

VARIASI PANJANG PEMASANGAN FRP PADA BALOK HAUNCH GEOPOLIMER

Rifqi Iqbal Zulfahmi¹, Mochammad Qomaruddin^{2*}, Blinka Hernawan Prasetya^{1*},
Purwanto¹, Sri Tudjono¹, Victor¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama

^{2*}qomar@unisnu.ac.id ; ^{1*}blinka@live.undip.ac.id

*Corresponding author

To cite this article: Zulfahmi, Rifqi, Mochammad Qomaruddin, Blinka Prasetya, Purwanto Purwanto, Sri Tudjono, and Victor Victor. 2024. Variasi Panjang Pemasangan FRP pada Balok Haunch Geopolimer, Jurnal Ilmiah Arsitektur, 14(2), 155-163

Author information

Rifqi Iqbal Zulfahmi : fokus riset bidang struktur dimensi pemodelan dan gambar.

Mochammad Qomaruddin : fokus riset bidang material struktur geopolimer. Orcid ID : 0000-0001-8193-8794, Scopus ID : 57216480415, Sinta ID : 5993786.

Blinka Hernawan Prasetya : fokus bidang pemodelan struktur DIANA. Orcid ID : 0009-0001-9685-4419, Scopus ID : 57218366989.

Purwanto : fokus bidang struktur balok haunch, Orcid ID : 0000-0002-1096-8088, Sinta ID : 6730963

Sri Tudjono :fokus bidang struktur pemodelan, Orcid ID : 0000-0001-6850-043X, Scopus ID : 55078254300
Sinta ID : 6740145

Victor : fokus bidang gambar pemodelan dan struktur.

Homepage Information

Journal homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars>

Volume homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars/issue/view/409>

Article homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars/article/view/8523>

VARIASI PANJANG PEMASANGAN FRP PADA BALOK HAUNCH GEOPOLIMER

Rifqi Iqbal Zulfahmi¹, Mochammad Qomaruddin^{2*}, Blinka Hernawan Prasetya^{1*},
Purwanto¹, Sri Tudjono¹, Victor¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama

^{2*}qomar@unisnu.ac.id ; ^{1*}blinka@live.undip.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel :

Diterima : 20 Desember 2024
Direvisi : 22 Desember 2024
Disetujui : 23 Desember 2024
Diterbitkan : 31 Desember 2024

Kata Kunci :

Fiber reinforced polymer, balok haunch, geopolimer, metode elemen hingga, DIANA10.5

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi panjang pemasangan Fiber Reinforced Polymer (FRP) pada balok haunch berbahan geopolimer yang digunakan untuk memperkuat balok komposit beton. Penelitian dilakukan melalui simulasi menggunakan software DIANA 10.5 untuk analisis elemen hingga (FEA). Benda uji memiliki panjang total 3,8 meter, jarak tumpuan 3,4 meter, dimensi balok 340 x 170 mm, dan dimensi kolom 300 x 250 mm. Balok haunch dilengkapi tulangan longitudinal D13 dan sengkang 8D-50. Metode eksperimen mencakup sistem pembebanan sesuai standar, penempatan instrumen presisi, serta pencatatan data selama pengujian. Simulasi menggunakan string CFRP dalam FEA menunjukkan bahwa panjang FRP memengaruhi beban-deformasi, pola retak, dan daktilitas balok haunch. Grafik hubungan panjang FRP dan beban ultimate memberikan wawasan penting untuk optimasi perkuatan, sehingga berkontribusi pada pengembangan metode perkuatan struktur yang lebih efisien dan berkelanjutan.

ARTICLE INFO

Article History :

Received : December 20, 2024
Revised : December 22, 2024
Accepted : December 23, 2024
Published: December 31, 2024

Keywords:

Fiber reinforced polymer, haunch beam, geopolimer, finite element method, DIANA10.5

ABSTRACT

This study examines the effect of varying the installation length of Fiber Reinforced Polymer (FRP) on haunch beams made of geopolimer material, which are used to strengthen composite concrete beams. The research was conducted through simulations using DIANA 10.5 software for finite element analysis (FEA). The test specimen had a total length of 3.8 meters, a support span of 3.4 meters, beam dimensions of 340 x 170 mm, and column dimensions of 300 x 250 mm. The haunch beam was equipped with D13 longitudinal reinforcement and 8D-50 stirrups. The experimental method included a standardized loading system, precise instrument placement, and data recording during testing. Simulations using CFRP strings in the FEA indicated that the FRP length influences the load-deformation relationship, crack patterns, and ductility of the haunch beam. The graph showing the relationship between FRP length and ultimate load provides valuable insights for optimizing reinforcement, thereby contributing to the development of more efficient and sustainable structural strengthening methods.

PENDAHULUAN

Haunch merupakan salah satu metode perkuatan yang sering digunakan pada konstruksi beton bertulang, terutama pada elemen balok. Haunch adalah tambahan material yang dipasang pada daerah kritis balok, seperti pada daerah tumpuan, untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser (Purwanto et al., 2023). Penggunaan haunch dalam perkuatan hubungan balok kolom memiliki beberapa manfaat dan keunggulan. Manfaat utamanya adalah peningkatan kekuatan struktur tanpa harus melakukan penggantian total elemen beton (Dang & Dinh, 2017; Nasery et al., 2020). Selain itu, haunch dapat mengurangi deformasi dan meningkatkan keselamatan struktur secara keseluruhan. Keunggulan lain dari haunch adalah kemampuannya untuk diterapkan pada berbagai kondisi struktur dan kemudahan dalam proses pemasangan. Efek penggunaan haunch dalam perkuatan balok beton adalah peningkatan kapasitas lentur dan geser, yang pada akhirnya meningkatkan umur layanan struktur (Liu et al., 2021).

Penggunaan balok haunch sebagai perkuatan memungkinkan untuk dilakukan kombinasi dengan penggunaan Fiber Reinforced Polymer (FRP). FRP merupakan material komposit yang terdiri dari serat kuat yang terkandung dalam matriks polimer (Tudjono et al., 2018). Penggunaan FRP sebagai material perkuatan dalam bidang konstruksi telah menjadi sangat umum karena keunggulannya seperti kekuatan tinggi, berat ringan, dan ketahanan terhadap korosi. Dalam konteks perkuatan balok haunch, penambahan FRP memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kapasitas struktur. Peranan FRP dalam perkuatan ini adalah untuk memberikan dukungan tambahan pada daerah yang mengalami tegangan tarik tinggi, sehingga mencegah retak dan keruntuhan dini (Cao et al., 2019). Kombinasi penggunaan FRP dengan balok haunch memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam memperkuat struktur. Selain itu, kombinasi ini memungkinkan distribusi tegangan yang lebih merata dan meningkatkan kinerja struktur secara keseluruhan (Allam et al., 2019).

Penggunaan software finite element analysis (FEA) menjadi salah satu alternatif dalam beberapa penelitian terdahulu. Sebagai alat bantu dalam perhitungan software FEA memungkinkan analisis yang lebih akurat dan efisien secara matematis berdasarkan teori code yang telah berlaku (Srirekha & Bashetty, 2010). Manfaat utama dari penggunaan software adalah kemampuannya untuk memodelkan berbagai skenario perkuatan dan mengevaluasi kinerja struktur secara mendetail (Caggiano et al., 2012). Kecanggihan yang diberikan oleh software mencakup analisis non-linear, simulasi beban dinamis, dan visualisasi hasil yang mendalam. Namun demikian perlu adanya validasi hasil analisis software dengan menggunakan pengujian eksperimental agar dalam penelitian ini memperoleh hasil yang baik dan valid (Behnam et al., 2018).

Penggunaan metode finite elemen yang dikombinasi dengan pengujian eksperimental memberikan keuntungan signifikan dalam penelitian perkuatan struktur. Metode finite elemen memungkinkan simulasi berbagai kondisi perkuatan dan membantu dalam memahami perilaku struktur dari tiap komponen penyusun struktur (Solahuddin & Yahaya, 2023). Kemudahan dalam mencoba hal baru dan kontrol yang lebih baik terhadap hasil data pengujian membuat kombinasi ini sangat bermanfaat. Selain itu, pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi potensi masalah dan memberikan masukan terhadap desain yang akan diterapkan pada struktur yang sebenarnya. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penelitian tetapi juga memberikan keyakinan lebih terhadap hasil yang diperoleh (Stauber, 2005).

Dalam penelitian ini, akan diteliti pengaruh dari variasi panjang pemasangan FRP jenis rods yang dikombinasikan dengan perkuatan balok haunch geopolymer. Beton yang digunakan pada haunch merupakan self compacting geopolymer concrete (SCGC) yang memiliki kemampuan workability yang lebih mudah daripada beton konvensional (Ayub et al., 2021; Qomaruddin et al., 2019; Qomaruddin & Sudarno, 2019). Variasi panjang pemasangan FRP pada balok haunch beton geopolimer akan dianalisis untuk memahami pengaruhnya terhadap kekuatan dan daktilitas strukturnya. Dengan kombinasi penelitian menggunakan model finite element analysis dan pengujian eksperimental, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dan solusi praktis dalam perkuatan struktur beton geopolimer. Variasi panjang FRP yang disimulasikan diharapkan dapat menjadi penemuan yang dapat bermanfaat agar penggunaan FRP dapat efisien dan optimal.

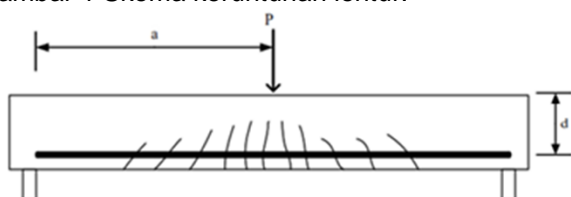
Salah satu aspek terpenting dalam industri konstruksi modern adalah keberlanjutan. Mempertahankan struktur eksisting melalui teknik perkuatan seperti penggunaan haunch dan FRP tidak hanya mengurangi kebutuhan untuk membangun struktur baru, tetapi juga mengurangi limbah konstruksi dan penggunaan material baru (Al-Hamrani et al., 2021). Penelitian ini berfokus pada penguatan struktur beton geopolimer eksisting dengan FRP, yang sejalan dengan prinsip-prinsip keberlanjutan (Kang, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan panjang pemasangan FRP yang paling efektif pada balok haunch beton geopolimer dengan simulasi yang dilakukan menggunakan software finite element analysis, sehingga dapat memaksimalkan manfaat FRP dengan penggunaan material yang minimal. Efisiensi penggunaan FRP tidak hanya mengurangi biaya, tetapi juga memastikan bahwa struktur diperkuat secara optimal tanpa pemborosan material. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan metode perkuatan yang lebih ekonomis dan berkelanjutan

METODE

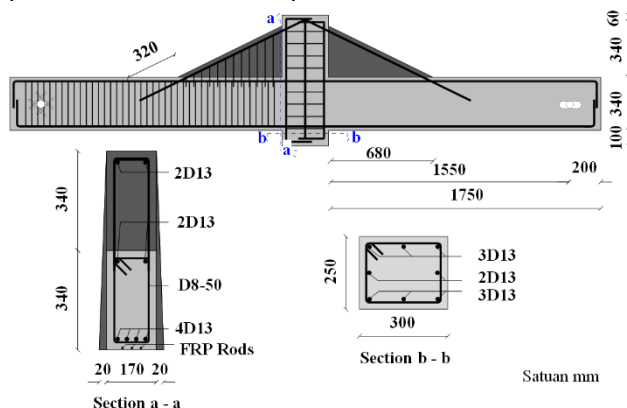
Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode pemodelan menggunakan software FEA. Untuk analisis menggunakan software Finite element analysis diawali dengan input material. Langkah berikutnya yaitu dengan memodelkan geometri dari specimen benda uji pada software. Setelah itu dilakukan running program, dari running program tersebut diperoleh data - data mengenai kondisi benda uji selama pengujian berlangsung, data tersebut nantinya akan di komparasikan dengan hasil pengujian eksperimental sebagai validasi.

Benda uji yang dibuat berupa balok prismatis dengan perkuatan haunch (balok vouite). Kegagalan benda uji balok didesain mengalami gagal lentur under reinforced. Agar memperoleh perilaku daktail, kelangsingan dapat direncanakan $a/d > 5,5$ untuk kondisi beban terpusat, dimana nilai a merupakan jarak tumpuan ke pusat beban, dan nilai d merupakan tinggi efektif dari balok, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 Skema keruntuhan lentur.



Gambar 1 Skema keruntuhan lentur (Sumber: Penulis, 2024)

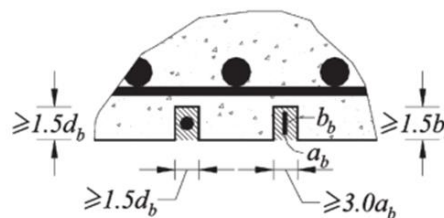
Balok benda uji di desain memiliki panjang bentang 3400 mm dengan beban terpusat di tengah bentang, dengan tinggi balok prismatis 340 mm dan lebar 170 mm. Nilai a/d yang terjadi pada benda uji balok adalah $a/d = 1700/305,5 = 5,56$. Balok dengan nilai $a/d = 5,56$ maka akan dominan terjadi lentur (Nawy, 1985). Detail geometri benda uji ditunjukkan pada Gambar 2 Detail spesimen



Gambar 2 Detail spesimen (Sumber: Penulis, 2024)

Fiber Reinforced Polymer (FRP) yang digunakan pada penelitian ini adalah FRP tipe batang rods. FRP rods yang digunakan pada pengujian ini yaitu Sika Carbodur BC rods $\varnothing 10$ dengan perekat (epoxy) Sikadur 30. ACI 440.2R-17 2017 mengatur mengenai kedalaman dan lebar alur sebesar minimal 1,5 kali diameter untuk FRP jenis rods, untuk jenis plat digunakan minimal 3 kali lebar

vertikal plat dan 1,5 kali tinggi plat. Ukuran alur diilustrasikan dalam ACI 440.2R-17 2017 pada Gambar 3 Pemasangan FRP (ACI 440.2R-17, 2017)



Gambar 3 Pemasangan FRP (Sumber: Penulis, 2024)

Beton konvensional dan beton self compacting geopolymer concrete (SCGC) dibuat dengan mutu rencana 31 MPa. Sementara itu penulangan pada specimen ini menggunakan 2 jenis ukuran tulangan yaitu tulangan D13 (diameter 13 mm) dan tulangan D8 (diameter 8 mm). Tulangan D13 mm yang digunakan sebagai tulangan longitudinal bagian balok dan kolom, sementara itu tulangan D8 digunakan untuk sengkang. detail material yang digunakan dalam specimen dapat dilihat pada Tabel 1 Spesifikasi specimen

Tabel 1 Spesifikasi spesimen

Item	Spesifikasi
Mutu Beton konvensional	$f'_c = 31$ MPa
Mutu Beton SCGC	$f'_c = 32,52$ MPa
Mutu Baja Tulangan	$f_y = 363,43$ MPa, $f_u = 468,50$ MPa $E = 200000$ MPa
Mutu CFRP Rods	$f_u = 3100$ MPa $E = 148000$ MPa
Perekat CFRP	Epoxy Sikadur - 30

(Sumber: Penulis, 2020)

Pemodelan Software Finite Element Analysis

Pemodelan finite elemen method menggunakan software DIANA 10.5 adalah perangkat lunak analisis elemen hingga yang digunakan untuk pemodelan dan analisis struktur teknik sipil dan geoteknik. DIANA menyediakan berbagai jenis elemen untuk analisis, termasuk elemen balok, pelat, cangkang, dan elemen solid. Ini memungkinkan pengguna untuk memodelkan berbagai macam struktur dengan tingkat akurasi yang tinggi. Perangkat lunak ini mampu menangani material nonlinear, termasuk beton, baja, dan komposit, serta berbagai model keruntuhan material. Ini penting untuk analisis struktur yang berada di bawah kondisi beban yang ekstrem atau mengalami kerusakan.

Dalam pemodelan, perilaku material disesuaikan dengan grafik tegangan-regangan yang relevan dengan jenis material yang digunakan. Untuk beton tekan, digunakan kurva fib 2010, sedangkan untuk beton tarik, digunakan model linear softening. Model diagram tegangan regangan untuk besi tulangan longitudinal dan Sengkang diperoleh dari hasil pengujian propertis baja tulangan. Struktur

model terdiri dari elemen balok, kolom pendek, dan haunch. Berat sendiri tidak dihitung pada semua elemen dalam model, sehingga tidak ada perpindahan awal pada output model.

DIANA menawarkan berbagai jenis material beton yang bisa dipilih. Di antara opsi-opsi tersebut, terdapat dua model yang menonjol: model fib 2010 yang digunakan untuk memprediksi kurva tekanan beton, serta model linear ultimate crack strain yang berguna untuk memprediksi kurva tarikan beton. Dalam pemodelan ini, model fib 2010 dan model linear ultimate crack dipilih karena menggambarkan perilaku yang mirip dengan sifat material pengujian serta memberikan hasil yang akurat dan cocok digunakan dalam pemodelan benda uji yang dibuat. Dua jenis beton yang digunakan adalah beton konvensional dengan mutu 31.11 MPa dan beton geopolimer dengan mutu 32.52 MPa. Data propertis beton yang di input pada software diana disesuaikan dengan hasil pengujian tekan beton konvensional dan beton geopolimer. Properti material yang dimasukkan ke dalam DIANA ditunjukkan pada Tabel 2 Input material beton konvensional untuk beton konvensional, sedangkan untuk beton geopolimer ditunjukkan pada Tabel 3 Input material beton geopolimer.

Tabel 2 Input material beton konvensional

Modulus Young (Ec)	24559 MPa
Rasio Poisson	0.2
Model crack	Total strain based crack rotating
Kurva tarik	Linear – ultimate crack strain (ft = 2.072 MPa, ϵ_{tu} = 0.00015)
Kurva tekan	fib 2010 (fc = 31.11 MPa, ϵ_{cp} = 0.002326, ϵ_{cu} = 0.0035)
Modulus Young (Ec)	24559 MPa

(Sumber: Penulis, 2020)

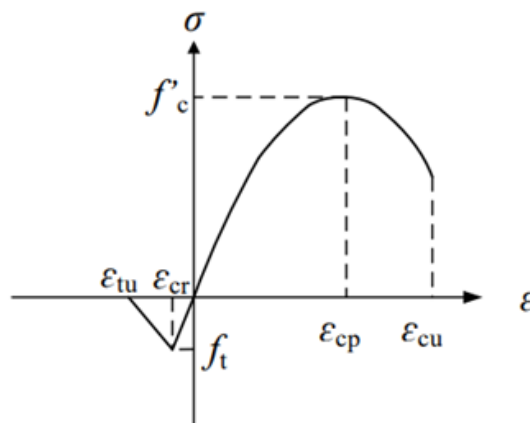
Tabel 3 Input material beton geopolimer

Modulus Young (Ec)	25091 MPa
Rasio Poisson	0.2
Model crack	Total strain based crack rotating
Kurva tarik	Linear – ultimate crack strain (ft = 2.38 MPa, ϵ_{tu} = 0.00015)
Kurva tekan	fib 2010 (fc = 32.52 MPa, ϵ_{cp} = 0.0023252, ϵ_{cu} = 0.0035)
Modulus Young (Ec)	25091 MPa

(Sumber: Penulis, 2020)

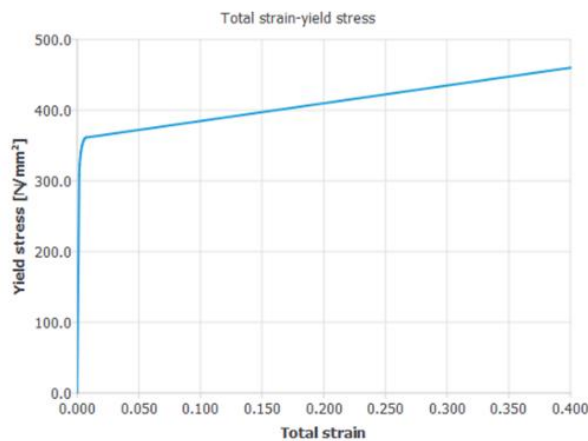
Kurva stress-strain untuk beton tekan dan beton tarik yang diterapkan pada model penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4 kurva tegangan regangan

beton. Pada daerah tekan digunakan kurva nonlinear dengan titik puncak pada f_c dan regangan maksimum yaitu ϵ_{cu}



Gambar 4 Kurva tegangan regangan beton (Sumber: Penulis, 2024)

Untuk pemilihan kriteria leleh pada tulangan, digunakan kriteria leleh Von Mises untuk mengevaluasi lelehnya material (Zhou et al., 2013). Input kurva Tegangan-regangan besi tulangan longitudinal pada software didasarkan pada data hasil pengujian propertis tulangan. Kurva tegangan-regangan untuk tulangan longitudinal dan tulangan sengkang dapat dilihat pada Gambar 5 Kurva tegangan regangan baja.



Gambar 5 Kurva tegangan regangan baja (Sumber: Penulis, 2024)

Sementara itu FRP jenis rods dimodelkan sebagai reinforcement dengan kurva stress-strain linear, karena sifat material FRP yang getas. Properti material untuk desain FRP disesuaikan dengan spesifikasi dari FRP jenis Rods seperti ditunjukkan pada Tabel 4 input material FRP.

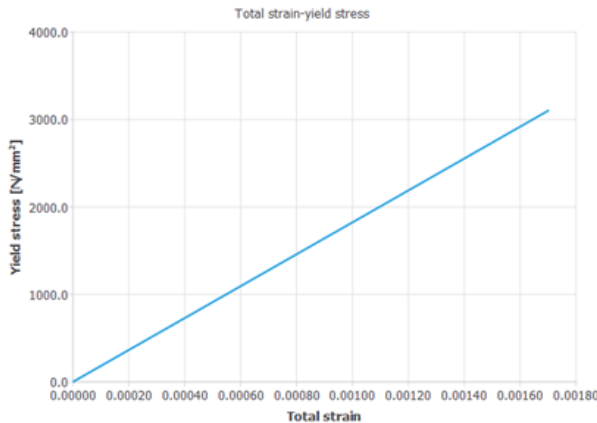
Tabel 4 Input material FRP

Modulus Young (Ec)	148000 MPa
--------------------	------------

ϵ_{tu}	0.017
Model crack	Total strain based crack rotating
Kurva tarik	Linear – <i>ultimate</i> crack strain $f_t = 3100$ MPa

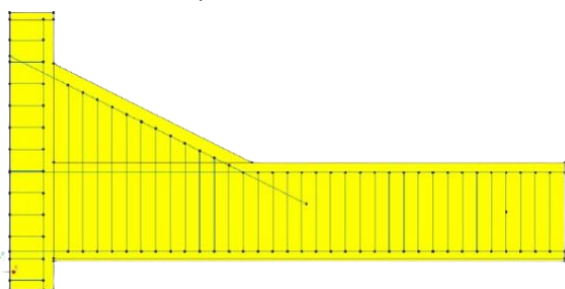
(Sumber: Penulis, 2020)

Sementara grafik stress-strain dapat dilihat pada Gambar 6 Kurva tegangan regangan FRP



Gambar 6 Kurva tegangan regangan FRP (Sumber: Penulis, 2024)

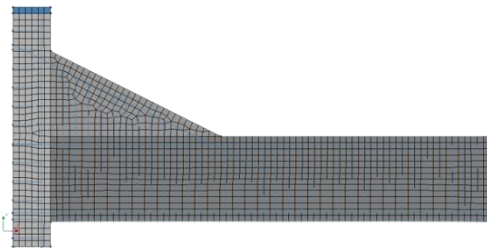
Struktur tersebut dimodelkan dengan menggunakan elemen plane stress (2D) untuk mewakili material beton atau pelat baja, sementara elemen garis (1D) digunakan untuk merepresentasikan besi tulangan dan FRP. Karena benda uji secara geometri memiliki bentuk yang simetris maka pada analisis finite element benda uji dimodelkan setengah bagian dengan perpotongan pada tengah bentang. Bagian sisi tengah bentang tersebut diberi tumpuan rol yang mengizinkan pergerakan ke arah horizontal dan dapat bergerak ke arah vertical. Sementara itu untuk tumpuan pada perletakan didefinisikan sebagai tumpuan rol yang menahan pergerakan arah vertikal dan memiliki kebebasan bergerak ke arah horizontal. Beban diterapkan tepat di tengah bentang dan diberikan pada kolom. Model balok tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 Model spesimen finite element.



Gambar 7 Model spesimen finite element (Sumber: Penulis, 2024)

Pada analisis spesimen ini digunakan mesh berbentuk quadrilateral dengan masing-masing elemen memiliki 4 nodal utama dan 4 nodal tambahan. Ukuran mesh yang diterapkan adalah

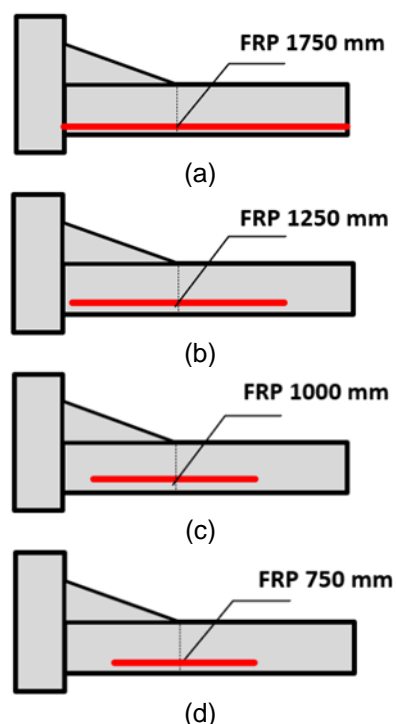
maksimum 10 mm, dan Gauss point yang digunakan berjumlah 2×2 titik. Model diasumsikan sebagai plane stress, dalam kondisi ini, tegangan normal yang bekerja pada arah ketebalan (arah-z) dianggap nol. Tampilan model mesh pada model ditunjukkan pada Gambar 8 Meshing model spesimen

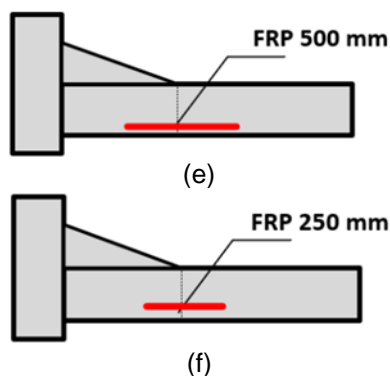


Gambar 8 Meshing model spesimen (Sumber: Penulis, 2024)

Pembebanan pada spesimen diterapkan pada sisi atas kolom dalam bentuk deformasi dengan laju sebesar 0,25 mm per satuan waktu ke arah vertikal ke bawah. Selama tahap analisis, program DIANA diatur untuk menyelesaikan model dengan tipe analisis struktural nonlinear. Analisis nonlinear didasarkan pada material penyusun spesimen yang bersifat non linier (Su et al., 2021). Pada analisis ini solusi konvergensi menggunakan constant stiffness dengan tipe konvergensi ditinjau dari energi atau gaya.

Variasi benda uji yang dimodelkan pada software finite element analysis dibagi menjadi 6 varian dengan panjang FRP yaitu 1750 mm, 1250 mm, 1000 mm, 750 mm, 500 mm, dan 250 mm. skema pemasangan FRP ditunjukkan pada Gambar 9. Varian model spesimen : (a) Panjang FRP 1750 mm, (b) Panjang FRP 1250 mm, (c) Panjang FRP 1000 mm, (d) Panjang FRP 750 mm, (e) Panjang FRP 500 mm, (f) Panjang FRP 250 mm





Gambar 9 Varian model spesimen : (a) Panjang FRP 1750 mm, (b) Panjang FRP 1250 mm, (c) Panjang FRP 1000 mm, (d) Panjang FRP 750 mm, (e) Panjang FRP 500 mm, (f) Panjang FRP 250 mm (Sumber: Penulis, 2024)

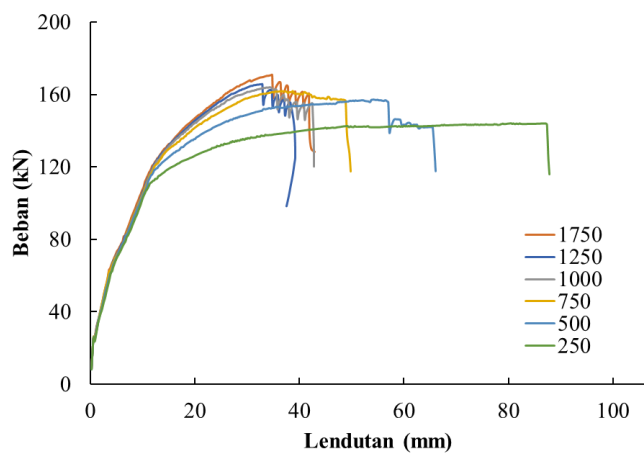
Posisi pemasangan FRP rods berada di lokasi terjadinya kerusakan terbesar di area tarik pada benda uji, lokasi tersebut berada pada posisi ujung haunch. Variasi ini diharapkan dapat menggambarkan pengaruh panjang pemasangan FRP rods yang dipasang pada benda uji balok haunch terhadap kapasitas maksimum dan daktilitas benda uji balok haunch

HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik P - Δ

Pada spesimen balok haunch dengan panjang FRP 1750 mm yang dimodelkan menggunakan software FEA memperoleh hasil pada fase leleh model FEA balok haunch dengan panjang FRP 1750 mm mampu memikul beban sebesar 125.233 kN dengan lendutan sebesar 13.001 mm, sementara pada saat kondisi ultimate beban terus meningkat hingga mencapai sebesar 170.814 kN dengan lendutan sebesar 34.772. Pada spesimen dengan panjang FRP 1250 mm mengalami kondisi leleh pada saat mencapai beban sebesar 122.349 kN dan lendutan sebesar 12.423 mm. Pada spesimen tersebut mengalami beban ultimate sebesar 165.761 kN dan lendutan sebesar 32.894 mm. Grafik hubungan beban dan lendutan untuk spesimen dengan panjang FRP 1000 mm ditunjukkan pada Gambar 13 Grafik beban lendutan : (a) Panjang FRP 1250 mm, (b) Panjang FRP 1000 mm, (c) Panjang FRP 750 mm, (d) Panjang FRP 500 mm, (e) Panjang FRP 250 mm. Sementara itu untuk spesimen dengan panjang FRP 1000 mm mengalami kondisi leleh pada ketika mencapai beban sebesar 120.897 kN dan lendutan sebesar 12.228 mm. Pada spesimen tersebut mengalami beban ultimate sebesar 163.984 kN dan lendutan sebesar 34.349 mm. Grafik hubungan beban dan lendutan untuk spesimen dengan panjang FRP 1000 mm ditunjukkan pada Gambar 13 Grafik beban lendutan : (a) Panjang FRP 1250 mm, (b) Panjang FRP 1000 mm, (c) Panjang FRP 750 mm, (d) Panjang FRP 500 mm, (e) Panjang FRP 250 mm. Pada spesimen dengan panjang FRP 750 mm mengalami kondisi leleh pada saat

spesimen mencapai beban sebesar 120.223 kN dan lendutan sebesar 12.245 mm. Pada spesimen tersebut kondisi ultimate terjadi ketika beban sebesar 161.953 kN dan lendutan sebesar 36.727 mm. Grafik hubungan beban dan lendutan untuk spesimen dengan panjang FRP 750 mm ditunjukkan pada Gambar 13 Grafik beban lendutan : (a) Panjang FRP 1250 mm, (b) Panjang FRP 1000 mm, (c) Panjang FRP 750 mm, (d) Panjang FRP 500 mm, (e) Panjang FRP 250 mm. Pada spesimen dengan panjang FRP 500 mm kondisi leleh terjadi pada saat mencapai beban sebesar 117.134 kN dan lendutan sebesar 12.008 mm. Pada spesimen tersebut mengalami beban ultimate sebesar 157.300 kN dan lendutan sebesar 54.111 mm. Grafik hubungan beban dan lendutan untuk spesimen dengan panjang FRP 500 mm ditunjukkan pada Gambar 13 Grafik beban lendutan : (a) Panjang FRP 1250 mm, (b) Panjang FRP 1000 mm, (c) Panjang FRP 750 mm, (d) Panjang FRP 500 mm, (e) Panjang FRP 250 mm. Terakhir pada spesimen dengan panjang FRP 250 mm mengalami kondisi leleh pada saat spesimen mencapai beban sebesar 112.492 kN dan lendutan sebesar 12.186 mm. Pada spesimen tersebut kondisi ultimate terjadi ketika beban sebesar 143.992 kN dan lendutan sebesar 80.564 mm. Grafik hubungan beban dan lendutan untuk spesimen dengan panjang FRP 250 mm ditunjukkan pada Gambar 10 Grafik beban lendutan

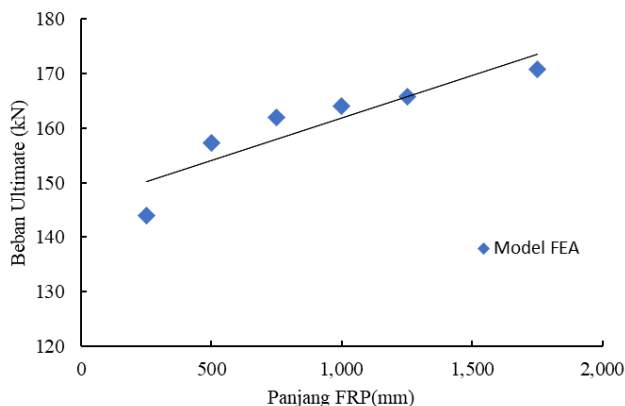


Gambar 10 Grafik beban lendutan

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa panjang pemasangan FRP memiliki pengaruh terhadap kapasitas ultimate dari balok haunch. Semakin panjang pemasangan FRP akan memberikan kapasitas ultimate balok haunch yang lebih tinggi. Setiap penambahan panjang FRP sebesar 25 cm akan memberikan peningkatan rata – rata sebesar 3.63 % atau sebesar 5.442 kN.

Peningkatan kapasitas terjadi akibat adanya penambahan kekuatan serta panjang penjangkaran yang diberikan oleh FRP. panjang penjangkaran yang semakin panjang akan memperluas bidang kontak dan gaya geser yang akan memberikan efek peningkatan kapasitas pada balok haunch. FRP memberikan kapasitas yang jauh lebih tinggi dari pada beton bertulang. Kapasitas tarik ultimate FRP

memiliki nilai yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja tulangan, sehingga efek dari penambahan FRP meningkatkan kapasitas ultimate secara signifikan. Grafik hubungan antara penambahan panjang FRP terhadap peningkatan kapasitas disajikan dalam Gambar 11 Grafik hubungan Beban ultimate - panjang FRP.



Gambar 11 Grafik hubungan Beban ultimate - panjang FRP (Sumber: Penulis, 2024)

Hubungan antara panjang FRP dan kapasitas ultimate menunjukkan nilai gradien positif berarti berbanding lurus. Pada rentang pemasangan FRP 750 sampai 1250 menunjukkan peningkatan yang minimal. Pada pemasangan FRP dengan panjang 500 dan 1750 menunjukkan hasil peningkatan yang maksimal

Daktilitas

Daktilitas sebagai parameter deformasi adalah perbandingan antara regangan ultimit dan regangan saat tulangan bawah mencapai leleh pada balok yang menerima beban. Untuk memperoleh nilai daktilitas dapat digunakan Persamaan 1.

$$\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \quad (1)$$

di mana:

- μ_{ϵ} = daktilitas regangan
- ϵ_u = regangan ultimit
- ϵ_y = regangan leleh

Dari hasil yang diperoleh dari analisis finite element balok haunch dengan panjang FRP 1750 memiliki daktilitas sebesar 2.675. Sementara itu untuk balok haunch dengan panjang FRP 1250 memiliki nilai daktilitas sebesar 2.648. Balok haunch dengan panjang 1000 mm, 750 mm, 500 mm, dan 250 mm memiliki nilai daktilitas berturut - turut sebesar 2.809, 2.999, 4.506, dan 6.611. Data nilai daktilitas secara lengkap disajikan pada Tabel 5 Daktilitas spesimen

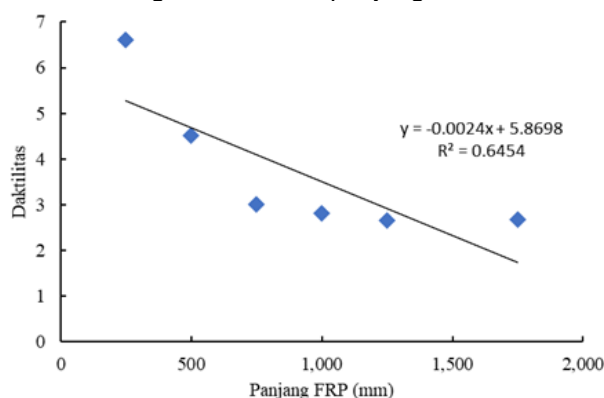
Tabel 5 Daktilitas spesimen

Panjang FRP	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	$\mu_d = \Delta_u / \Delta_y$
1750	34.773	13.000	2.675

1250	32.894	12.423	2.648
1000	34.349	12.228	2.809
750	36.727	12.245	2.999
500	54.111	12.008	4.506
250	80.564	12.186	6.611

(Sumber: Penulis, 2024)

Pengaruh dari variasi panjang pemasangan FRP pada balok haunch memiliki dampak terhadap nilai daktilitas dari balok haunch. Pemasangan FRP yang semakin panjang akan mengakibatkan penurunan nilai daktilitas. Grafik penurunan dari nilai daktilitas pada spesimen ditunjukkan pada Gambar 12 Grafik hubungan daktilitas - panjang FRP.



Gambar 12 Grafik hubungan daktilitas - panjang FRP (Sumber: Penulis, 2024)

Pemasangan FRP memiliki pengaruh penurunan nilai daktilitas. Struktur yang memiliki tingkat daktilitas tinggi akan berpengaruh pada respon struktur terhadap beban lateral atau gempa. Kapasitas yang meningkat akibat penambahan FRP nyatanya memberikan dampak penurunan daktilitas, sehingga respon struktur terhadap gempa menjadi kurang baik

PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa panjang pemasangan Fiber Reinforced Polymer (FRP) berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas balok haunch. Setiap penambahan panjang FRP sebesar 25 cm menghasilkan peningkatan kapasitas rata-rata sebesar 3,63% atau sekitar 5,442 kN. Peningkatan kapasitas terbesar tercatat pada pemasangan FRP dengan panjang 500 mm, yaitu peningkatan sebesar 13,3 kN dibandingkan pemasangan FRP dengan panjang 250 mm. Selain itu, panjang pemasangan FRP juga memengaruhi daktilitas balok haunch, di mana pemasangan FRP yang lebih panjang cenderung mengurangi tingkat daktilitas balok tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Hamrani, A., Alnahhal, W., & Elahtem, A. (2021).

- Shear behavior of green concrete beams reinforced with basalt FRP bars and stirrups. *Composite Structures*, 277(August), 114619. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114619>
- Allam, K., Mosallam, A. S., & Salama, M. A. (2019). Experimental evaluation of seismic performance of interior RC beam-column joints strengthened with FRP composites. *Engineering Structures*, 196(November 2018), 109308. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109308>
- Ayub, T., Mahmood, W., & Khan, A. U. R. (2021). Durability performance of scc and scgc containing recycled concrete aggregates: A comparative study. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13158621>
- Behnam, H., Kuang, J. S., & Samali, B. (2018). Parametric finite element analysis of RC wide beam-column connections. *Computers and Structures*, 205, 28–44. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2018.04.004>
- Caggiano, A., Martinelli, E., & Faella, C. (2012). A fully-analytical approach for modelling the response of FRP plates bonded to a brittle substrate. *International Journal of Solids and Structures*, 49(17), 2291–2300. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2012.04.029>
- Cao, Q., Zhou, J., Wu, Z., & Ma, Z. J. (2019). Flexural behavior of prestressed CFRP reinforced concrete beams by two different tensioning methods. *Engineering Structures*, 189(March), 411–422. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.051>
- Dang, C. T., & Dinh, N. H. (2017). Experimental Study on Structural Performance of RC Exterior Beam-Column Joints Retrofitted by Steel Jacketing and Haunch Element under Cyclic Loading Simulating Earthquake Excitation. *Advances in Civil Engineering*, 2017(i). <https://doi.org/10.1155/2017/9263460>
- Kang, J. (2017). Structural Behaviors of Reinforced Concrete Piers Rehabilitated with FRP Wraps. *International Journal of Polymer Science*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2989238>
- Liu, X., Gernay, T., Li, L. zhi, & Lu, Z. dao. (2021). Seismic performance of post-fire reinforced concrete beam-column joints strengthened with steel haunch system. *Engineering Structures*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111978>
- Nasery, M. M., Hüsem, M., Okur, F. Y., & Altunişik, A. C. (2020). Damage effect on experimental modal parameters of haunch strengthened concrete-encased composite column-beam connections. In *International Journal of Damage Mechanics* (Vol. 29, Issue 2). <https://doi.org/10.1177/1056789519843330>
- Purwanto, P., Ekaputri, J. J., Nuroji, N., Indriyantho, B. R., Gan, B. S., & Han, A. L. (2023). Geopolymer Haunch Beam-Column Connection Behavior. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(10), 13633–13648. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-07921-7>
- Qomaruddin, M., Lie, H. A., Hidayat, A., Sudarno, S., & Kustirini, A. (2019). *Compressive Strength Analysis On Geopolymer Paving By Using Waste Substitution Of Carbide Waste And Fly Ash*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1424/1/012052>
- Qomaruddin, M., & Sudarno, S. (2019). The study of laminate concrete between geopolymer and conventional. *Journal of Physics: Conference Series* 1363. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1363/1/012011>
- Solahuddin, B. A., & Yahaya, F. M. (2023). A state-of-the-art review on experimental investigation and finite element analysis on structural behaviour of fibre reinforced polymer reinforced concrete beams. *Heliyon*, 9(3), e14225. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14225>
- Srirekhya, A., & Bashetty, K. (2010). Infinite to finite: An overview of finite element analysis. *Indian Journal of Dental Research*, 21(3), 425–432. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.70813>
- Stauber, M. (2005). *Volumetric spatial decomposition of porous microstructures - A framework for element based analysis of trabecular bone*. 16223. <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-005083284>
- Su, M., Zhong, Q., & Peng, H. (2021). Regularized multivariate polynomial regression analysis of the compressive strength of slag-metakaolin geopolymer pastes based on experimental data. *Construction and Building Materials*, 303(March), 124529. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124529>
- Tudjono, S., Lie, H. A., & Gan, B. S. (2018). An Integrated System for Enhancing Flexural Members' Capacity Via Combinations of the Fiber Reinforced Plastic Use, Retrofitting, and Surface Treatment Techniques. *International Journal of Technology*, 9(1), 5–15. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i1.298>
- Zhou, X., Li, Z., Fan, M., & Chen, H. (2013). Rheology of semi-solid fresh cement pastes and mortars in orifice extrusion. *Cement and Concrete Composites*, 37(1), 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.01.004>