

PENGARUH BAJA TULANGAN LONGITUDINAL DAN MUTU BETON PADA BETON YANG DIPERKUAT *FIBER REINFORCED POLYMER (FRP)* DENGAN ATENA-GID

Ahmad Ridlwani Arif¹ dan Ahmad Zaki²

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Bantul, 55183 Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email korespondensi: ahmadridwanarif99@gmail.com

²Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Bantul, 55183 Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email : ahmad.zaki@umy.ac.id

ABSTRAK

Salah satu kelemahan dari balok beton yaitu lemah pada gaya tarik tetapi dengan menggunakan baja tulangan kelemahan tersebut dapat diatasi dan dinamakan balok beton bertulang. Namun, balok beton bertulang juga mempunyai kelemahan, salah satunya adalah lemah terhadap pengaruh lingkungan yaitu korosi dan saat pembebanan terjadi retakan (retak lentur dan retak geser). Untuk mengatasi retak tersebut, salah satu solusi adalah menggunakan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. Beton yang sudah mengeras akan dilaminasi menggunakan lembaran *polymer* untuk menambah kekuatan beton tanpa merusak struktur utama beton. Oleh karena itu, penelitian menganalisa pengaruh FRP pada kekuatan beton akan dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode elemen hingga. Pada penelitian ini menggunakan software GiD 15.0.1 untuk pemodelan balok secara geometris dan pembagian menjadi elemen-elemen dan ATENA Studio v5 untuk analisis balok secara komputasi dengan metode elemen hingga. Parameter penelitian yang digunakan adalah variasi dari tulangan utama (10 mm, 12 mm dan 16 mm) dan variasi kuat tekan (20 MPa dan 30 MPa). Dari analisis ATENA peningkatan secara umum terjadi pada nilai defleksi dan kapasitas beban maksimum di kedua jenis kuat tekan. Sedangkan tulangan utama dengan diameter 16 mm pada kuat tekan 20 MPa kekakuan sebesar 4,62 kN/mm dan daktilitas sebesar 2,09 adapun pada kuat tekan 30 MPa kekakuan sebesar 2,02 kN/mm dan daktilitas sebesar 10,06. Tulangan utama dengan diameter 16 mm menunjukkan hasil optimal dibandingkan variasi diameter 10 mm dan 12 mm. Retak yang terjadi pada beton dengan perkuatan *fiber reinforced polymer* lebih sedikit dibandingkan tanpa perkuatan *fiber reinforced polymer*.

Kata kunci: balok beton bertulang, *fiber reinforced polymer*, metode elemen hingga, ATENA, GiD

ABSTRACT

One of the weaknesses of the concrete beam is tension stress, however, with steel reinforcement this weakness can be eliminated so it named reinforced concrete. But reinforced concrete has another weaknesses, one of which is weak against weather and cause corrosion another that is crack (flexure crack and shear crack because uncalculated load. When the crack happens, it can be eliminated with the use of Fiber Reinforced Polymer (FRP). Solid concrete will be laminated with fiber polymer sheets which add strength to the structure without destroying it. Analysis on how fiber reinforced polymer give influence the concrete conducted with finite element analysis method. With computer software GiD 15.0.1 for modeling and generate mesh for the concrete beam and ATENA Studio v5 for numerical analysis with finite element method. Parametric studies in use are 3 different diameter (10 mm, 12 mm and 16 mm) of main reinforcement and 2 different compressive strengths (20 MPa and 30 MPa). From the analysis, ATENA shows that reinforced concrete in both type compressive strength with FRP show increases in ultimate strength capacity and decreases in deflection. As for main reinforcement with diameter 16 mm show 4,62 kN/mm in stiffness and 2,09 in ductility with 20 MPa for compressive strength and 2,02 kN/mm in stiffness and 10,06 in ductility with 30 MPa for compressive strength. Main reinforcement with diameter 16

mm show more optimal result than 10 mm and 12 mm. Concrete with fiber reinforced polymer shows less crack than without fiber reinforced polymer.

Keywords: reinforced concrete, finite element, ATENA, GiD, fiber reinforced polymer, frp

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini perencanaan banyak menggunakan *software* komputer untuk mempercepat proses analisis dan pemodelan struktur. Salah satu bagian struktur beton utama yang termasuk dalam analisis tersebut yaitu balok beton bertulang. Sehingga diperlukan *software* yang mampu menganalisis dengan metode elemen hingga salah satunya *software* ATENA. Dengan menggunakan ATENA kita dapat mensimulasikan sifat struktur dari beton ataupun beton bertulang termasuk retak beton, kehancuran dan kelelahan dari tulangan. Telah banyak *software-software* seperti SAP2000, GEO5, ETABS, ANSYS, ATENA yang mempunyai fungsi masing-masing sesuai kebutuhan. Sistem konstruksi telah dioptimalkan dengan harapan adanya efisiensi dan produktivitas yang lebih baik dalam kecepatan perancangan dan juga ketepatan pekerjaan dilapangan. Tren saat ini adalah sistem konstruksi menggunakan sistem digital yang banyak yaitu *Building Information Modeling* (BIM) yang merupakan sistem pelaksanaan dimana informasi dari sebuah proyek pembangunan diubah bentuk ke dalam sebuah model dengan bentuk digital sebagai representasi dari kondisi fisik nyata di lapangan sehingga proyek dapat diidentifikasi dengan risiko paling minimal [5].

[7] mengatakan jika struktur beton bertulang memikul beban melebihi kapasitasnya, maka akan terjadi kegagalan struktur dan akan runtuh. Salah satu solusi adalah menambahkan perkuatan FRP pada struktur sehingga dapat mencegah kegagalan dengan meningkatkan kapasitas beban rencana. Spesimen beton bertulang dibuat dengan mutu rencana $f_c'20$ MPa berdimensi 150 mm x 150 mm x 1200 mm dengan variasi tulangan 10 mm, 12 mm, dan 16 mm. Variasi tulangan mempunyai pengaruh pada daktilitas dimana semakin

besar dimensi tulangan baja pada spesimen yang diperkuat oleh FRP sifat daktilitasnya semakin menyerupai spesimen yang tidak diperkuat, pada pola retak dimana spesimen dengan luas baja tulangan lentur terkecil yang diperkuat oleh FRP menghasilkan pola retak awal yang lebih besar dan lebih sedikit daripada spesimen dengan luas baja tulangan lentur yang lebih besar, dan pada perilaku lentur dimana peningkatan kekuatan lentur signifikan terjadi pada balok yang memiliki diameter tulangan 10 mm sebanyak 31%.

[4] menyampaikan saat beton terkena temperatur yang tinggi beton tersebut akan mengalami penurunan kekuatan. Hubungan pembebanan dan deformasi menunjukan hal yang sama. Hubungan regangan dan tegangan dari masing-masing beton bertulang diperhatikan setiap penambahan beban. ATENA v2.1.10 menggunakan *S-Beta element* untuk memberikan hasil yang akurat pada model material non-linear, khusus nya untuk model NB dan AFB. Nilai kekakuan yang didapatkan dari eksperimen untuk AFB dan CAFB lebih besar daripada sampel dari hasil numerik yaitu 64% dan 45% sedangkan nilai daktilitas yang didapatkan dari eksperimen juga lebih kecil sekitar 41% dan 17% untuk hasil numerik

[1] menyampaikan sebuah elemen struktur membutuhkan perhatian spesial karena keruntuhan akibat geser dapat terjadi secara mendadak Dengan penelitian ini akan mengetahui bagaimana perilaku geser pada balok beton bertulang dengan analisis metode elemen hingga menggunakan *software* ATENA V5 dan hasilnya akan dibandingkan dengan pengujian eksperimental. Pada balok Beton Mutu Tinggi (BMT) dan *Normal High Strength Concrete* (HSC) menunjukkan perbedaan 3,16% pada beban ultimit dan 11,34% pada lendutan ultimit sedangkan balok BK-25 menunjukkan sebesar 15,88% pada beban

ultimit dan 19,87% lendutan ultimit. Pada balok BN menunjukkan 226 kN pada kapasitas geser dan 7.281 mm pada lendutan. Semua balok yang dimodelkan dengan analisis numerik menggunakan ATENA V5 menunjukkan kegagalan terhadap geser sesuai yang direncanakan.

Penggunaan perangkat lunak seperti ABAQUS dan ATENA telah digunakan untuk melakukan beberapa pemodelan dan simulasi dari sebuah struktur dari beton bertulang. Selain aplikasi komputasi, metode elemen hingga merupakan salah satu yang sering digunakan untuk melakukan pemodelan struktur beton bertulang. [3]

Metode elemen hingga menggunakan konsep dengan prinsip diskritasi dimana dengan menguraikan sebuah benda menjadi bagian-bagian yang lebih kecil untuk agar lebih mudah untuk dilakukan pengelolanya. [8]

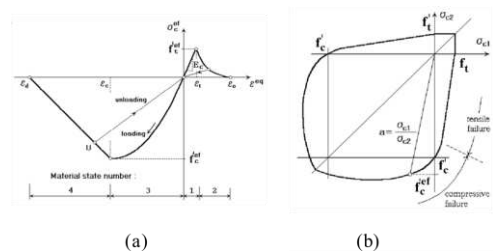
Pada penelitian ini akan dilakukan analisis menggunakan software ATENA bertujuan untuk memprediksi pola keretakan dari beton yang telah diperkuat menggunakan *fiber reinforced polymer* dengan parameter pada diameter tulangan dan juga kuat tekan dari beton

2. METODE PENELITIAN ATENA

Software ATENA merupakan *software* atau perangkat lunak yang tersedia secara komersial untuk kebutuhan analisis *Finite Element Method* (FEM) non-linear untuk khusus nya struktur beton bertulang. ATENA akan digunakan untuk analisis elemen hingga pada pemodelan yang dilakukan pada aplikasi GiD.

SBETA merupakan *material constitutive model*, yaitu model yang memperhitungkan berbagai respon mekanikal dan ataupun pengaruh dari suhu dengan kondisi pembebanan tertentu. Model material SBETA memperhitungkan sifat dari sebuah beton dengan sifat non-linear pada kondisi tekan, patahan pada kondisi tegang (berdasarkan mekanika non-linear patahan), kriteria kegagalan pada tahanan

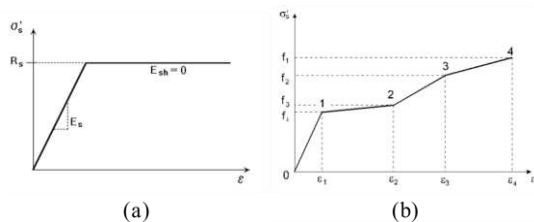
arah biaxial dan penurunan kuat tekan setelah terjadi retakan, efek dari kekakuan pada saat tegang dan penurunan kekakuan geser setelah retakan. Pada model material ini dua jenis retakan digunakan; retak arah tetap dan retak arah memutar. Penggunaan material jenis *isotropic* pada saat sebelum terjadi retakan pada beton yang berarti arah utama dari tegangan dan tekanan mempunyai arah yang identik atau sama sedangkan untuk beton yang sudah retak akan berbeda. Untuk ikatan antara beton dengan tulangan akan di asumsikan sebagai ikatan sempurna. Kegagalan ikatan tidak terjadi secara langsung dimodelkan pada simulasi. Untuk simulasi retakan pada beton *rankine failure criterion*, *exponential softening* dan retakan arah tetap dan retakan arah memutar berdasarkan *smeared crack concept* digunakan pada model diperhitungkan pada setiap elemen dan diikuti dengan aplikasi dari hukum *crack-opening law*. Model material berdasarkan komponen dengan sifat *elastic* (elastis), *plastic* (plastik), *fracturing strain*. Sifat tekan dari beton dimodelkan dengan menggunakan *plasticity-based model*. Seperti pada Gambar 1 Hukum tegangan-regangan dan *biaxial law*.



Gambar 1. (a) Hukum Tegangan-Regangan dan (b) Biaxial Law [2]

Perkuatan dapat dimodelkan dalam dua bentuk; *discrete* dan *smeared*. Perkuatan *discrete* dalam bentuk perkuatan tulangan menggunakan elemen truss. Sedangkan perkuatan *smeared* adalah bentuk dari komponen komposit material dalam kesatuan atau lebih dengan beberapa pertimbangan.

Beberapa pertimbangan tersebut adalah *bi-linear law*, *elastic-perfectly plastic* ditunjukkan pada Gambar 2 (a) modulus elastisitas dan pengerasan untuk baja. (b) *multi-linear law* terdiri atas 4 tahapan dari perilaku beton yaitu tahap elastis, tahap daerah leleh, pengerasan dan getas.

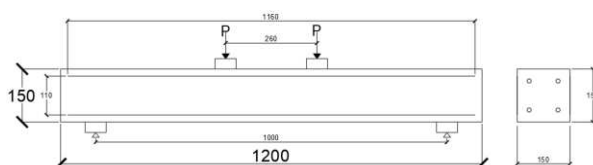


Gambar 2. (a) Modulus Elastisitas dan Pengerasan untuk Baja (b) Multi-Linear Law Regangan-Tegangan [2]

Kedua hukum tersebut dapat digunakan untuk dua jenis perkuatan, *discrete* ataupun *smeared*. Untuk tulangan longitudinal dan *fiber reinforced polymer* menggunakan perkuatan tipe *discrete*.

Pemodelan beton bertulang

Menggunakan *software* ATENA GiD 15.0.1 pada tahap ini akan dilakukan langkah-langkah mendefinisikan model balok beton ke dalam bentuk model numerik agar dapat diolah. Beton bertulang menggunakan spesifikasi kuat tekan 20 MPa dan 30 MPa dengan variasi diameter tulang 10 mm, 12 mm dan 16 mm. Dimensi serta detail dapat dilihat pada Gambar 3. Pada pemodelan ini disebabkan keterbatasan lisensi versi demo *software* ATENA elemen-elemen mesh yang dapat dibuat hanya terbatas 300 elemen.

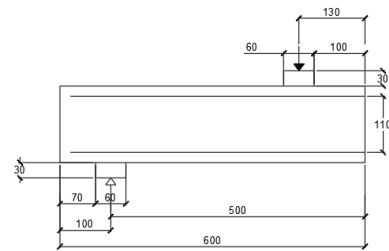


Gambar 3. Dimensi Balok Beton

Beton pada pemodelan akan dilakukan simulasi *two points load test* seperti pada uji laboratorium pengujian lentur beton.

Dimensi serta detail dapat dilihat pada Gambar 3.

Karena kasus pembebanan yang simetris pada sumbu vertikal pemodelan dapat dilakukan dengan metode setengah bentang untuk dianalisis oleh ATENA. Pemodelan balok akan dilakukan seperti pada Gambar 4



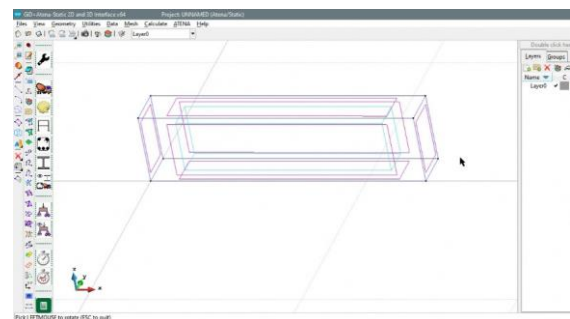
Gambar 4. Dimensi Pemodelan pada GiD

Tahapan pemodelan

Pemodelan akan dilakukan menggunakan *software* GiD 15.0.1 yang akan berkomunikasi dengan ATENA untuk dianalisis. Tahapan tersebut dijelaskan seperti berikut:

a. Pemodelan geometris

Menggunakan *software* ATENA GiD 15.0.1 pada tahap ini akan dilakukan langkah-langkah mendefinisikan model balok beton secara geometris ke dalam bentuk model numerik serta menambah data beton bertulang dan perkuatan *fiber reinforced polymer* kedalam *software* GiD.



Gambar 5. Proses Pemodelan Geometris

b. Input data material

Material yang akan di *input* pada GiD merupakan balok beton bertulang

dengan kapasitas kuat tekan 20 MPa dan 30 MPa dengan tulangan bervariasi. Spesifikasi material seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. *Input Parameter Solid Concrete*

Input parameter solid concrete	Input Material solid concrete	
Kode Material	20 MPa	30 MPa
Modulus Elastisitas (Es)	21019,03899	27319,09113
Poisson Rasio (ν)	0,2	0,2
Kuat tarik beton (ft)	3,130495168	4,068800806
Kuat tekan beton (f_c') MPa	-20	-30
Fracture Energy (GF)	7,82624E-05	0,00010172
Fixed Crack	0,7	0,7
Plastic Strain (ϵ_{cp})	0,001903037	0,002473435
f_{c0} (MPa)	-13,333	-22,524
Critical comp disp wd	-0,0005	-0,0005
Excentricity-EXC	0,52	0,52
Dir.of pl flow-Beta	0	0
Density (Rho)	0,023	0,023
Thermal Expansion-Alpha	0,000012	0,000012

Metode laminasi menggunakan material *fiber reinforced concrete* merupakan produksi dari Sika dengan nama produk Sika CarboDur S tipe 512 dengan spesifikasi material seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3

Tabel 2. *Input Parameter Fiber Reinforced Polymer*

Parameter Material	Input Material Nilai Rata-Rata
Young's modulus (MPa)	165000

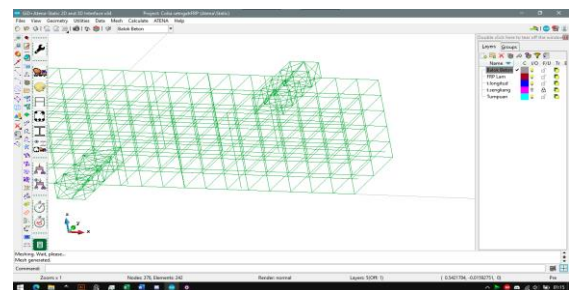
Tensile strength (MPa)	3100
Strain at fracture – min. value (-)	0.017
Density (kg/m ³)	1600
Application from interval	2

Tabel 3. *Input Parameter Spesifikasi Material Fiber Reinforced Polymer*

Tipe	Input Material		
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Potongan (mm²)
Sika CarboDur S512	50	1.2	60

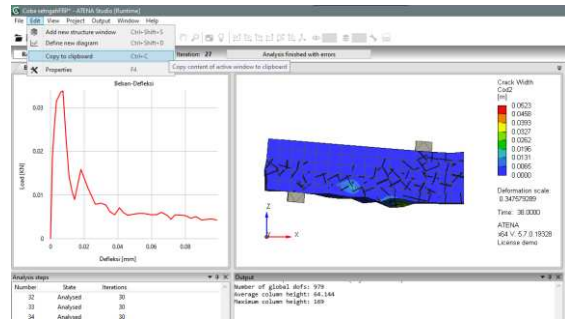
c. Membuat Mesh

Pemodelan akan dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk dapat dilakukan analisis. Dengan 0.065 sebagai input ukuran pada GiD.

Gambar 6. Proses *Running*

d. Running

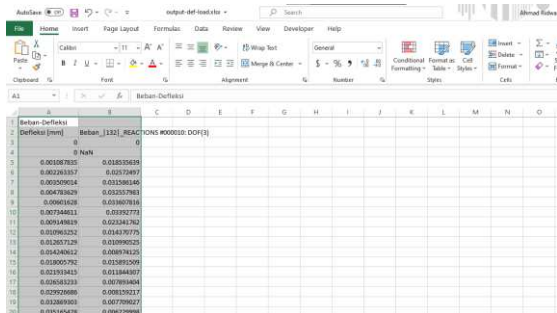
Pada tahap ini akan dilakukan persiapan dan proses analisis oleh *software ATENA v5* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Running

e. Post-Processing

Langkah-langkah mengolah data hasil analisis untuk ditarik kesimpulan menggunakan *Microsoft Excel* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Proses Post-Processing

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Load and deflection

Berdasarkan hasil analisis untuk beton bertulang dengan kuat tekan sebesar 20 MPa tanpa perkuatan *fiber reinforced polymer* dengan tulangan utama diameter 10 mm didapatkan beban maksimum sebesar 16,86 kN dengan defleksi 12,16 mm pada tahap pembebanan ke-7 seperti yang ditampilkan pada Gambar 5. Lalu pada perkuatan tulangan utama dengan diameter 12 mm didapatkan beban maksimum sebesar 21,69 kN dengan defleksi 12,68 mm pada tahap pembebanan ke-7. Selanjutnya untuk beton dengan tulangan utama dengan diameter 16 mm didapatkan beban maksimum sebesar 16,86 kN dengan defleksi 8,02 mm pada tahap pembebanan ke-5. Semakin besar diameter tulangan yang digunakan maka semakin kuat dalam menahan beban yang diterima.

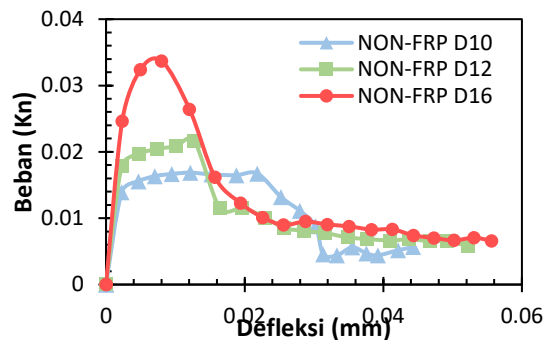
Sedangkan untuk beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa diperkuat dengan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) menggunakan tulangan utama dengan diameter 10 mm didapatkan beban maksimum sebesar 21,74 kN dengan defleksi 28,34 mm pada tahap pembebanan ke-17 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6. Selanjutnya, menggunakan tulangan utama dengan diameter 12 mm didapatkan beban maksimum sebesar 27,92 kN dengan defleksi 18,26 mm pada tahap pembebanan ke-14. Pada beton bertulang menggunakan tulangan utama dengan diameter 12 mm didapatkan beban maksimum sebesar 33,92 kN dengan defleksi 7,34 mm pada tahap pembebanan ke-8. Semakin besar diameter tulangan yang digunakan maka semakin kuat dalam menahan beban yang diterima.

Berdasarkan hasil analisis untuk beton bertulang dengan kuat tekan sebesar 30 MPa tanpa perkuatan *fiber reinforced polymer* dengan tulangan utama diameter 10 mm didapatkan beban maksimum sebesar 21,58 kN dengan defleksi 21,01 mm pada tahap pembebanan ke-15. Lalu pada perkuatan tulangan utama dengan diameter 12 mm didapatkan beban maksimum sebesar 27,69 kN dengan defleksi 25,35 mm pada tahap pembebanan ke-16. Semakin besar diameter tulangan yang digunakan maka semakin kuat dalam menahan beban yang diterima tetapi tidak terlalu signifikan dibandingkan hal yang terjadi dengan kuat tekan 20 MPa. Selanjutnya untuk beton dengan tulangan utama dengan diameter 16 mm didapatkan beban maksimum sebesar 44,52 kN dengan defleksi 22,64 mm pada tahap pembebanan ke-15.

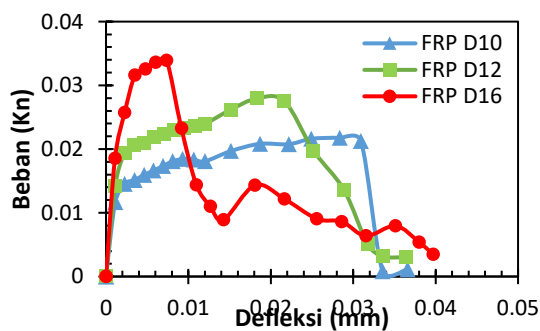
Sedangkan untuk beton bertulang dengan kuat tekan 30 MPa diperkuat dengan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) menggunakan tulangan utama dengan diameter 10 mm didapatkan beban maksimum sebesar 22,53 kN dengan defleksi 28,27 mm pada tahap pembebanan ke-17.

Selanjutnya menggunakan tulangan utama dengan diameter 12 mm didapatkan beban maksimum sebesar 30,22 kN dengan defleksi 28,56 mm pada tahap pembebanan

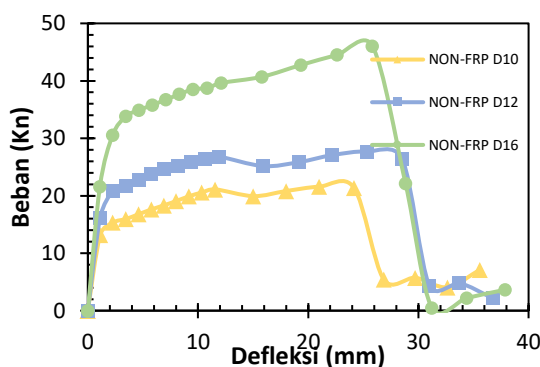
ke-17. Pada beton bertulang menggunakan tulangan utama dengan diameter 12 mm didapatkan beban maksimum sebesar 45,74 kN dengan defleksi 22,63 mm pada tahap pembebanan ke-15. Semakin besar diameter tulangan yang digunakan maka semakin kuat dalam menahan beban yang diterima tetapi tidak terlalu signifikan dibandingkan hal yang terjadi dengan kuat tekan 20 Mpa



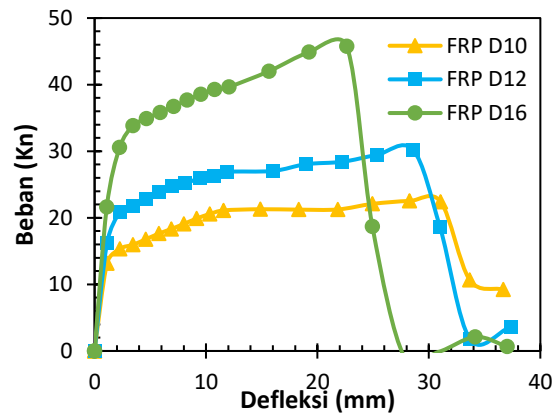
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 9. Beban-Defleksi (a) Kuat Tekan 20 MPa tanpa Perkuatan FRP (b) Kuat Tekan 20 MPa dengan Perkuatan FRP (c) Kuat Tekan 30 MPa tanpa Perkuatan FRP (d) Kuat Tekan 30 MPa

Kekakuan

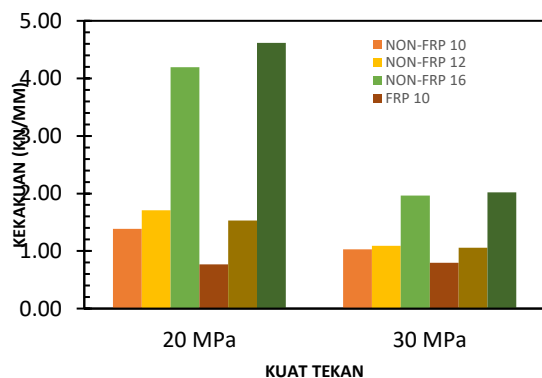
Pengaruh perkuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai kekakuan dari beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa tidak terjadi penambahan di setiap variasi diameter tulangan utama. Penambahan nilai kekakuan hanya terjadi pada perkuatan tulangan 16 mm dengan peningkatan sebesar 0,43 kN/mm. Sedangkan pada perkuatan tulangan 10 mm dan 12 mm terjadi penurunan nilai kekakuan.

Sedangkan pengaruh perkuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai kekakuan beton bertulang pada kuat tekan 30 MPa tidak memberikan penambahan di setiap variasi diameter. Penambahan nilai kekakuan hanya terjadi pada perkuatan tulangan 16 mm dengan peningkatan sebesar 0,05 kN/mm. Sedangkan pada perkuatan tulangan 10 mm dan 12 mm terjadi penurunan nilai kekakuan.

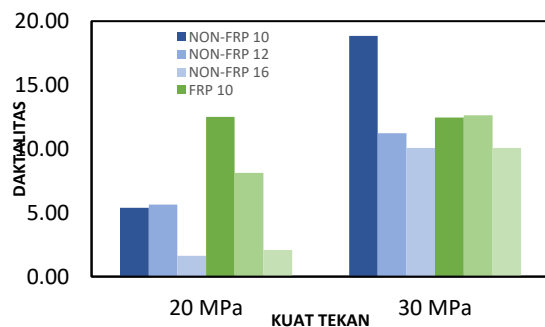
Daktalitas

Pengaruh perkuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai kekakuan dari beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa menunjukkan penambahan nilai kekakuan pada perkuatan tulangan 10 mm dengan peningkatan sebesar 7,12 dan pada tulangan utama dengan diameter 12 mm terjadi

peningkatan sebesar 2,49 sedangkan pada kekuatan tulangan 16 mm terjadi juga peningkatan sebesar 0,48. Pengaruh kekuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai daktilitas dari beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa memberikan penambahan di setiap variasi diameter tulangan utama. Sedangkan pengaruh kekuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai kekakuan beton bertulang pada kuat tekan 30 MPa tidak memberikan penambahan di setiap variasi diameter tulangan utama. Penambahan nilai kekakuan hanya terjadi pada kekuatan



(a)



(b)

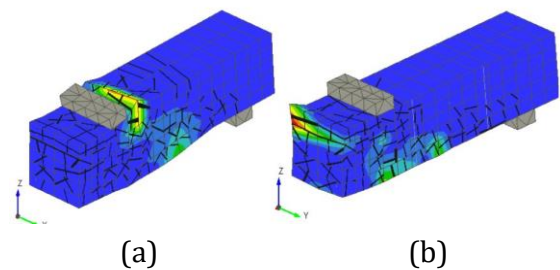
Gambar 10. (a) Grafik Perbandingan Nilai Kekakuan (b) Grafik Perbandingan Nilai Daktilitas

Pola retakan

Pada saat kondisi beban maksimum pada balok beton bertulang tanpa perkuatan *fiber reinforced polymer* telah tercapai terjadi retakan dengan pola retakan yaitu pola retak geser. Hal tersebut dapat dilihat dari garis dengan kemiringan sekitar 45° dari

tumpuan ke arah tengah bentang dan juga dapat dilihat pola retak lentur berupa garis vertikal yang terjadi ditengah bentang balok beton bertulang. Pada balok beton bertulang dengan yang diperkuat *fiber reinforced polymer* mempunyai pola retak geser yang lebih sedikit dan panjang retakan lebih besar dibandingkan tanpa perkuatan *fiber reinforced polymer*.

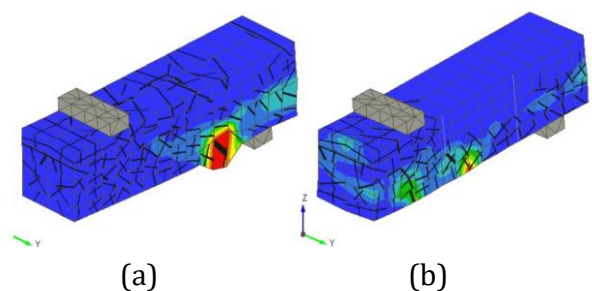
Pada balok beton bertulang dengan perkuatan *fiber reinforced polymer* terjadi retakan lebih sedikit dibanding tanpa perkuatan *fiber reinforced polymer*. Secara umum jenis pola retakan geser, lentur dan lentur-geser terjadi pada semua objek pemodelan. Hasil pola retakan dari analisis ditunjukkan pada Gambar 7 hingga 12.



(a)

(b)

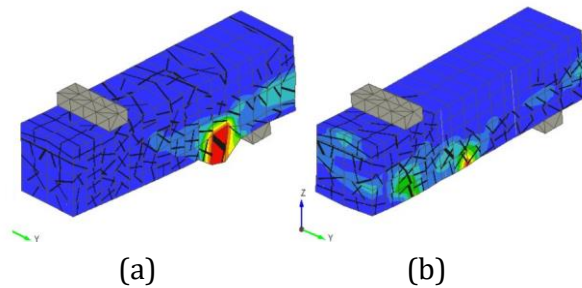
Gambar 11. Perbandingan Pola Retakan Tekan 20 MPa Diameter 10 mm (a) Tanpa FRP (b) Dengan FRP



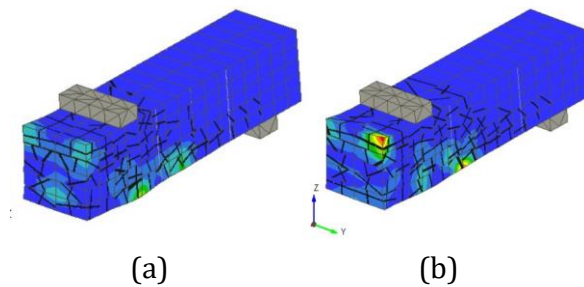
(a)

(b)

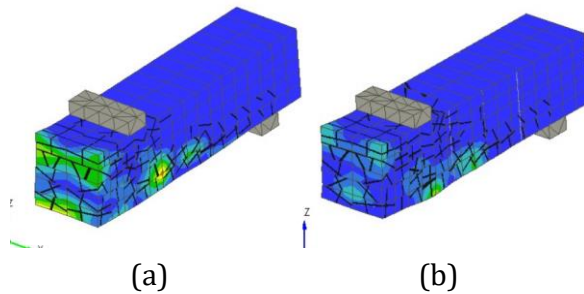
Gambar 12. Perbandingan Pola Retakan Tekan 20 MPa Diameter 12 mm (a) Tanpa FRP (b) Dengan FRP



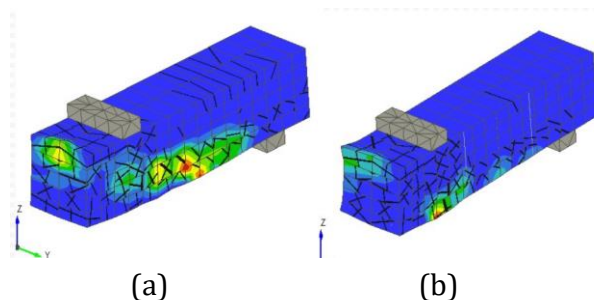
Gambar 13. Perbandingan Pola Retakan Tekan 20 MPa Diameter 16 mm (a) Tanpa FRP (b) Dengan FRP



Gambar 14. Perbandingan Pola Retakan Tekan 30 MPa Diameter 10 mm (a) Tanpa FRP (b) Dengan FRP



Gambar 15. Perbandingan Pola Retakan Tekan 30 MPa Diameter 12 mm (a) Tanpa FRP (b) Dengan FRP



Gambar 16. Perbandingan Pola Retakan Tekan 30 MPa Diameter 16 mm (a) Tanpa FRP (b) Dengan FRP

4. KESIMPULAN

1. Pengaruh pada jenis kuat tekan 20 MPa dan 30 MPa dengan perkuatan *fiber reinforced polymer* terjadi peningkatan nilai beban maksimum yang signifikan hanya pada tulangan pada diameter 12 mm dibandingkan variasi diameter tulangan lain yang diujikan.
2. Pengaruh dari tulangan utama dengan variasi diameter terhadap defleksi dan beban maksimum pada balok beton bertulang dengan perkuatan FRP:
 - a. Pada beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa dan 30 MPa dengan perkuatan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) pada perkuatan tulangan diameter 10 mm terjadi peningkatan kecil nilai beban maksimum tetapi peningkatan besar pada nilai defleksi menunjukkan bahwa beton tidak bekerja secara efisien.
 - b. Pada beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa dan 30 MPa dengan perkuatan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) pada perkuatan tulangan diameter 12 mm terjadi peningkatan nilai defleksi dan nilai beban maksimum yang bekerja. Peningkatan pada diameter 12 mm tersebut lebih efisien dibandingkan variasi diameter tulangan lain yang diujikan.
 - c. Pada beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa dan 30 MPa dengan perkuatan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) pada perkuatan diameter 16 mm terjadi peningkatan kecil nilai beban maksimum dan nilai defleksi menunjukkan bahwa beton tidak bekerja secara efisien
3. Pengaruh beton bertulang dengan perkuatan FRP pada nilai kekakuan:
 - a. Pengaruh perkuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai kekakuan dari beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa tidak terjadi penambahan di setiap variasi diameter tulangan utama. Penambahan nilai kekakuan hanya terjadi pada perkuatan tulangan 16 mm dengan peningkatan

sebesar 0,43 kN/mm. Sedangkan pada perkuatan tulangan 10 mm dan 12 mm terjadi penurunan nilai kekakuan.

- b. Pengaruh perkuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai kekakuan dari beton bertulang dengan kuat tekan 30 MPa tidak memberikan penambahan di setiap variasi diameter tulangan utama. Penambahan nilai kekakuan hanya terjadi pada perkuatan tulangan 16 mm dengan peningkatan sebesar 0,05 kN/mm. Sedangkan pada perkuatan tulangan 10 mm dan 12 mm terjadi penurunan nilai kekakuan.
4. Pengaruh beton bertulang dengan perkuatan FRP pada nilai daktilitas:
 - a. Penambahan nilai daktilitas terjadi pada perkuatan tulangan 10 mm dengan peningkatan sebesar 7,12 dan pada tulangan utama dengan diameter 12 mm terjadi peningkatan sebesar 2,49 sedangkan pada perkuatan tulangan 16 mm terjadi juga peningkatan sebesar 0,48. Pengaruh perkuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai daktilitas dari beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa memberikan penambahan di setiap variasi diameter tulangan utama.
 - b. Pengaruh perkuatan *fiber reinforced polymer* pada nilai daktilitas dari beton bertulang dengan kuat tekan 30 MPa tidak memberikan penambahan di setiap variasi diameter tulangan utama. Penambahan nilai daktilitas hanya terjadi pada perkuatan tulangan 12 mm dengan peningkatan sebesar 1,42. Sedangkan pada perkuatan tulangan 10 mm dan 16 mm terjadi penurunan nilai kekakuan.
5. Pola retakan
Pada balok beton bertulang dengan perkuatan *fiber reinforced polymer* terjadi retakan lebih sedikit dibanding tanpa perkuatan *fiber reinforced polymer*. Secara

umum jenis pola retakan geser, lentur dan lentur-geser terjadi pada semua objek pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alfisyahrin A, Afifuddin M, Putra R (2019) Analisis Perilaku Geser Balok Beton Bertulang dengan Metode Elemen Hingga Non-Linear. *Journal of The Civil Engineering Student* 1 (3):15-21.
- [2] Červenka V, Jendele L, Červenka J (2020) *ATENA Theory*. ATENA Program Documentation Part 1. Červenka Consulting s.r.o., Prague.
- [3] Fajarianto MF, Zaki A, Thamrin R Pengaruh Geometri Balok Beton Bertulang Terhadap Perilaku Lentur.
- [4] Juliafad E, Ananda R, Sulistyo D, Suhendro B, Hidayat R Nonlinear Finite Element Method Analysis of After Fire Reinforced Concrete Beam Strengthened with Carbon Fiber Strip. In: *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. vol 1. IOP Publishing, p 012019.
- [5] Kusumartono DFH, Adji Krisbandono S, M.Sc., M.Eng., Galih Primanda Permana S, Nisa Andarwati S, Aswin Indraprastha S, MT., Ph.D., Amy Rachmadhani Widyastuti S, Ar. Achmad Irsan I, Rahman IA (2018) Panduan Adopsi BIM dalam Organisasi.
- [6] Menggunakan Program Atena 3D dan RCCSA. In: *Proceedings The 1st UMYGrace 2020* 2020.
- [7] Suryanto WP, Wiyanto RI, Wijaya GB (2020) PENGARUH LUAS BAJA TULANGAN TERHADAP PERILAKU BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT FIBER REINFORCED POLYMER (FRP). *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil* 9 (2):202-209.
- [8] Zaki A, Nugroho A (2021) Pemodelan Perilaku Beton Berkarat Menggunakan ATENA 3D. *sIKLUs: Jurnal Teknik Sipil*.

