan GFRP berbasis metode elemen hingga.

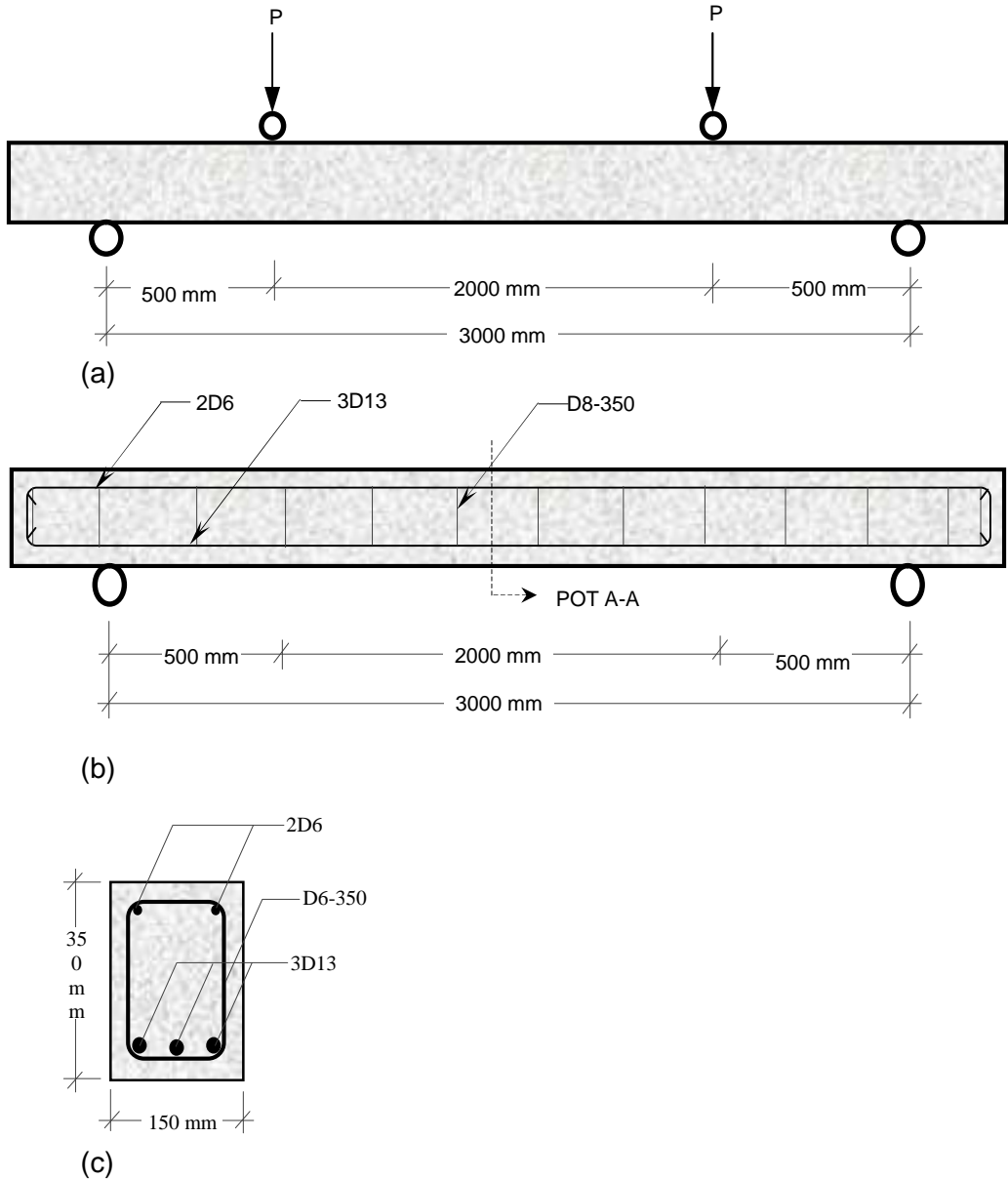
BAHAN DAN METODE

Rancangan penelitian yang dilakukan merujuk kepada model balok beton bertulang dengan perkuatan geser yang akan dilakukan di laboratorium yang berupa karakteristik

material. Misalnya kuat tekan beton f'_c yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari (SNI, 2002).

Variasi benda uji balok beton bertulang dalam simulasi FEA LUSAS mengikuti model yang nantinya akan diuji di laboratorium yang terdiri dari 2 variasi model yaitu balok beton normal

Pemodelan Struktur



Gambar 1. Model desain pembebanan balok (a), Model desain memanjang balok (b), dan Potongan A-A balok (c)

tanpa perkuatan menggunakan GFRP (BGN) dan balok beton dengan perkuatan geser menggunakan GFRP yang dipasang secara menerus pada bentang geser balok (BGPF). Dimana dengan panjang total 3300 mm, panjang bersih 3000 mm, dan dimensi penampang lebar 150 mm, tinggi 350 mm. Untuk lebih jelasnya model geometri yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 1 dan variasi balok FEA LUSAS dapat dilihat pada Tabel 1.

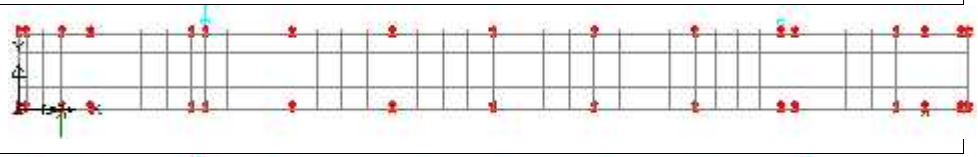
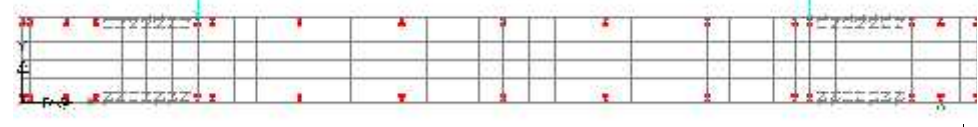
QPM8 masing-masing untuk balok normal (BGN) dan balok dengan perkuatan GFRP menerus bentang geser (BGPF). Untuk properti material yang digunakan untuk memodelkan balok beton bertulang menggunakan material *isotropic* untuk beton, tulangan, GFRP dan *epoxy*. Lebih jelasnya untuk material properti dapat dilihat pada Tabel 2.

HASIL PENELITIAN

Hubungan beban dan lendutan

Hasil simulasi FEA LUSAS

Tabel 1. Geometri penampang FEA LUSAS

No	Kode	Profil Balok
1	BGN	
2	BGPF	

Rancangan Analisa Numerik

Analisis numerik dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software *Finite Element Analysis* (FEA) LUSAS. *Pre-test analysis* FEA LUSAS dilakukan dengan menggunakan material model elemen bidang 2-dimensi. Beton, lembar dan *epoxy* GFRP dimodelkan sebagai *plane stress quadric lateral* (QPM8), sedangkan untuk tulangan baja dimodelkan sebagai elemen garis (BAR3). Untuk memodelkan kontak antara GFRP dan beton elemen yang digunakan yaitu elemen *joint no rotational stiffnes* (JNT). Model

yang dibandingkan dengan hasil desain teoritis. Hasil pre-test analisis FEA LUSAS menunjukkan bahwa persentase selisih beban geser maksimum balok normal antara hasil pemodelan dengan desain teoritis adalah 7,8%, dan selisih rata-rata beban geser maksimum untuk balok normal hasil pemodelan dengan 4 meshing yang berbeda adalah sebesar 8,5%. Hal ini memperlihatkan respons perilaku material yang dihasilkan dari studi simulasi dapat dengan baik digambarkan oleh program tersebut.

Tabel 2. Material properti FEA LUSAS

		MATERIAL <i>Isotropic</i>			
		Beton	Baja	<i>Epoxy</i>	GFRP
1	Elastic				
	<i>Young's Modulus (MPa)</i>	23500	200000		70000
	<i>Poisson Ratio</i>	0.2	0.3		0.2
	<i>Mass Density</i>	-	-		
2	Plastic				
	Model	<i>Concrete (94)</i>	<i>Stress Potensial</i>		<i>Stress Potensial</i>
	<i>Stress potensial type</i>		<i>Von Mises</i>	<i>Elasto Plasto uniform tension and compression</i>	<i>Von Mises</i>
3	Hardening <i>Hardening Gradient</i>	-	20000 0,002		279 0,022
4	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	25	-		
5	Initial Uniaxial yield stress		400		279
6	Strain at peak uniaxial Compression	0.00185	-		
7	Tensile Strength (MPa)	2.5	-		
8	Strain at End Coftening Curve	0.003	-		

Untuk balok beton normal tanpa perkuatan GFRP(BGN), berdasarkan hasil simulasi FEA LUSAS diperoleh beban awal retak 13,99 kN dan beban ultimit 17,393 kN. Untuk balok dengan perkuatan geser menggunakan GFRP menerus bentang geser (BGPF) diperoleh beban awal retak 14,39 kN, dan beban ultimit sebesar

77,798 kN. Untuk simulasi FEA LUSAS diperoleh lendutan awal retak 0,552 mm dan lendutan ultimit 6,101 mm. Untuk balok dengan perkuatan geser menggunakan GFRP menerus bentang geser (BGPF), simulasi FEA LUSAS diperoleh lendutan awal retak 0,564 mm dan lendutan ultimit 8,635 mm..

Tabel 3. Hubungan beban dan lendutan

Kode Balok	Beban		Lendutan	
	P_{Crack} (kN)	$P_{Ultimit}$ (kN)	Lendutan ¹ (mm)	Lendutan ² (mm)
BGN	13,999	76,393	0,552	6,101
BGPF	14,390	77,798	0,564	8,635

Regangan

Nilai regangan yang diuraikan merupakan nilai regangan pada kondisi awal retak dan pada kondisi pembebanan ultimit. Regangan beton yang diperoleh merupakan regangan tekan pada tengah bentang. Untuk balok beton normal tanpa perkuatan GFRP(BGN), berdasarkan hasil simulasi FEA LUSAS diperoleh regangan tekan beton awal retak 0,00006 dan saat beban ultimit 0,00096. Untuk balok dengan perkuatan geser menggunakan GFRP menerus bentang geser (BGPF), berdasarkan hasil simulasi FEA LUSAS diperoleh regangan tekan beton awal retak 0,00007 dan saat beban ultimit 0,0014.. Untuk lebih jelasnya lihat pada Tabel 4.

PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian hubungan beban dan lendutan untuk balok normal memperlihatkan kapasitas beban yang tidak jauh berbeda antara simulasi FEA LUSAS dengan hasil desain teoritis. Untuk balok beton bertulang dengan perkuatan geser menggunakan GFRP baik yang menerus bentang geser (BGPF) menunjukkan kapasitas beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan balok beton normal tanpa perkuatan (BGN), hal ini membuktikan bahwa GFRP memberikan kontribusi gaya dalam menerima beban.

Terlihat juga bahwa dari model variasi pemasangan GFRP hasil simulasi FEA LUSAS menunjukkan bahwa model yang

Tabel 4. Hubungan beban dan regangan tulangan tarik baja

Kode Balok	Beban		Regangan baja	
	P _{Crack} (kN)	P _{Ultimit} (kN)	Regangan ¹ (mm)	Regangan ² (mm)
BGN	13,999	76,393	0,00006	0,0096
BSC	14,390	77,798	0,00007	0,0014

Model Keruntuhan Balok

Untuk balok beton normal tanpa perkuatan GFRP(BGN), model keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser. Balok dengan perkuatan GFRP menerus bentang geser (BGPF memperlihatkan model keruntuhan yang berbeda yakni keruntuhan akibat gagal lentur.

memberikan kapasitas geser. Hal ini

membuktikan bahwa adanya interaksi atau kerja sama dengan baik antara GFRP dengan beton dalam menerima beban.

Model Keruntuhan yang terjadi pada balok tanpa perkuatan GFRP adalah model keruntuhan geser. Retak geser yang merupakan kelanjutan dari retak lentur mulai terjadi pada bentang geser atau bentang yang memikul gaya lintang dan lentur secara bersamaan. Berdasarkan hasil

simulasi FEA LUSAS, garis retak yang cenderung lebih diagonal menunjukkan bahwa retak geser terjadi. Berbeda halnya dengan balok yang diberi perkuatan GFRP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa garis retak yang terjadi pada 4 variasi balok dengan perkuatan GFRP cenderung tegak lurus. Dan hal tersebut membuktikan bahwa GFRP mencegah terjadinya gagal geser, sehingga model keruntuhan yang terjadi pada balok dengan 4 variasi perkuatan GFRP adalah keruntuhan akibat gagal lentur.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa simulasi yang dilakukan dengan menggunakan program terhadap balok beton bertulang dengan perkuatan geser menggunakan GFRP menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil desain. Dimana persentase selisih beban ultimit balok normal sebesar 7,8% dan peningkatan kapasitas beban balok dengan perkuatan sebesar 16,26%. disarankan penelitian selanjutnya perlu dilakukan simulasi menggunakan analisis elemen 3-D sehingga secara visual dapat dilihat perilaku masing – masing komponen balok pada setiap tahap pembebanan balok sampai pada saat mencapai beban yang menyebabkan keruntuhan.

DAFTAR PUSTAKA

Alami F dan Ratna W .(2010). *Studi Eksperimental Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang dengan GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer*

- .Universitas Lampung. Bandar Lampung .
- Asroni Ali. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Deskarta P. (2009). *Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 13, No. 2, Juli 2009.
- Kader I MadeS. (2011). *Analisis balok beton bertulang dengan perkuatan lentur lembar CFRP*. Universitas Udayana. Bali.
- Kader I MadeS. (2012). *Kinerja balok bertulang dengan perkuatan lentur lembar CFRP yang divariasi menurut mutu beton dan jumlah lapis lembar CFRP*. Jurnal Matrix Vol. 2, No. 1, Maret 2012. halaman. 195- 203.
- Kusnadi.(2011). *Studi Kemampuan Geser Balok Beton Komposit Yang Mengandung Styrofoam*. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Standar Nasional Indonesia (SNI).(2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.SNI 03-2847-2002.
- Wahjoedi. (2011). *Model numerik dan pengujian struktur balok beton bertulang dengan tulangan under reinforce*. Jurnal wahana teknik sipil.Vol. 16, No. 1, Juni 2011..