

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerusakan yang ada pada bangunan disebabkan oleh gempa bumi merupakan salah satu ancaman serius di Indonesia, terutama untuk bangunan gedung. Bangunan yang rusak akibat gempa merupakan masalah paling serius saat ini. Oleh karena itu terjadinya penurunan kekuatan struktur pada bangunan, akan tetapi tidak hanya gempa bumi yang mengakibatkan turunnya kekuatan struktur, namun ada juga factor lain seperti desain awal yang tidak memperhatikan factor lainnya, umur bangunan, kondisi lingkungan dan tidak ada proses perawatan untuk bangunan tersebut. Untuk itu dalam suatu konstruksi banyak digunakan beton bertulang.

Beton bertulang merupakan kombinasi antara beton dengan tulangan baja. Material beton tersebut mempunyai kuat tekan yang tinggi, akan tetapi lemah terhadap kuat tarik. Oleh sebab itu, beton dikombinasikan dengan tulangan baja agar dapat memikul tegangan tarik yang diberikan. Salah satunya dalam konstruksi bangunan gedung yaitu balok. Namun baja juga mempunyai kelemahan yaitu tidak tahan terhadap korosi.



Gambar 1.1 Korosi pada baja tulangan

(sumber: <https://hargabeton.com/pengertian-struktur-beton-bertulang/>)

Komposit Fiber Reinforced Polymer (FRP) dicirikan sebagai polimer yang diperkuat dengan serat. Peran penting dari fortifikasi serat adalah untuk mengkomunikasikan tumpukan sepanjang serat dan untuk memberikan kualitas dan ketegasan dalam satu arah. Fiber Reinforced Polymer (FRP) berbicara pada kelas bahan yang termasuk dalam klasifikasi yang disebut sebagai bahan komposit.

Bahan komposit terdiri dari setidaknya dua bahan yang memiliki substansi dan kualitas fisik terpisah ketika dikonsolidasikan bersama. Komposit Fiber Reinforced Polymer (FRP) adalah unik dalam kaitannya dengan bahan pengembangan biasa seperti baja atau aluminium. Komposit FRP bersifat anisotropik (memiliki sifat yang jelas terhadap beban yang terhubung) meskipun baja atau aluminium bersifat isotropik

(sifat yang seragam, bagaimanapun, bebas dari beban yang terhubung). Selanjutnya sifat komposit FRP adalah arah, menyiratkan bahwa sifat mekanik terbaik adalah ke arah posisi serat.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas geser balok beton bertulangan dengan tulangan hybrid dan mengetahui gaya aksial yang bekerja pada sengkang akibat pemakaian tulangan hybrid.

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam ilmu pengetahuan, dan menjadi rekomendasi untuk pengerjaan infrastruktur agar terhindar dari terjadinya korosi pada tulangan.

1.3 Batasan Penelitian

Agar dapat diperoleh tinjauan yang terfokus maka dilakukan pembatasan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini. Penelitian yang dilakukan memiliki ruang lingkup sebagai berikut:

1. Permodelan yang akan dianalisis adalah balok beton bertulang bersengkang dengan ukuran (125 x 250 x 2300) mm berjumlah 14 balok dengan variasi jenis tulangan dan posisi tulangan tarik, antara lain :
 - a. 6 balok kontrol tanpa tulangan hybrid
 - b. 4 balok dengan tulangan hybrid GFRP-baja konvensional
 - c. 4 balok dengan tulangan hybrid CFRP-baja konvensional

2. Bentang efektif 2000 mm
3. Jarak tumpuan ke beban 800 mm
4. Jarak antar beban 400 mm
5. Studi analitik dengan software ATENA v5

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penyusunan Tugas Akhir ini secara garis besar dibagi dalam beberapa bagian beberapa bagian sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang secara umum tentang penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori dasar dari beberapa referensi yang mendukung serta mempunyai relevansi dengan penelitian ini.

BAB III : METODE DAN PROSEDUR KERJA

Berisikan tentang metodologi penelitian yang merupakan tahapan-tahapan dan prosedur kerja dalam penyelesaian masalah.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan analisis hasil pengujian dan pembahasan dari hasil pengujian yang didapatkan tersebut.

BAB V : PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

LAMPIRAN





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang tidak kurang dari nilai minimum yang di syaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. (SNI 03-2847-2002, Pasal 3.13). Sifat utama dari baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Karena baja tulangan harganya mahal, maka sedapat mungkin dihindari penggunaan baja tulangan untuk memikul beban tekan.

2.1.1 Sifat mekanis beton bertulang

Sifat-sifat mekanis beton keras dapat diklasifikasikan sebagai:

1. Sifat jangka pendek,
 - a. Kuat Tekan

Nilai kuat tekan beton, didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban bertingkat pada benda uji silinder beton (diameter 150mm, tinggi 300mm) sampai hancur. Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar ASTM (*American Society for Testing Materials*). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara 10-65 Mpa. Untuk beton

bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 Mpa.

b. Kuat Tarik

Kuat tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Selama bertahun-tahun, sifat tarik beton diukur dengan memakai modulus keruntuhan (modulus of rupture). Baru-baru ini, hasil dari percobaan split silinder beton, umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan mencerminkan kuat tarik sebenarnya.

c. Kuat Geser

Kekuatan geser lebih sulit diperoleh, karena sulitnya mengisolasi geser dari tegangan-tegangan lainnya. Ini merupakan salah satu sebab banyaknya variasi kekuatan geser yang dituliskan dalam berbagai literature, mulai dari 20% dari kekuatan tekan pada pembebanan normal, sampai sebesar 80% dari kekuatan tekan pada pembebanan normal, sampai sebesar 80% dari kekuatan tekan, dalam hal terjadi kombinasi geser dan tekan.

d. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas, merupakan kemiringan dari bagian awal grafik yang lurus dari diagram regangan-tegangan, yang akan bertambah besar dengan bertambahnya kekuatan beton.

2. Sifat jangka Panjang, seperti rangkak dan susut.

a. Rangkak

Rangkak (Creep) adalah sifat dimana beton mengalami perubahan bentuk (deformasi) permanen akibat beban tetap yang bekerja padanya. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang untuk selang waktu tertentu dan akan berakhir setelah beberapa tahun berjalan. Besarnya deformasi rangkak sebanding dengan besarnya beban yang ditahan dan juga jangka waktu pembebanan. Pada umumnya rangkak tidak mengakibatkan dampak langsung terhadap kekuatan struktur, tetapi akan mengakibatkan timbulnya redistribusi tegangan pada beban kerja dan kemudian mengakibatkan terjadinya peningkatan lendutan (defleksi).

b. Susut

Susut secara umum didefinisikan sebagai perubahan volume beton yang tidak berhubungan dengan beban. Pada dasarnya ada dua jenis susut, yaitu susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis terjadi beberapa jam setelah beton segar dicor ke dalam cetakan bekisting. Sedangkan susut pengeringan terjadi setelah beton mencapai bentuk akhirnya, dan proses hidrasi pasta semen telah selesai. Perubahannya berkurang terhadap waktu, karena beton semakin berumur akan semakin tahan tegangan dan semakin sedikit mengalami susut.

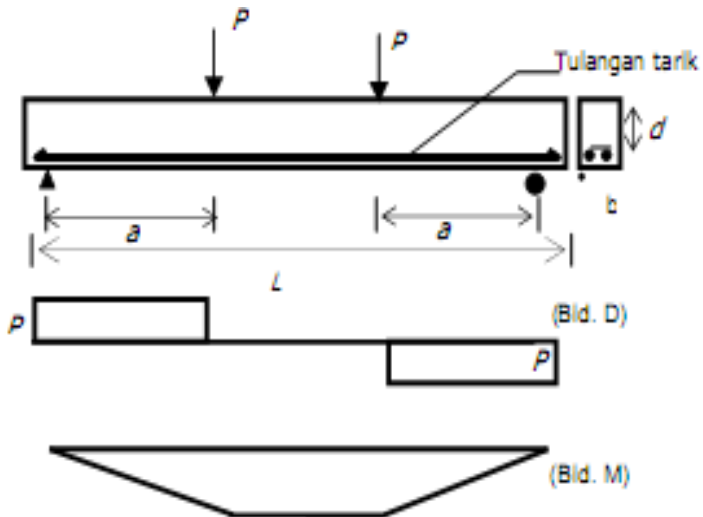
2.2 Perilaku Beton Bertulang

Beton kuat menahan tekan, tetapi sangat lemah terhadap gaya tarik. Gaya tarik yang mampu dipikul beton hanya sepersepuluh dari kuat tekannya. Tulangan tarik yang digunakan pada umumnya adalah baja konvensional. Beberapa dekade terakhir telah banyak digunakan tipe tulangan FRP (Fiber Reinforced Polymer). FRP adalah material yang tahan terhadap korosi, kuat tarik yang tinggi dan juga material yang ringan sehingga mudah digunakan dilapangan. Gabungan tulangan antara baja konvensional dan tulangan FRP diharapkan mampu memberikan penambahan kekuatan balok dan juga tidak menyebabkan korosi pada tulangan.

Struktur balok apabila diberi beban luar secara terus menerus dalam waktu yang lama dapat menimbulkan regangan pada balok yang biasa disebut tegangan lentur. Jika pembebanan terus dilakukan maka pada struktur balok akan terjadi deformasi yang menimbulkan retak lentur disepanjang balok sehingga apabila beban terus bertambah akan terjadi keruntuhan akibat lentur pada struktur elemen balok tersebut.

Penelitian ini menggunakan metoda Four-Point Loading, yaitu metode pengujian lentur pada balok dengan empat beban-titik pada bentangnya. Struktur balok bertulang dengan tumpuan sederhana (simple *beam*) yang dibebani secara simetris dengan dua buah gaya P sejauh a dari tumpuan, maka akan terjadi keadaan lentur murni yaitu dimana momen konstan sebesar $P \cdot a$ di daerah antara kedua beban P (Endah, 2009).

Bentuk pembebanan balok dalam keadaan lentur murni dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Bentuk pembebanan balok dalam keadaan lentur murni

2.3 Tipe-Tipe Keruntuhan

Jenis-Jenis Keruntuhan Lentur Beton :

1. Keruntuhan Tarik (Ductile)

Pada keruntuhan jenis ini, tulangan leleh sebelum beton hancur (yaitu mencapai regangan batas tekannya). Keruntuhan jenis ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan yang kecil. Balok yang mengalami keruntuhan ini disebut “underreinforced”.

2. Keruntuhan Tekan (Brittle/Getas)

Pada kondisi ini, beton hancur sebelum tulangan leleh. Keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan yang besar. Balok yang mengalami keruntuhan ini disebut

“overreinforced”.

3. Keruntuhan Seimbang (Balance)

Pada kondisi ini, beton hancur dan besi tulangan leleh terjadi secara bersamaan. Balok seperti ini mempunyai tulangan yang seimbang.

Pada perencanaan kapasitas geser suatu balok beton bertulang, langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan nilai rasio tulangan. Rasio tulangan merupakan perbandingan antara tulangan tarik yang digunakan dengan luas total penampang. Untuk menghitung nilai rasio tulangan dapat menggunakan persamaan 2.1 dibawah :

$$A_s = \frac{n\pi D^2}{4} \quad (2.1)$$

Dimana A_s merupakan luas tulangan tarik yang digunakan (mm^2), D adalah diameter tulangan (mm), dan n merupakan jumlah tulangan tarik yang digunakan. Rasio tulangan tarik yang didapat dihitung dengan persamaan 2.2 dibawah :

$$\rho_w = \frac{A_s}{bd} \quad (2.2)$$

Dimana ρ_w adalah rasio tulangan tarik, A_s adalah luas tulangan tarik terpasang (mm^2), b adalah lebar penampang balok (mm) sedangkan d merupakan tinggi efektif penampang balok (mm).

Perencanaan geser untuk komponen struktur dilakukan dengan menganggap bahwa beton menahan sebagian gaya geser yang terjadi dan sisanya ditahan oleh baja tulangan geser. Berdasarkan SNI-2847-2013, pasal 11.1 memberikan perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada persamaan 2.3 dibawah ini :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.3)$$

Dimana ϕ adalah faktor reduksi geser sebesar 0,75 ; V_u adalah gaya geser terfaktor penampang yang ditinjau ; V_n adalah kapasitas geser nominal yang dihitung dari persamaan 2.4 dibawah ini :

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.4)$$

Dimana V_c adalah kapasitas geser yang disumbangkan beton (N) dan V_s adalah kapasitas geser yang disumbangkan baja tulangan geser (N). Untuk komponen-komponen struktur yang hanya menahan geser dan lentur saja menurut SNI-2847-2013 pasal 11.2, kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja dihitung berdasarkan persamaan 2.5 dibawah ini :

$$V_c = 0,17\lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad (2.5)$$

Atau dapat juga menggunakan persamaan yang lebih terperinci seperti persamaan 2.6 dibawah ini :

$$V_c = (0,16\lambda \cdot \sqrt{f'c} + 17\rho_w \cdot \frac{V_{ud}}{M_u})b_w \cdot d \quad (2.6)$$

Dimana $M_u = V_u \cdot a$, sehingga V_c dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7 dibawah ini :

$$V_c = (0,16\lambda \cdot \sqrt{f'c} + 17\rho_w \cdot \frac{d}{a})b_w \cdot d \quad (2.7)$$

Dimana $f'c$ adalah kuat tekan beton (N/mm^2) ; b_w adalah lebar balok (mm) ; d adalah tinggi efektif balok (mm). ρ_w adalah rasio tulangan lentur dan a adalah jarak beban ke perletakan (mm). Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 8.6, faktor modifikasi λ muncul sebagai faktor pengali $\sqrt{f'c}$. Untuk beton normal digunakan faktor modifikasi λ sebesar 1,0.

Persamaan 2.8 menjelaskan bahwa komponen struktur yang dikenai tekan aksial, kapasitas geser dapat dihitung dari :

$$V_c = 0,17(1 + \frac{N_u}{14A_g})\lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \quad (2.8)$$

Sedangkan untuk komponen struktur yang dikenai tarik aksial yang besar, kapasitas geser dapat dihitung dari persamaan 2.9 dibawah ini:

$$V_c = 0,17(1 + \frac{0,29N_u}{A_g})\lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \quad (2.9)$$

Dimana N_u merupakan gaya aksial sedangkan N_u/A_g harus dinyatakan dalam Mpa.

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 11.4.7 memberikan perencanaan geser untuk sengkang didasarkan pada persamaan 2.10 dibawah ini :

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (2.10)$$

Dimana $A_v = 2 A_s$ dimana A_s adalah luas penampang batang tulangan sengkang (mm^2) ; f_{yt} adalah tegangan leleh tulangan geser (MPa) ; s adalah jarak spasi antar tulangan geser (mm).

2.4 FRP (*Fiber Reinforced Polymers*)

Komponen Komposit :

1. Serat

Sifat dan karakteristik komposit terutama cenderung oleh bermacam-macam serat. Dalam teknik sipil, pada dasarnya ada tiga jenis serat yang mendominasi. Mereka adalah serat karbon, kaca, dan aramid dan komposit biasanya dibuat oleh serat penguat, misalnya, CFRP untuk *Carbon Fiber Reinforced Polymer*. Mereka memiliki beragam karakteristik. Untuk alasan penguatan, serat karbon adalah yang paling cocok. Semua serat pada dasarnya memiliki kapasitas tegangan yang lebih besar daripada

baja normal dan bersifat linier fleksibel hingga gagal. Sifat paling unggul yang bervariasi di antara jenis serat adalah kekakuan dan regangan tarik. Tiga varietas serat secara skematis disajikan dalam gambar di bawah ini kontras dengan batang baja dasar dan tendon baja.

2. Matriks

Matriks harus mentransfer kekuatan di antara serat dan melindungi serat dari lingkungan luar. Dalam teknik sipil, resin termoset paling dominan digunakan. Dari termo set vinil ester dan epoksi, ini adalah dua matriks yang paling sering digunakan. Epoxy sering lebih disukai daripada ester vinil tetapi relatif mahal. Epoxy memiliki umur pot sekitar setengah jam pada suhu 20 derajat Celcius namun dapat diubah dengan formulasi yang berbeda. Curing berjalan cepat dengan suhu yang diperkuat. Karakteristik material untuk poliester dan epoksi ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Epoxies memiliki kekuatan, ikatan, sifat creep dan ketahanan kimia yang lebih baik.

2.4.1 Jenis-Jenis Polimer :

1. GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymers*)

Serat gelas pada dasarnya dibuat dengan memadukan pasir silika, batu kapur, asam folat dan zat-zat kecil lainnya. Campuran tersebut kemudian dicampur dan dihangatkan sampai meleleh sekitar 1260

° C. Kaca cair kemudian diizinkan mengalir melalui lubang halus di permukaan platinum. Untaian kaca diberikan waktu untuk mendinginkan, mengumpulkan dan melukai. Serat ditarik untuk memperkuat kekuatan arah. Serat-serat tersebut kemudian ditenun menjadi varietas yang berbeda untuk pemanfaatan dalam komposit. Bergantung pada komposisi aluminium borosilikat kapur aluminium, serat yang dibuat diperhitungkan sebagai penguat utama untuk komposit matriks polimer berdasarkan sifat isolasi listriknya yang tinggi, kerentanan yang lebih rendah terhadap kelembaban, dan karakteristik mekanis yang lebih besar. Kaca biasanya serat tahan dampak yang baik tetapi memiliki massa lebih dari karbon atau aramid. Serat kaca memiliki sifat-sifat cemerlang yang setara atau lebih efisien daripada baja dalam berbagai bentuk.

2. CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymers*)

Serat karbon memiliki modulus elastisitas yang lebih besar, 200-800 GPa. Perpanjangan vital adalah 0,3-2,5% di mana perpanjangan yang lebih rendah memuji kekakuan yang lebih besar dan sebaliknya. Serat karbon tidak menyerap air dan menentang banyak jenis larutan kimia. Mereka secara efektif dapat menahan kelelahan, tidak stres atau

hancur dan tidak menunjukkan jenis relaksasi atau creep, memiliki lebih sedikit relaksasi dibandingkan dengan relaksasi rendah untaian baja pra-tekanan tinggi. Serat karbon positif konduktif secara elektrik dan, akibatnya dapat memberikan korosi galvanik ketika dibawa langsung dengan baja.

3. AFRP (*Aramid Fiber Reinforced Polymers*)

Aramid mengacu pada nama pendek untuk aromatik poliamida. Merek dagang komersial terkenal dari serat aramid adalah Kevlar. Namun, ada banyak merek lain juga tersedia di pasar misalnya, Twaron, Technora dan SVM. Modul serat adalah 70-200 GPa dengan panjang akhir akhir 1,5-5% berdasarkan kelas dan kualitas. Aramid memiliki energi patah yang lebih besar dan karenanya digunakan untuk helm dan juga berguna untuk pakaian anti peluru. Serat aramid responsif terhadap suhu tinggi, kelembaban dan terutama terhadap radiasi ultraviolet dan akibatnya tidak banyak digunakan dalam metodologi teknik sipil. Serat aramid tambahan memang memiliki masalah dengan pengurangan dan korosi tegangan.

2.4.2. Kelebihan tulangan FRP

Adapun kelebihan dari tulangan FRP antara lain :

1. Fiber Reinforced Polymer (FRP) memiliki kapasitas untuk memberikan rasio kekakuan material terhadap kepadatan tertinggi 3,5 hingga 5 kali dalam kaitannya dengan baja atau aluminium.
2. Memiliki batas beban kelelahan tinggi
3. Sifat material bisa diperkuat ketika dibutuhkan
4. Potensi karat berkurang
5. Sambungan dan pengencang lebih disederhanakan.

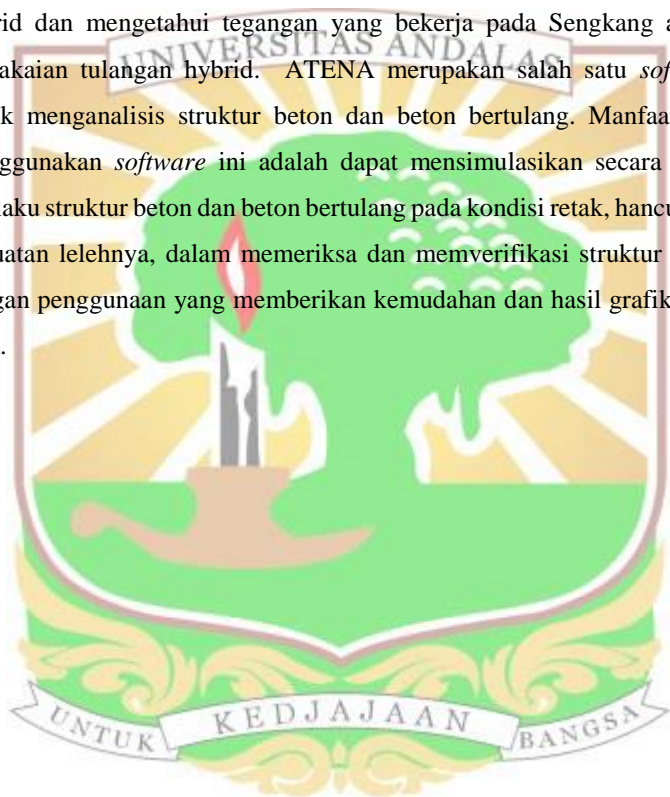
2.5 Metode Elemen Hingga (ATENA)

Metoda elemen hingga merupakan sebuah metode numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial dari suatu *problem* matematik. Metode ini juga bias digunakan pada analisis struktur dan sangat berguna untuk menyelesaikan bentuk struktur yang rumit.

Robert Cook (1990) menyatakan bahwa metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan Teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis. Tipe masalah teknis dan matematika phisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok non-struktur. Masalah analisis struktur meliputi analisis tegangan, *buckling* dan analisis getaran.

Sedangkan masalah non-struktur adalah perpindahan panas dan massa, mekanika fluida, serta distribusi dari potensial listrik.

Tugas akhir ini menggunakan *software* ATENA v5 untuk menganalisis kapasitas geser balok beton bertulang dengan tulangan hybrid dan mengetahui tegangan yang bekerja pada Sengkang akibat pemakaian tulangan hybrid. ATENA merupakan salah satu *software* untuk menganalisis struktur beton dan beton bertulang. Manfaat dari menggunakan *software* ini adalah dapat mensimulasikan secara nyata perilaku struktur beton dan beton bertulang pada kondisi retak, hancur dan kekuatan lelehnya, dalam memeriksa dan memverifikasi struktur beton dengan penggunaan yang memberikan kemudahan dan hasil grafik yang unik.





Gambar 2.2 *Software ATENA v5*

Beberapa kelebihan dalam penggunaan metode elemen hingga, adalah :

1. Tidak terdapat kesulitan dalam menganalisis beban pada suatu struktur
2. Dapat menangani berbagai macam syarat batas dalam jumlah yang tak terbatas
3. Variasi dalam ukuran elemen memungkinkan untuk memperoleh detail analisis yang diinginkan;
4. Benda dengan bentuk yang tidak teratur dapat dengan mudah dianalisis.



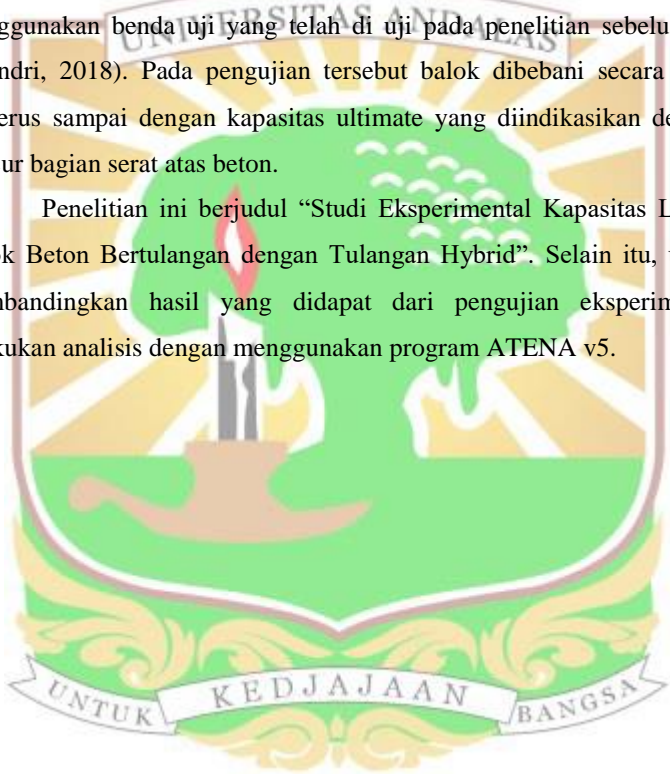
BAB III

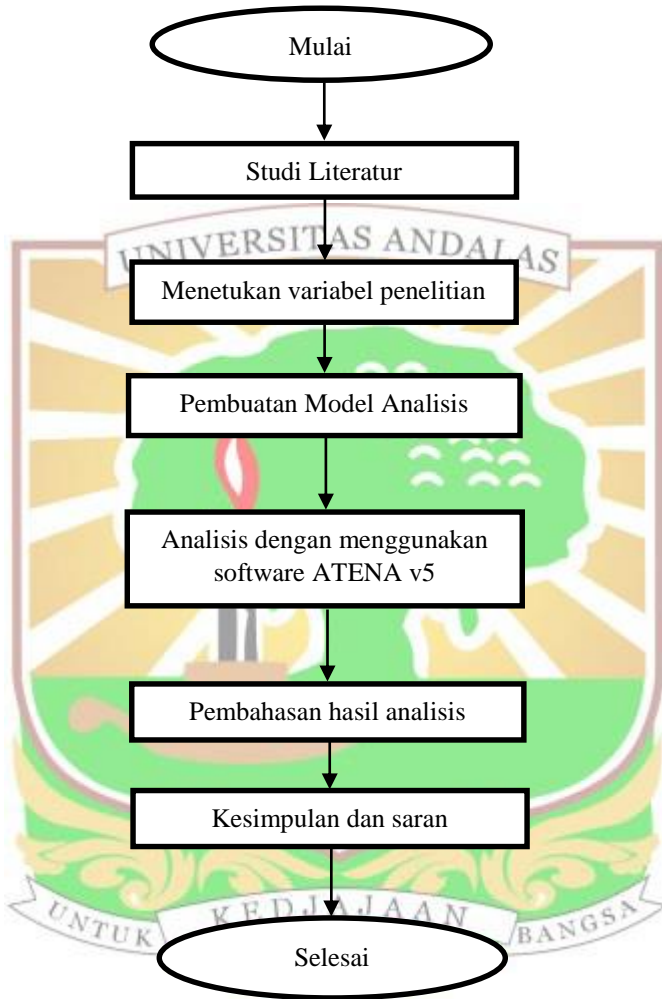
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Uraian Umum

Balok yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan benda uji yang telah di uji pada penelitian sebelumnya (Wendri, 2018). Pada pengujian tersebut balok dibebani secara terus menerus sampai dengan kapasitas ultimate yang diindikasikan dengan hancur bagian serat atas beton.

Penelitian ini berjudul “Studi Eksperimental Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulangan dengan Tulangan Hybrid”. Selain itu, untuk membandingkan hasil yang didapat dari pengujian eksperimental dilakukan analisis dengan menggunakan program ATENA v5.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Analisi ini dilakukan dalam sistematika yang jelas dan teratur sehingga diperoleh hasil yang bisa dipertanggung jawabkan serta memuaskan. Tahap-tahap dari analisis ini dibuat sedemikian rupa sehingga dapat dilaksanakan secara sistematis, efisien serta tepat sasaran. Oleh karena itu, berikut penjelasan tahap pelaksanaan yang dilakukan dalam tugas akhir ini :

3.2 Tahapan Pelaksanaan

3.2.1 Studi Literatur

Pada tahapan studi literatur, penulis mengumpulkan bahan, jurnal, skripsi mahasiswa tahun sebelumnya dan bahan dari internet. Dari literatur itulah penulis mempelajari tentang beton bertulang, kekurangan dan kelebihan beton bertulang, kapasitas geser pada balok, gaya aksial yang bekerja pada sengkang serta mempelajari *software* ATENA v5.

3.2.2 Pembuatan Model Analisis

Permodelan struktur menggunakan *software* ATENA v5 yang digunakan untuk menganalisis metode elemen hingga non-linier. *Software* ATENA v5 dapat mensimulasikan dari beton dan struktur beton bertulang termasuk retak pada beton, keruntuhan pada beton dan lain-lain. Dalam pembuatan model penulis terlebih dahulu mendefinisikan material yang digunakan. Kemudian memodelkan balok sesuai dengan data eksperimental yang telah dilakukan sebelumnya.

3.2.3 Analisis dengan menggunakan *software* ATENA v5

Setelah permodelan struktur selesai, maka untuk mendapatkan *output* dari respon struktur dilakukan running program. Hasil running program kemudian disimpan kedalam ms. Excel agar mudah dalam pembuatan grafik yang diperlukan.

3.2.4 Pembahasan hasil analisis

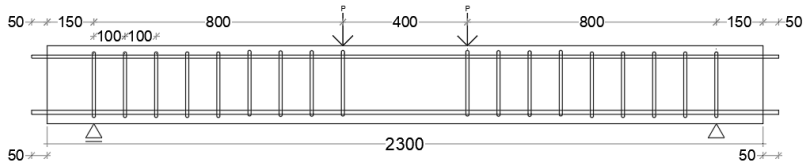
Output yang telah dilakukan dengan *software* ATENA v5 akan dilakukan analisis dan dibahas mengenai pengaruh variasi rasio tulangan terhadap pola keretakan balok dan dibandingkan dengan hasil eksperimental yang telah dilakukan sebelumnya, distribusi tegangan utama terhadap keruntuhan geser yang terjadi pada balok serta pengaruh variasi rasio tulangan dan lebar sayap terhadap kekuatan geser balok.

3.2.5 Kesimpulan dan saran

Pada tahap akhir dari penelitian ini diharapkan nantinya ada suatu kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dan berikan saran untuk analisis selanjutnya.

3.3 Model Benda Uji

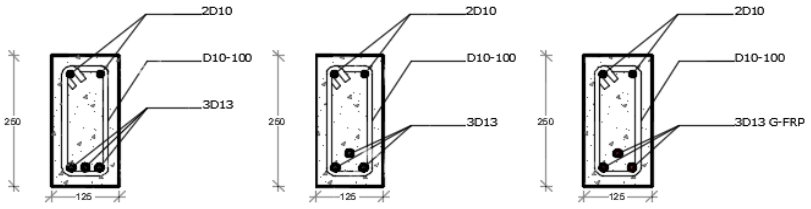
Benda uji pada penelitian ini berupa balok beton bertulang berpenampang persegi yang diberi sengkang. Penampang benda uji berukuran (250 x 125) mm, panjang benda uji 2300 mm, bentang efektif 2000 mm, jarak tumpuan beban 800 mm, dan jarak antar beban 400 mm. Tampak penulangan balok dan detail dari penampang balok dapat dilihat pada **Gambar 3.2**



Gambar 3.2 Tampak memanjang dan Penulangan Balok

Balok yang akan di uji yaitu ada 2 jenis balok kontrol dan benda uji. Kedua jenis balok tersebut mempunyai 2 tulangan tekan D10 dan Sengkang D10-100. Balok kontrol hanya terdiri dari baja konvensional, GFRP dan CFRP sebagai tulangan tarik, sedangkan balok benda uji terdiri dari balok tulangan tarik hybrid antara GFRP-baja konvensional dan CFRP-baja konvensional. Variasi benda uji yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

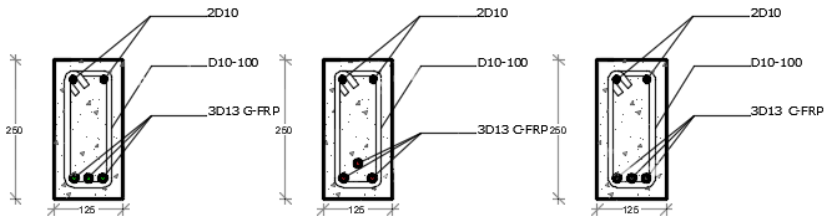




BCL-02

BCL-04

BCGL-01

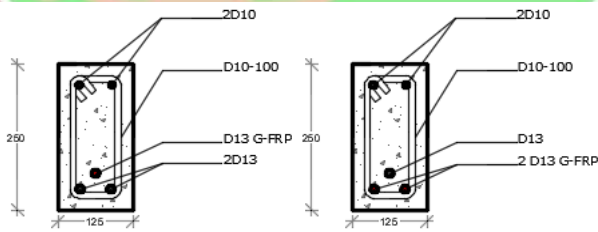


BCGL-02

BCCL-01

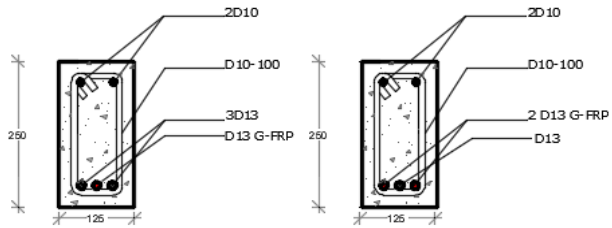
BCCL-02

Gambar 3.3 Penampang Balok Kontrol



BHGL-01

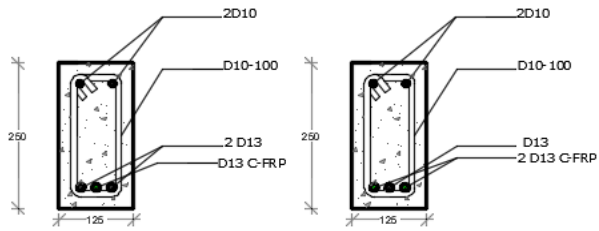
BHGL-02



BHGL-03

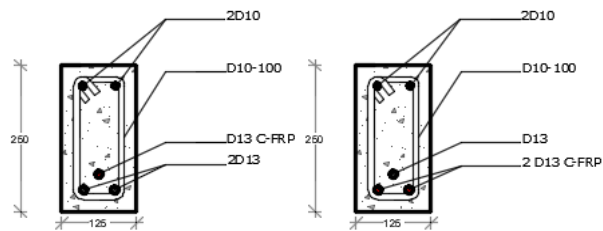
BHGL-04

Gambar 3.4 Penampang Benda Uji Hybrid (GFRP-Baja Konvensional)



BHCL-01

BHCL-02



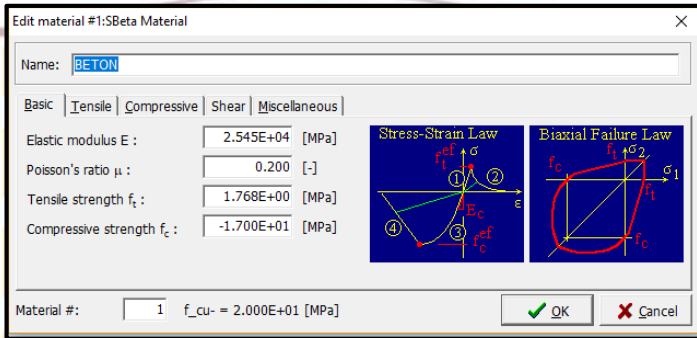
BHCL-03

BHCL-04

Gambar 3.5 Penampang Benda Uji Hybrid (CFRP-Baja Konvensional)

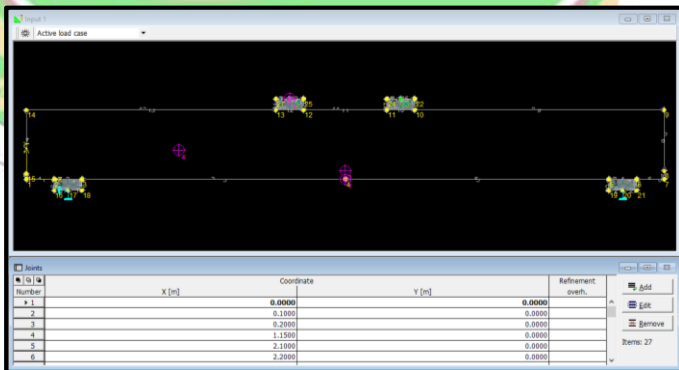
3.4 Studi Analisis Data

Adapun proses analisis menggunakan ATENA v5 dapat dilihat dari **Gambar 3.6** sampai dengan **Gambar 3.11** . Untuk contoh dilakukan permodelan balok dengan perkuatan balok BCCL-01



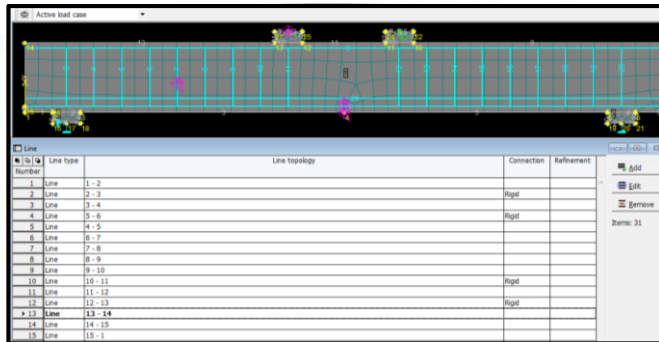
Gambar 3.6 Definisi Material pada ATENA v5

Pertama, definisikan semua material dan properti yang digunakan dalam pembuatan balok.

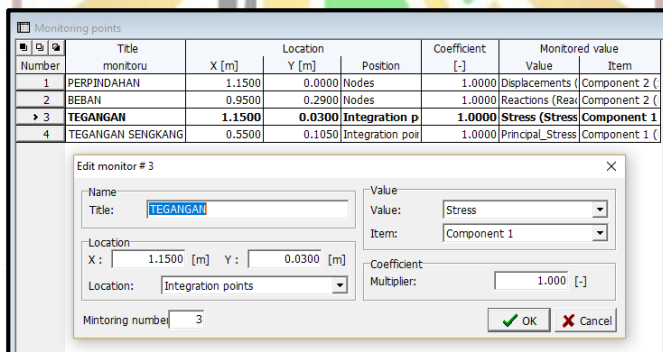


Gambar 3.7 Permodelan balok pada ATENA v5

Selanjutnya, jika material sudah di definisikan kemudian tentukan titik-titik untuk balok tersebut dengan menggunakan ordinat, jika semua titik sudah selesai kemudian hubungan titik-titik tersebut dengan menggunakan line seperti pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8 Permodelan balok pada ATENA v5



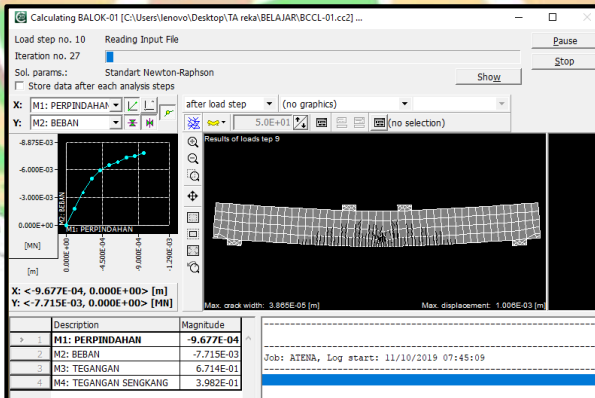
Gambar 3.9 Monitoring Points pada ATENA v5

Kemudian setelah model sudah selesai dimodelkan sesuai dengan definisinya masing-masing tentukan dimana *monitoring points* atau titik mana yang akan ditinjau. Hal tersebut bisa dilihat pada **Gambar 3.9**

Number	Coefficient	Parameters	Save	Calculated
1	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
2	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
3	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
4	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
5	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
6	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
7	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
8	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
9	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
10	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
11	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
12	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
13	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
14	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
15	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
16	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
17	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
18	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
19	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
20	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
21	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
22	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
23	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
24	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
25	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
26	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
27	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
28	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed
29	1.0000	Standart Newton-Raphson	Yes	Not analyzed

Gambar 3.10 Analysis Steps pada ATENA v5

Langkah selanjutnya sebelum program di *running* tentukan jumlah *Analysis Steps* berdasarkan kekuatan dan beban pada balok tersebut. Jika sudah kemudian *running* analisis terhadap jenis monitoring yang sudah di tentukan seperti pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Running Analysis pada ATENA v5

Jenis monitoring yang di analisa yaitu beban terhadap perpindahan di titik tengah bentang balok, dan di titik bentang geser balok.

BAB IV

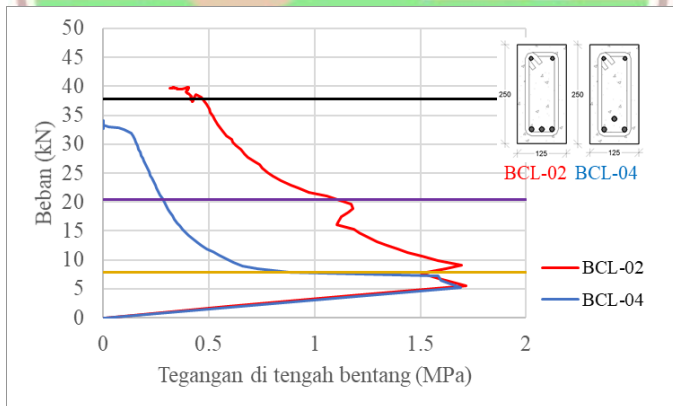
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uraian Umum

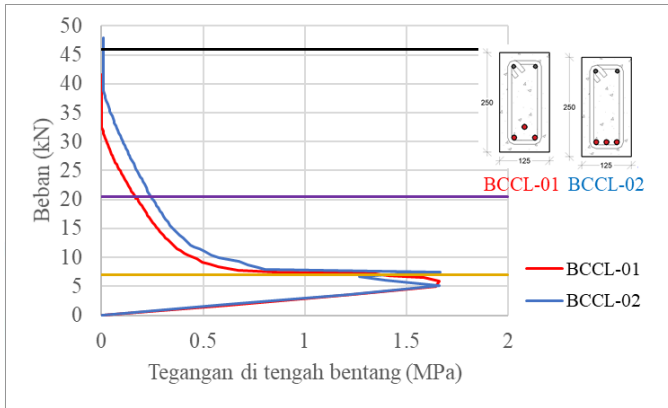
Pada penelitian ini dilakukan studi yang berkaitan dengan perilaku dari tegangan utama terhadap keruntuhan geser yang terjadi pada balok beton bertulang berpenampang persegi dengan sengkang. Analisis keruntuhan geser ini dilakukan dengan menggunakan software ATENA v5 secara 2 dimensi. Balok tersebut dimodelkan dan terdapat variasi tulangan, variasi ini bertujuan untuk mengetahui kontribusi dari letak tulangan yang berbeda.

4.2 Analisis Kapasitas Tegangan di Tengah Bentang

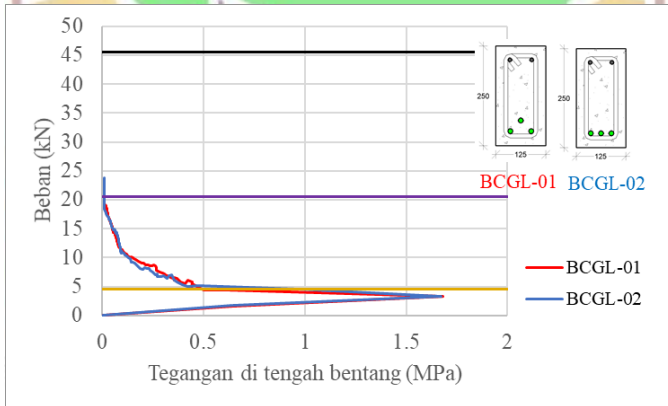
4.2.1 Efek Konfigurasi Tulangan Sejenis



Gambar 4.1 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BCL-02 vs BCL-04



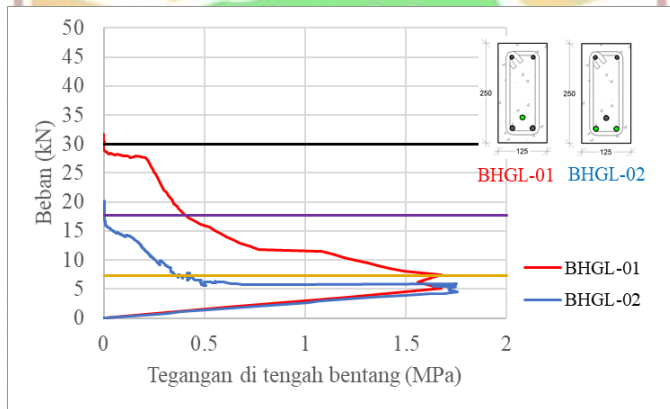
Gambar 4.2 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BCCL-01 vs BCCL-02



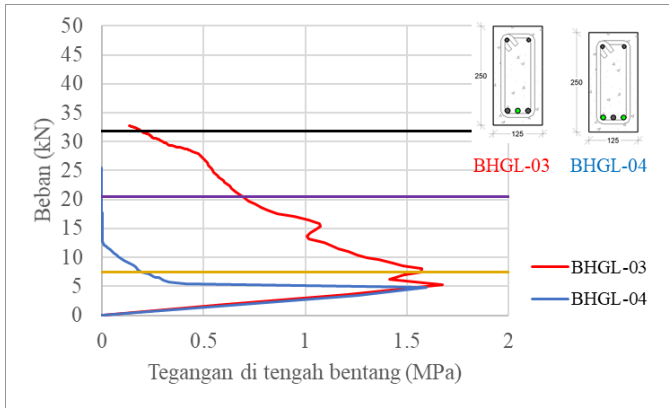
Gambar 4.3 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BCGL-01 vs BCGL-02

Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa titik yang dimonitor mengalami tegangan tarik. Retak lentur terjadi pada nilai beban rata-rata sebesar 8 kN. Pada ketiga gambar ini terlihat bahwa konfigurasi tulangan sejenis tidak terlalu berpengaruh terhadap perilaku retak di daerah tengah bentang balok. Dari grafik tersebut dapat dibuktikan bahwa nilai retak pertama lebih kecil daripada nilai V_c .

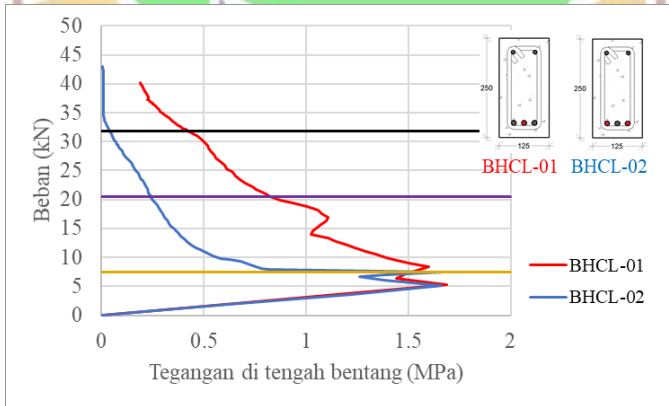
4.2.2 Efek Persentase Tulangan



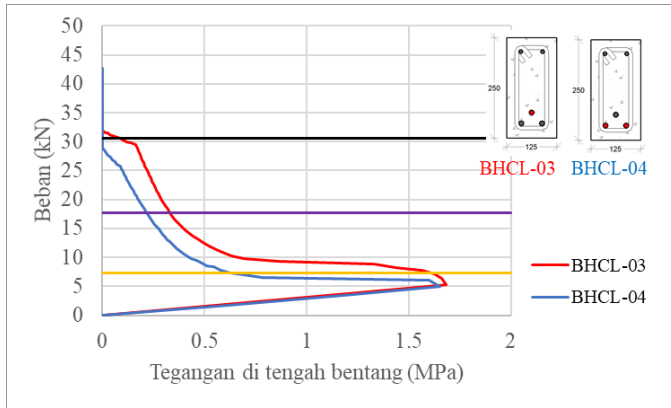
Gambar 4.4 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BHGL-01 vs BHGL-02



Gambar 4.5 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BHGL-03 vs BHGL-04

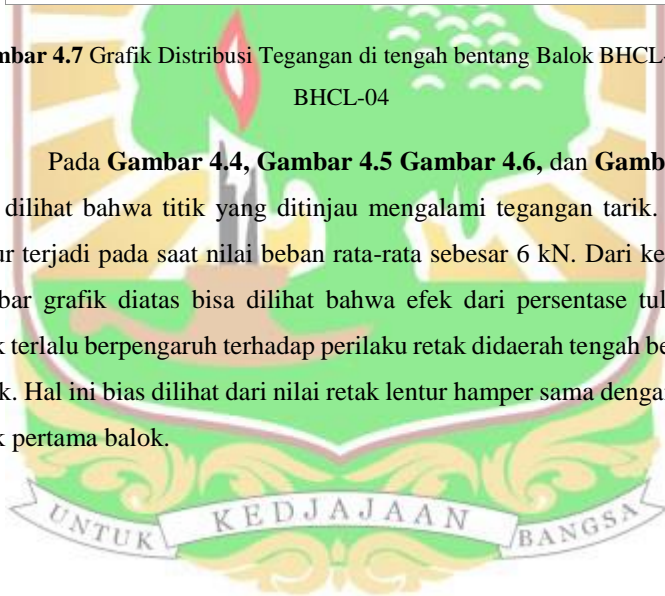


Gambar 4.6 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BHCL-01 vs BHCL-02

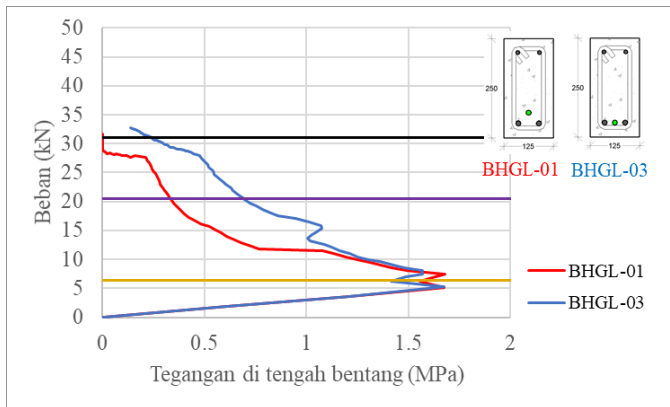


Gambar 4.7 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BHCL-03 vs BHCL-04

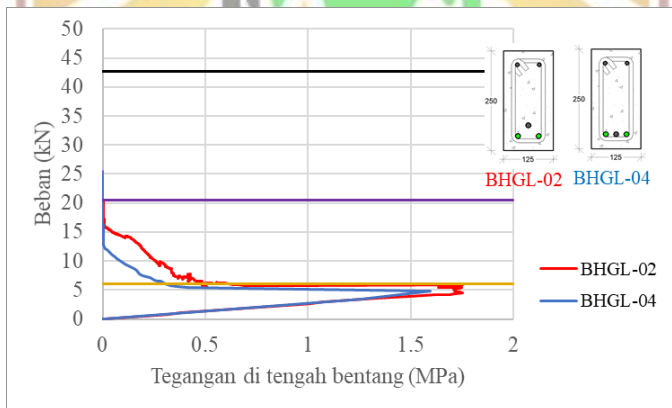
Pada **Gambar 4.4**, **Gambar 4.5** **Gambar 4.6**, dan **Gambar 4.7** bisa dilihat bahwa titik yang ditinjau mengalami tegangan tarik. Retak lentur terjadi pada saat nilai beban rata-rata sebesar 6 kN. Dari keempat gambar grafik diatas bisa dilihat bahwa efek dari persentase tulangan tidak terlalu berpengaruh terhadap perilaku retak didaerah tengah bentang balok. Hal ini bias dilihat dari nilai retak lentur hamper sama dengan nilai retak pertama balok.



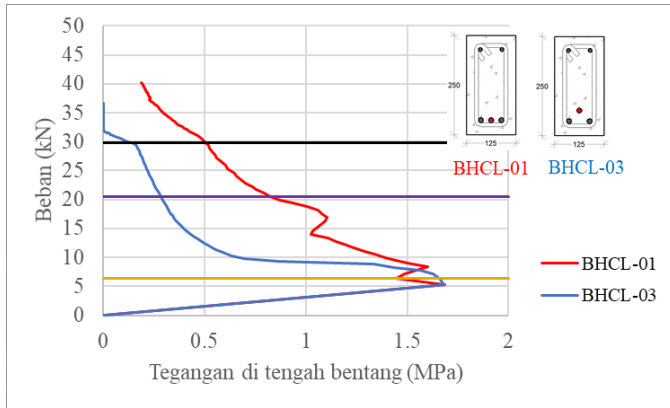
4.2.3 Efek Konfigurasi Tulangan Hybrid



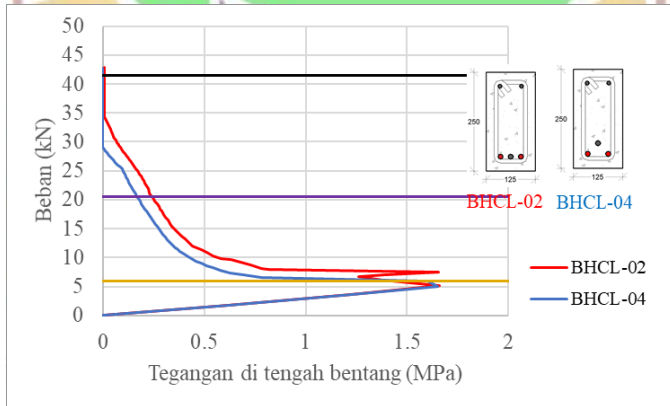
Gambar 4.8 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BHGL-01 vs BHGL-03



Gambar 4.9 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BHGL-02 vs BHGL-04



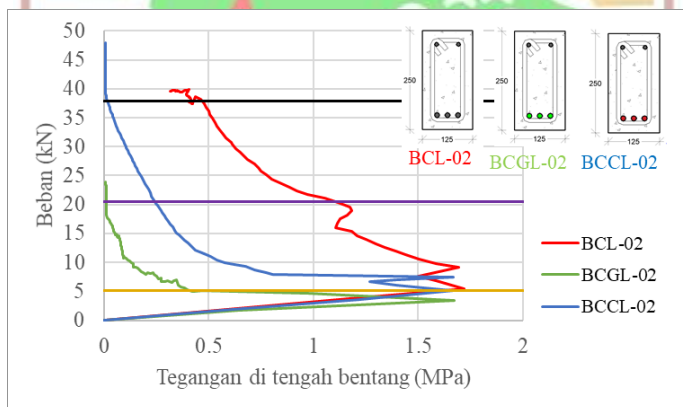
Gambar 4.10 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BHCL-01 vs BHCL-03



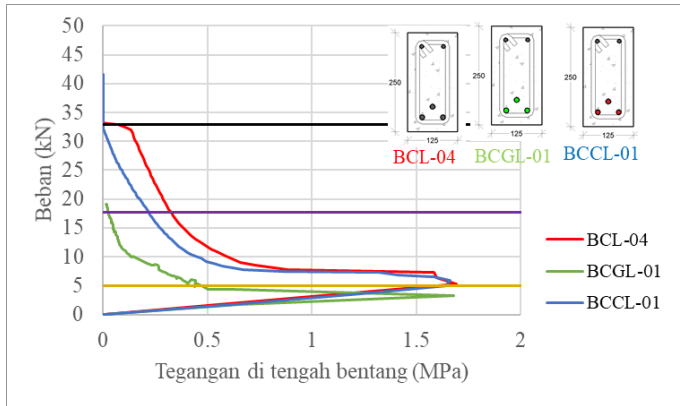
Gambar 4.11 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BHCL-02 vs BHCL-04

Pada **Gambar 4.8**, **Gambar 4.9**, **Gambar 4.10**, dan **Gambar 4.11** dapat dilihat pada titik yang dimonitoring terjadi tegangan tarik, dan retak lentur terjadi pada nilai beban rata-rata sebesar 6 kN. Dari 4 gambar tersebut bisa dilihat bahwa nilai retak pertama lebih kecil dari pada nilai V_c , oleh karena itu konfigurasi tulangan hybrid tidak terlalu berpengaruh terhadap perilaku retak didaerah tengah bentang balok.

4.2.4 Efek Tulangan Berbeda Konfigurasi Sama

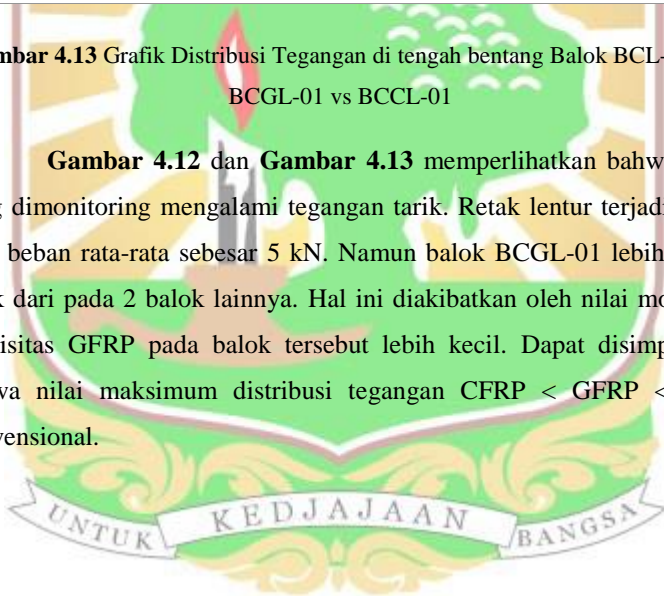


Gambar 4.12 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BCL-02 vs BCGL-02 vs BCCL-02



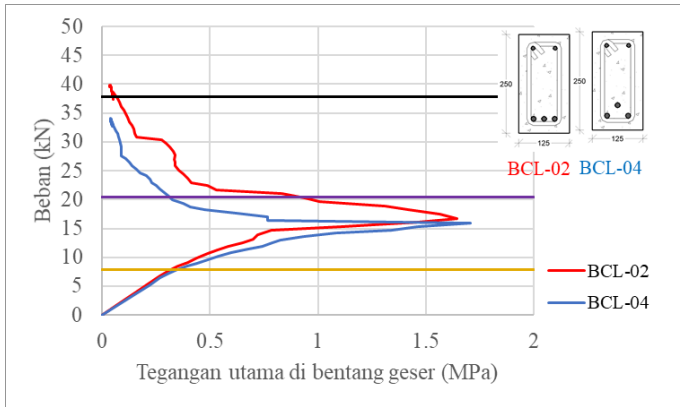
Gambar 4.13 Grafik Distribusi Tegangan di tengah bentang Balok BCL-04 vs BCGL-01 vs BCCL-01

Gambar 4.12 dan **Gambar 4.13** memperlihatkan bahwa titik yang dimonitoring mengalami tegangan tarik. Retak lentur terjadi pada nilai beban rata-rata sebesar 5 kN. Namun balok BCGL-01 lebih cepat retak dari pada 2 balok lainnya. Hal ini diakibatkan oleh nilai modulus elastisitas GFRP pada balok tersebut lebih kecil. Dapat disimpulkan bahwa nilai maksimum distribusi tegangan CFRP < GFRP < baja konvensional.

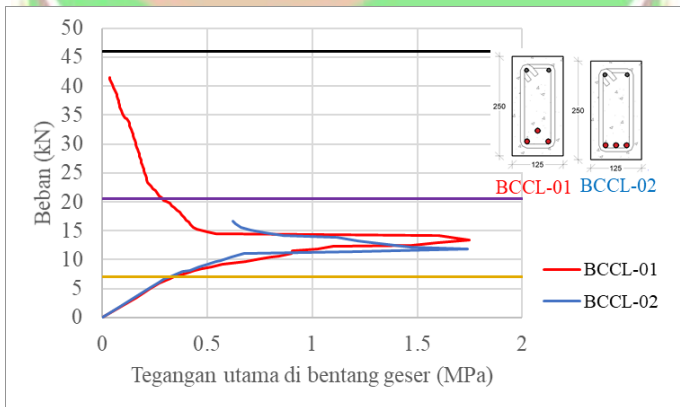


4.3 Analisis Kapasitas Tegangan Utama di Bentang Geser

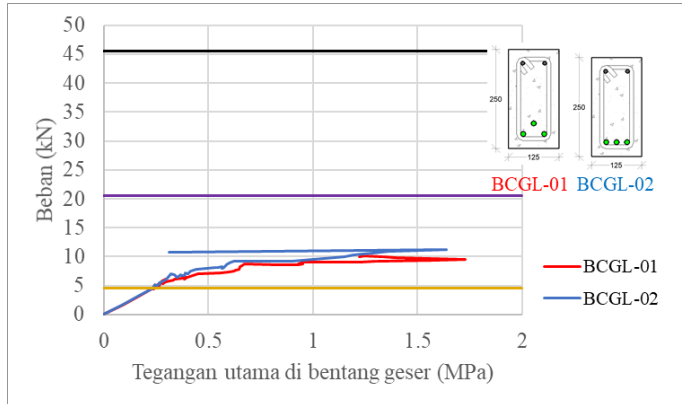
4.3.1 Efek Konfigurasi Tulangan Sejenis



Gambar 4.14 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BCL-02 vs BCL-04

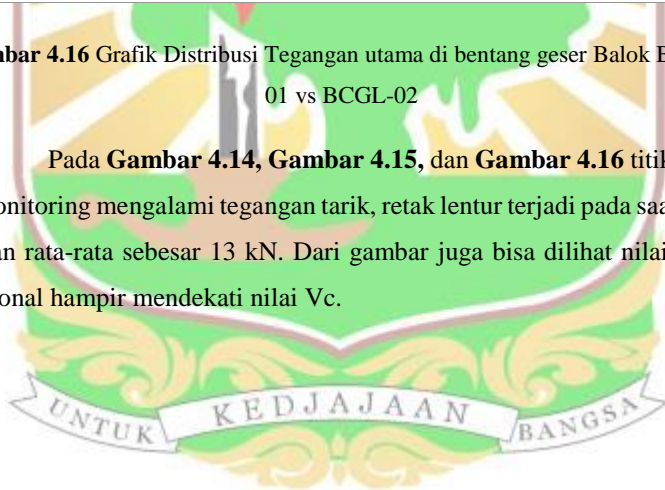


Gambar 4.15 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BCCL-01 vs BCCL-02

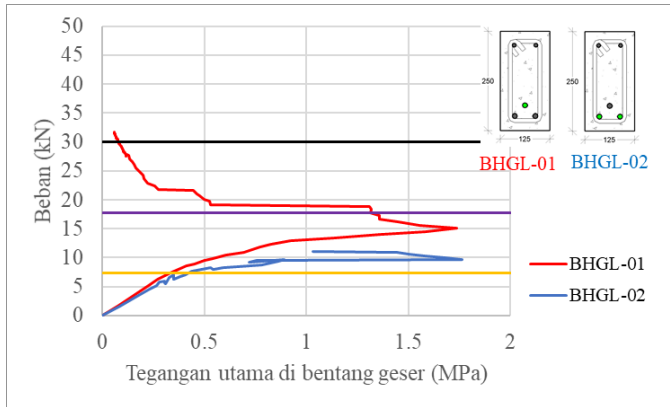


Gambar 4.16 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BCGL-01 vs BCGL-02

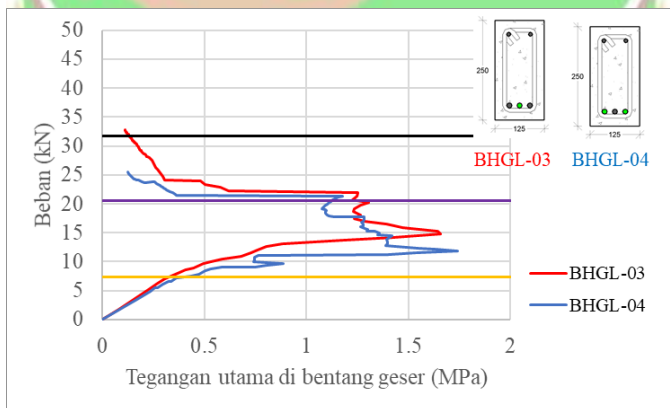
Pada **Gambar 4.14**, **Gambar 4.15**, dan **Gambar 4.16** titik yang dimonitoring mengalami tegangan tarik, retak lentur terjadi pada saat nilai beban rata-rata sebesar 13 kN. Dari gambar juga bisa dilihat nilai retak diagonal hampir mendekati nilai V_c .



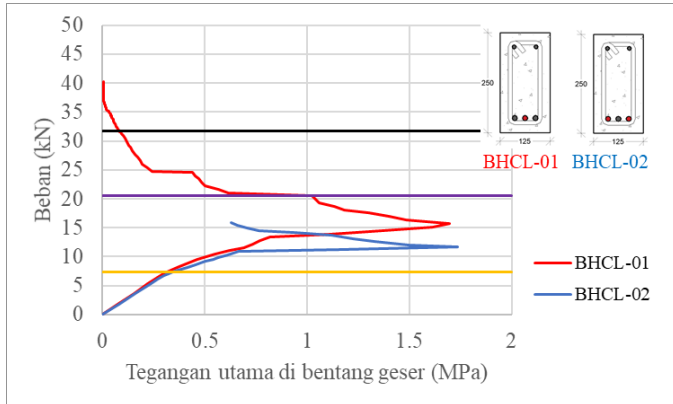
4.3.2 Efek Persentase Tulangan



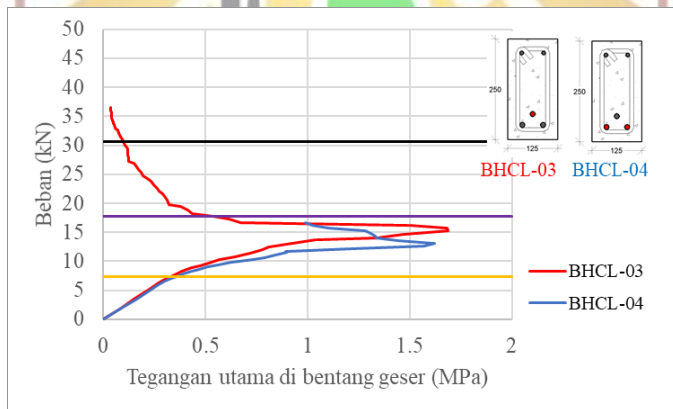
Gambar 4.17 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BHGL-01 vs BHGL-02



Gambar 4.18 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BHGL-03 vs BHCL-04



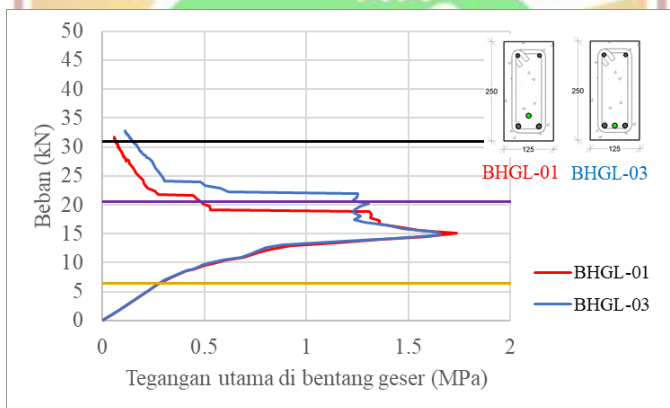
Gambar 4.19 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BHCL-01 vs BHCL-02



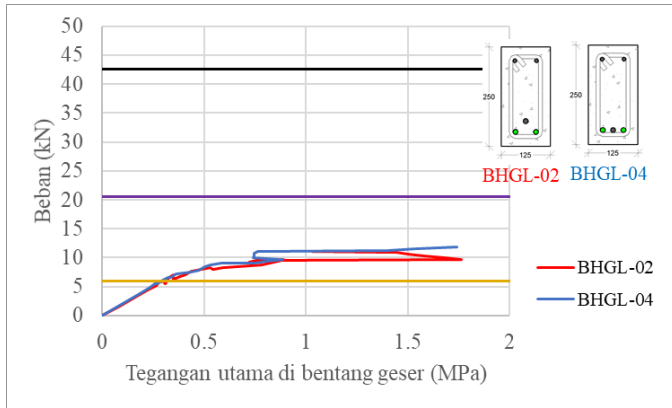
Gambar 4.20 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BHCL-03 vs BHCL-04

Untuk **Gambar 4.17**, **Gambar 4.18**, **Gambar 4.19**, dan **Gambar 4.20** pada titik yang dimonitoring juga terjadi tegangan tarik, dimana retak lenturnya terjadi pada saat nilai beban rata-rata sebesar 15 kN. Dari keempat gambar juga menunjukkan bahwa nilai retak pertama mendekati nilai V_c .

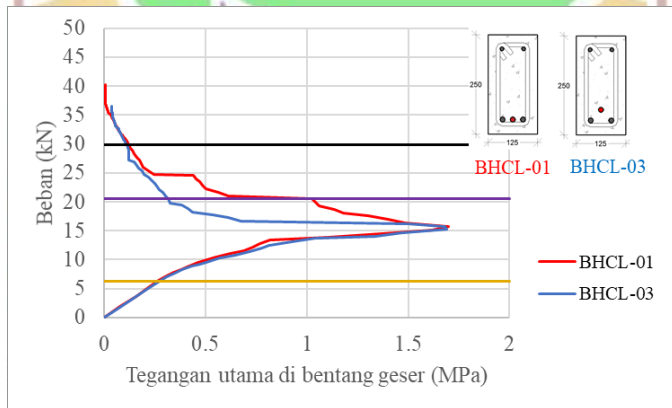
4.3.3 Efek Konfigurasi Tulangan *Hybrid*



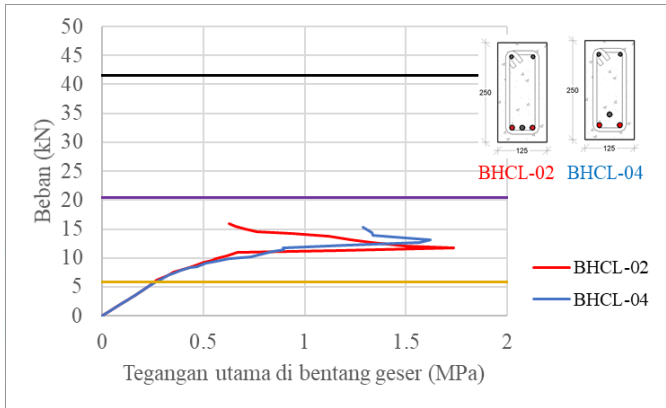
Gambar 4.21 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BHGL-01 vs BHGL-03



Gambar 4.22 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok Balok BHGL-02 vs BHGL-04

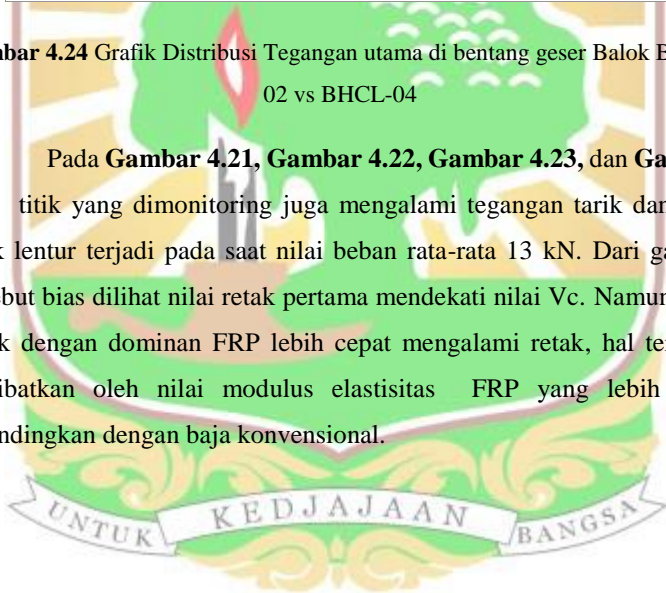


Gambar 4.23 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BHCL-01 vs BHCL-03

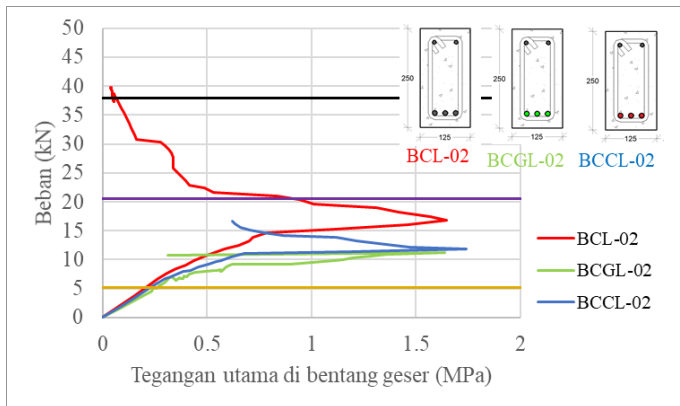


Gambar 4.24 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BHCL-02 vs BHCL-04

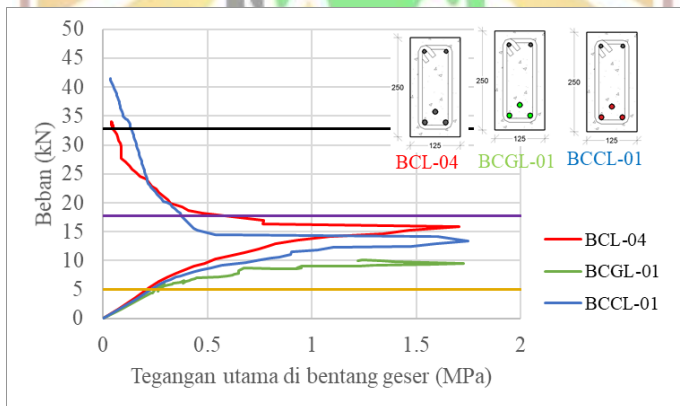
Pada **Gambar 4.21**, **Gambar 4.22**, **Gambar 4.23**, dan **Gambar 4.24** titik yang dimonitoring juga mengalami tegangan tarik dan nilai retak lentur terjadi pada saat nilai beban rata-rata 13 kN. Dari gambar tersebut bias dilihat nilai retak pertama mendekati nilai V_c . Namun pada balok dengan dominan FRP lebih cepat mengalami retak, hal tersebut diakibatkan oleh nilai modulus elastisitas FRP yang lebih kecil dibandingkan dengan baja konvensional.



4.3.4 Efek Tulangan Berbeda Konfigurasi Sama



Gambar 4.25 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BCL-02 vs BCGL-02 vs BCCL-02

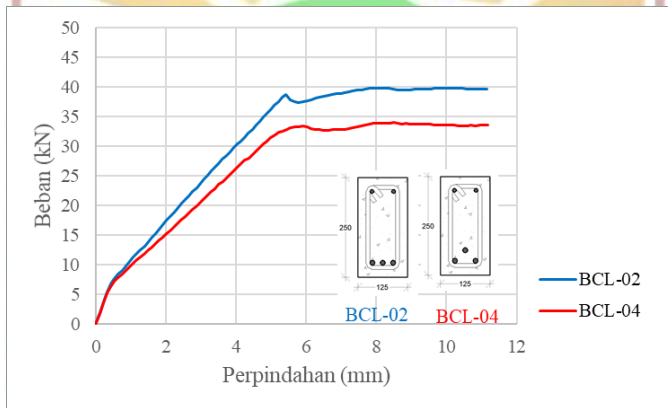


Gambar 4.26 Grafik Distribusi Tegangan utama di bentang geser Balok BCL-04 vs BCGL-01 vs BCCL-01

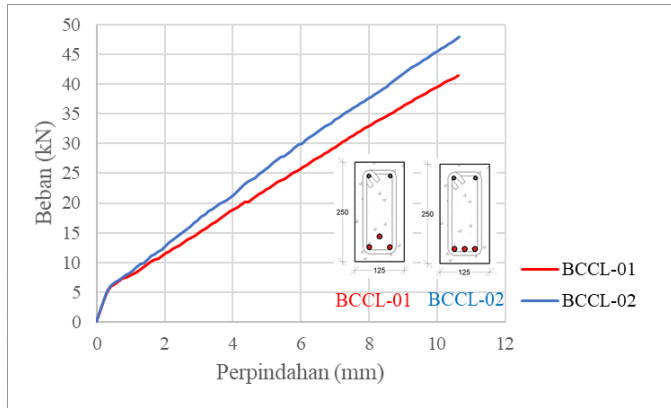
Pada **Gambar 4.25** dan **Gambar 4.26** titik yang dimonitoring juga mengalami tegangan tarik dan retak lentur pertama terjadi pada saat nilai beban rata-rata sebesar 14 kN. Dari kedua gambar nilai retak pertama pada bentang geser juga mendekati nilai V_c .

4.4 Analisis Grafik Beban Perpindahan

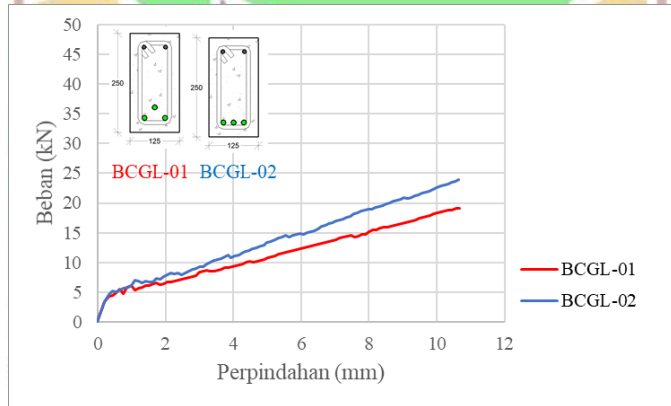
4.4.1 Efek Konfigurasi Tulangan Sejenis



Gambar 4.27 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCL-02 vs BCL-04



Gambar 4.28 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCCL-01 vs BCCL-02

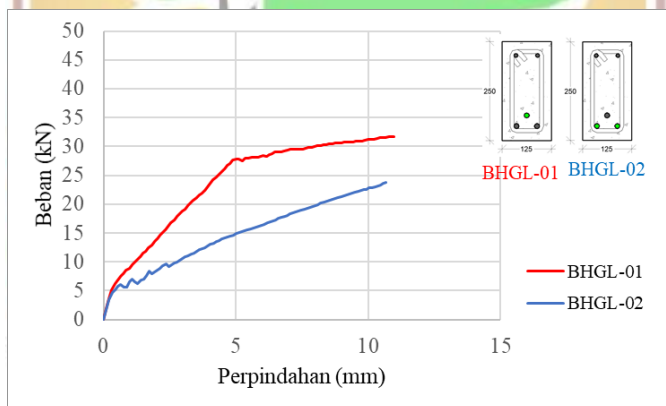


Gambar 4.29 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCGL-01 vs BCGL-02

Pada **Gambar 4.27**, **Gambar 4.28**, dan **Gambar 4.27** terlihat bahwa nilai retak pertama terjadi pada saat nilai beban sebesar 5 kN. Dan pada balok tanpa FRP yaitu pada **Gambar 4.27** nilai ultimate yaitu rata-rata sebesar 35 kN, sementara pada **Gambar 4.28** dan **Gambar 4.28** yang menggunakan FRP tidak ada nilai plastisnya.

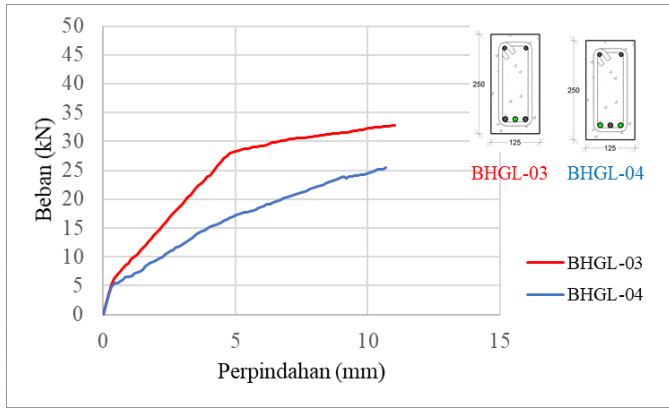
Berdasarkan hasil dari ketiga grafik tersebut, balok dengan tulangan tarik sejajar satu baris memiliki kapasitas beban yang lebih besar dibandingkan balok dengan tulangan tarik dua baris. Hal ini menunjukkan bahwasannya konfigurasi tulangan pada balok berpengaruh terhadap kapasitas balok tersebut.

4.4.2 Efek Persentase Tulangan

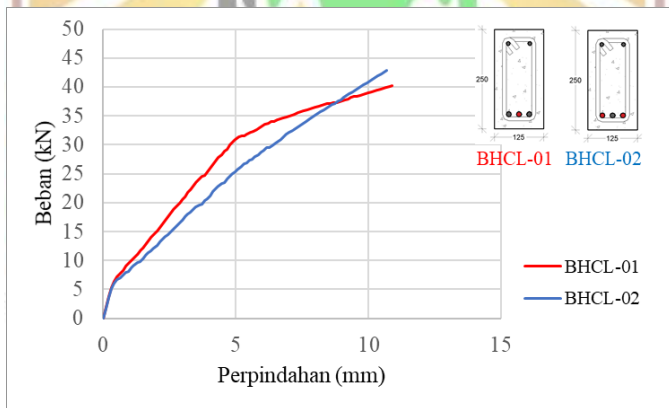


Gambar 4.30 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHGL-01 vs BHGL-

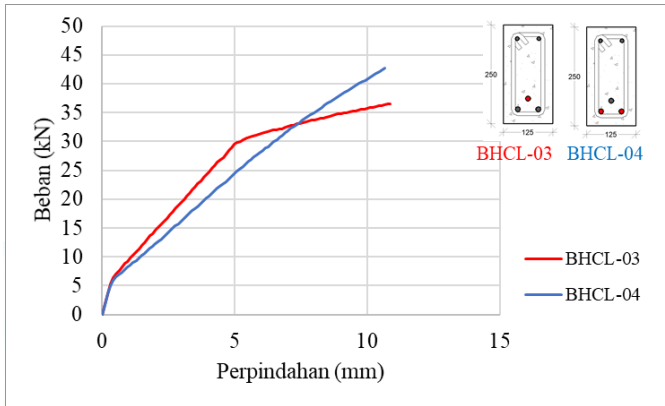
02



Gambar 4.31 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHGL-03 vs BHGL-04

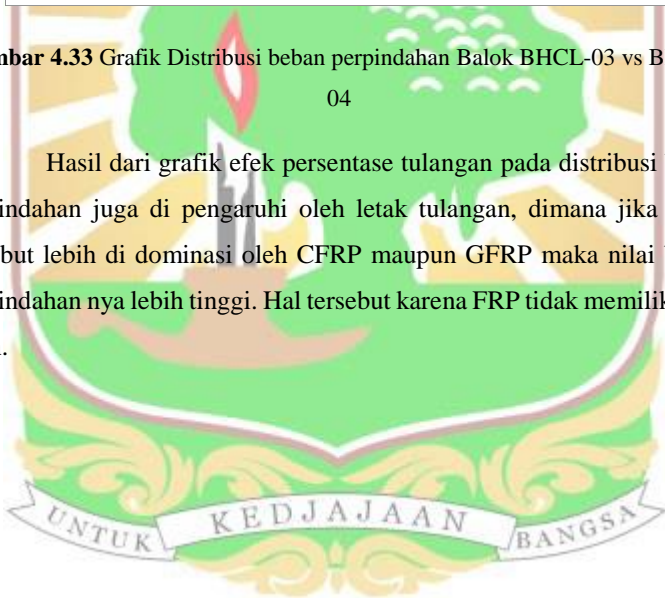


Gambar 4.32 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHCL-01 vs BHCL-02

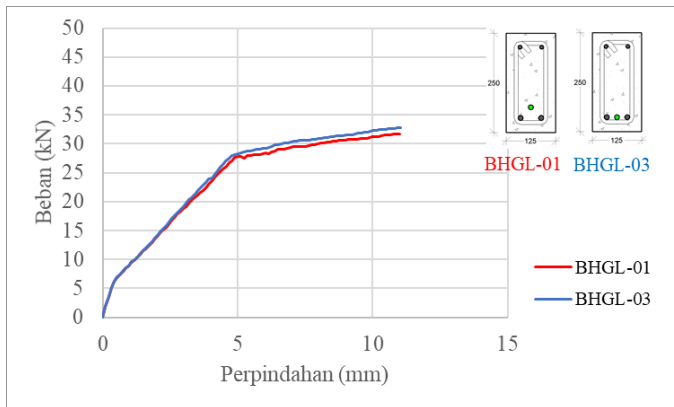


Gambar 4.33 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHCL-03 vs BHCL-04

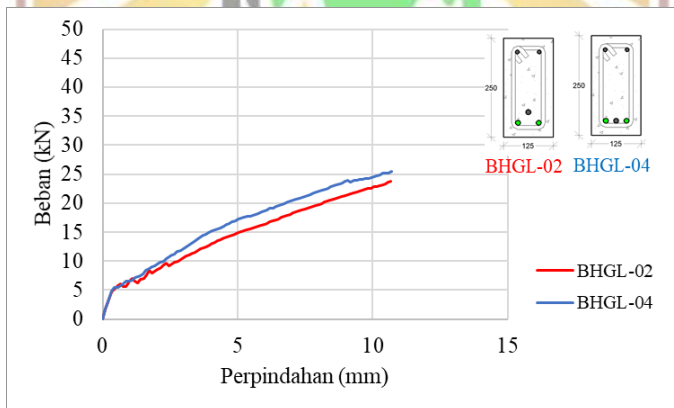
Hasil dari grafik efek persentase tulangan pada distribusi beban perpindahan juga di pengaruhi oleh letak tulangan, dimana jika balok tersebut lebih di dominasi oleh CFRP maupun GFRP maka nilai beban perpindahan nya lebih tinggi. Hal tersebut karena FRP tidak memiliki titik leleh.



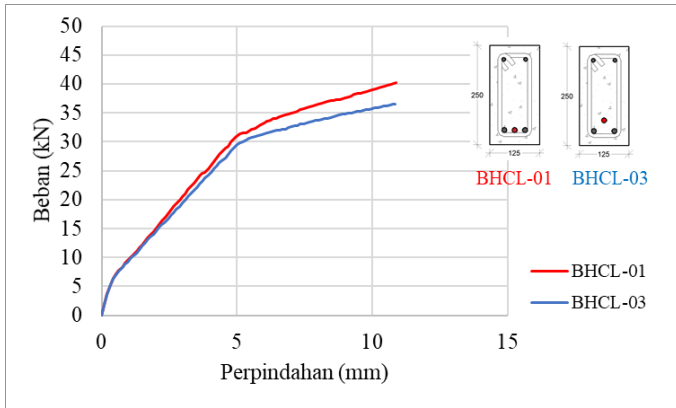
4.4.3 Efek Konfigurasi Tulangan Hybrid



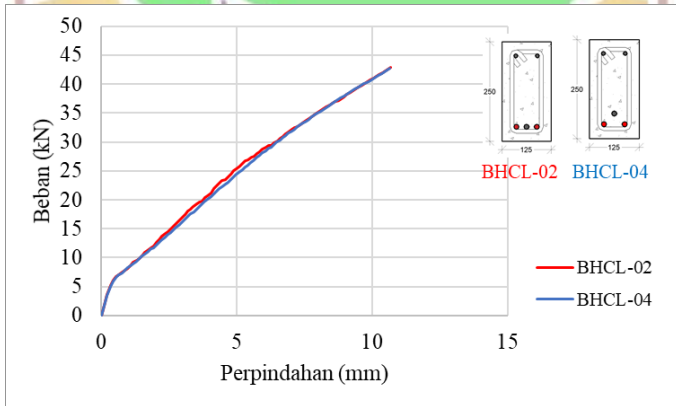
Gambar 4.34 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHGL-01 vs BHGL-03



Gambar 4.35 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHGL-02 vs BHGL-04



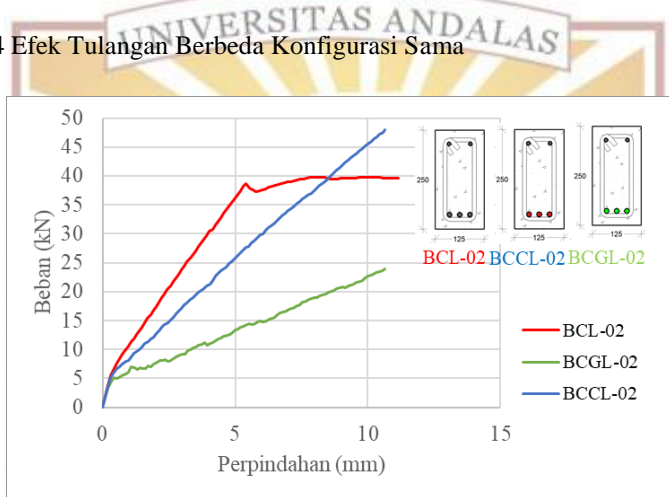
Gambar 4.36 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHCL-01 vs BHCL-03



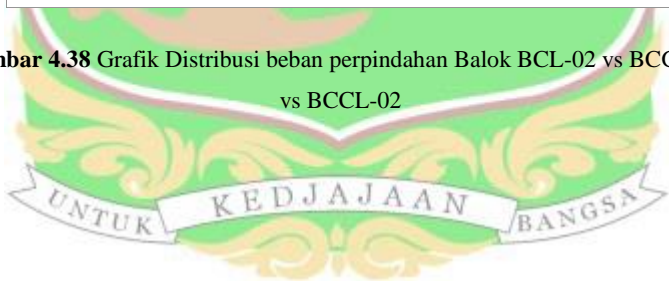
Gambar 4.37 Grafik Distribusi beban perpindahan (a) Balok BHCL-02 vs BHCL-04

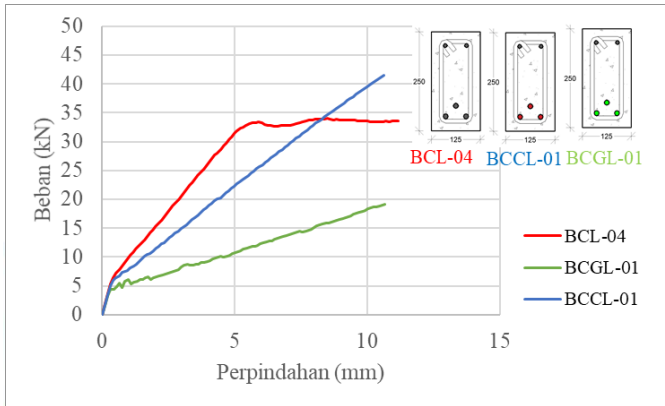
Pada efek konfigurasi tulangan *hybrid* grafik distribusi beban perpindahan yang dihasilkan yaitu balok dengan tulangan tarik sejajar memiliki kapasitas beban yang lebih besar dibandingkan dengan balok dengan tulangan dua baris. Hal tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi tulangan *hybrid* berpengaruh terhadap kapasitas beban balok tersebut.

4.4.4 Efek Tulangan Berbeda Konfigurasi Sama



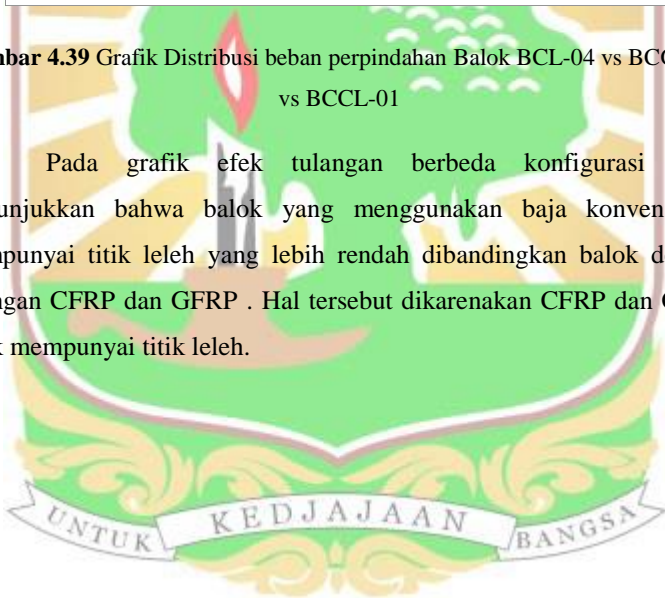
Gambar 4.38 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCL-02 vs BCGL-02 vs BCCL-02





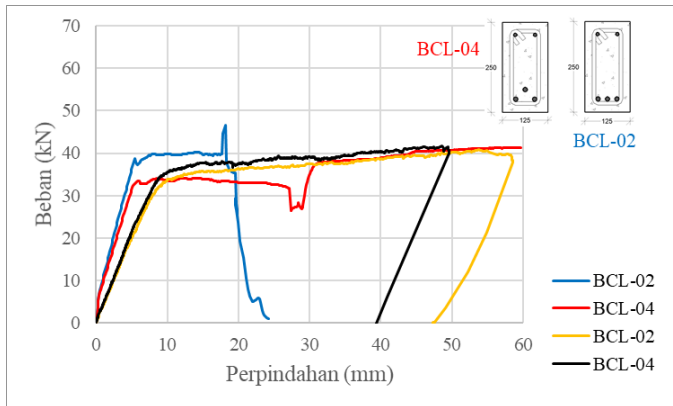
Gambar 4.39 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCL-04 vs BCGL-01 vs BCCL-01

Pada grafik efek tulangan berbeda konfigurasi sama menunjukkan bahwa balok yang menggunakan baja konvensional mempunyai titik leleh yang lebih rendah dibandingkan balok dengan tulangan CFRP dan GFRP . Hal tersebut dikarenakan CFRP dan GFRP tidak mempunyai titik leleh.

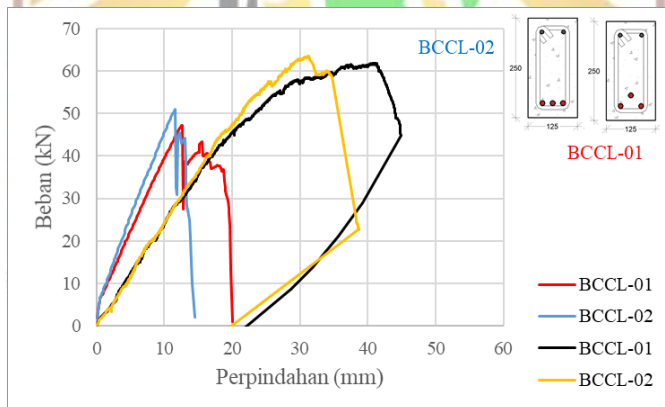


4.5 Analisa Grafik ATENA vs Eksperimental

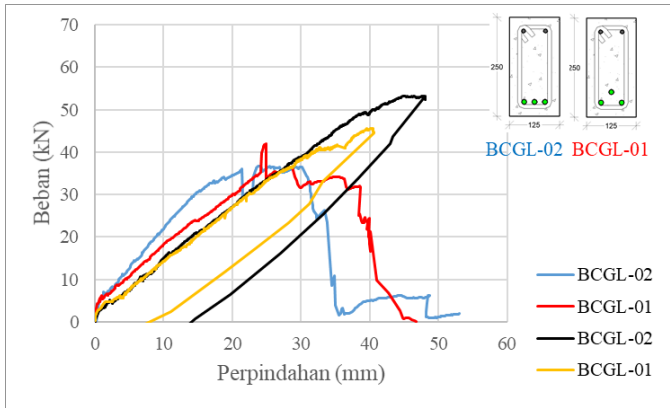
4.5.1. Efek Konfigurasi Tulangan Sejenis



Gambar 4.40 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCL-04 dan BCL-02

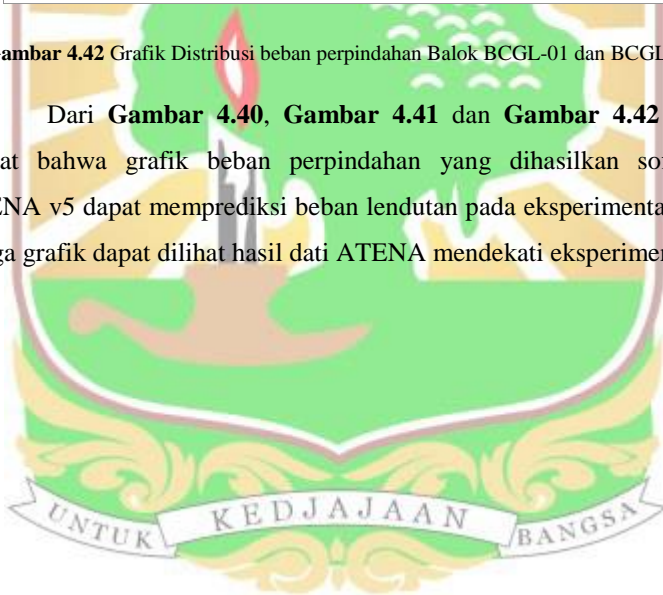


Gambar 4.41 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCCL-01 dan BCCL-02

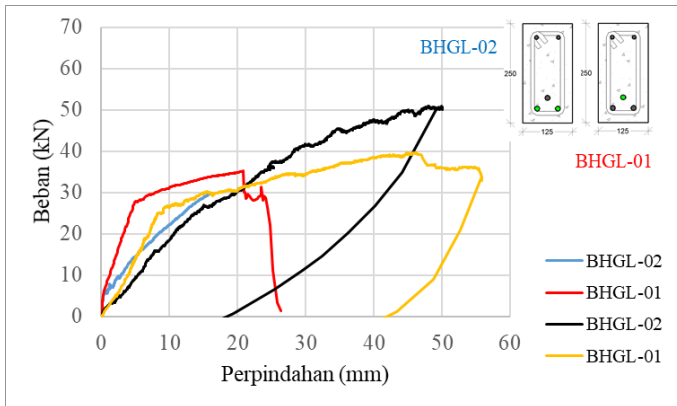


Gambar 4.42 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCGL-01 dan BCGL-02

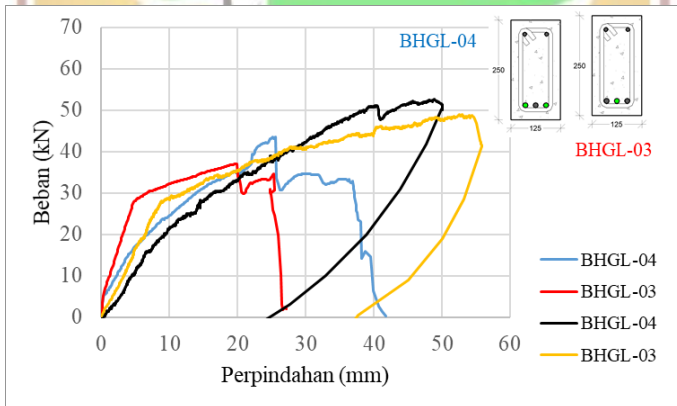
Dari **Gambar 4.40**, **Gambar 4.41** dan **Gambar 4.42** dapat dilihat bahwa grafik beban perpindahan yang dihasilkan software ATENA v5 dapat memprediksi beban lendutan pada eksperimental, dari ketiga grafik dapat dilihat hasil dari ATENA mendekati eksperimental.



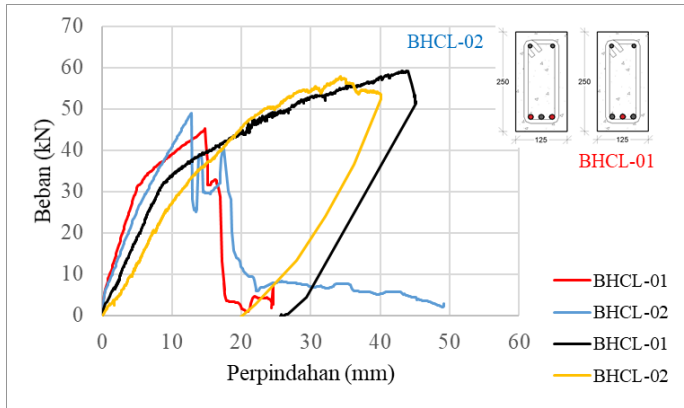
4.5.2 Efek Persentase Tulangan



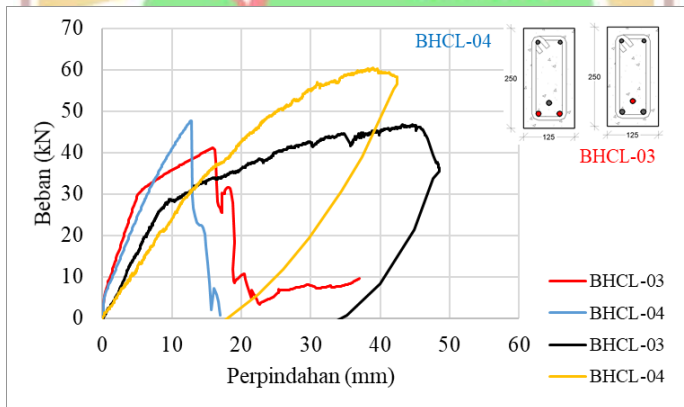
Gambar 4.43 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHGL-01 dan BHGL-02



Gambar 4.44 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHGL-04 dan BHGL-03



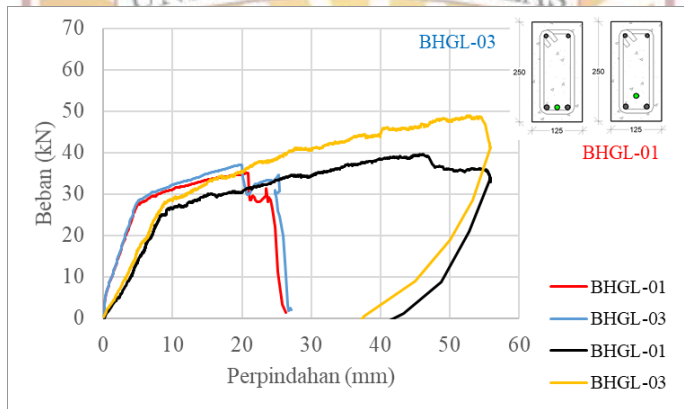
Gambar 4.45 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHCL-01 dan BHCL-02



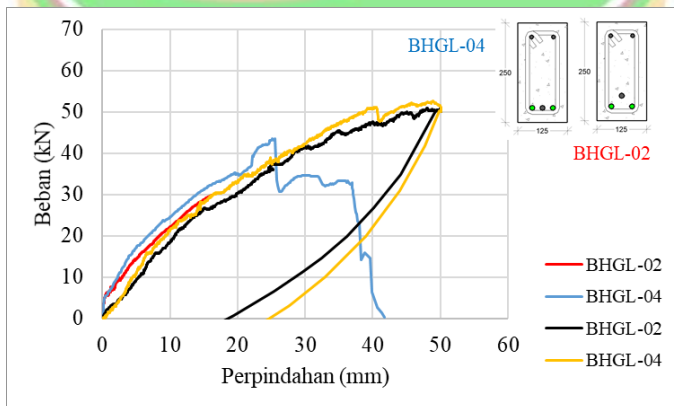
Gambar 4.46 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHCL-03 dan BHCL-04

Pada **Gambar 4.43** , **Gambar 4.44** , **Gambar 4.45** dan **Gambar 4.46** dapat dilihat bahwa grafik beban perpindahan hasil ATENA mendekati grafik dari eksperimental, hal tersebut bisa dikatakan ATENA dapat memprediksi hasil dari eksperimental.

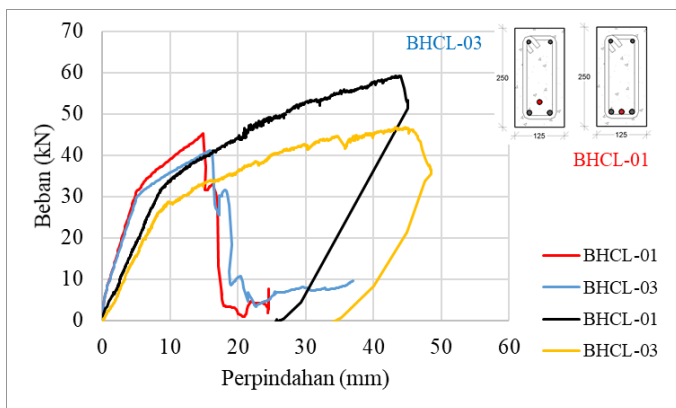
4.5.3 Efek Konfigurasi Tulangan *Hybrid*



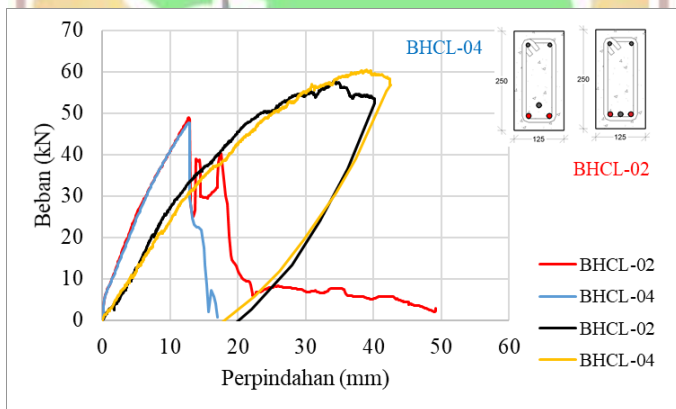
Gambar 4.47 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHGL-01 dan BHGL-03



Gambar 4.48 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHGL-02 dan BHGL-04



Gambar 4.49 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHCL-01 dan BHCL-03

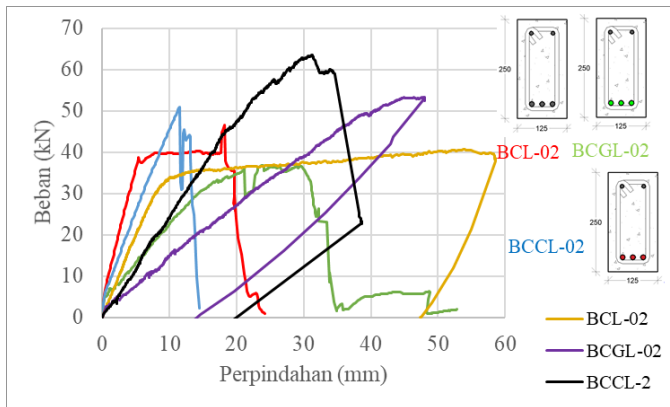


Gambar 4.50 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BHCL-02 dan BHCL-04

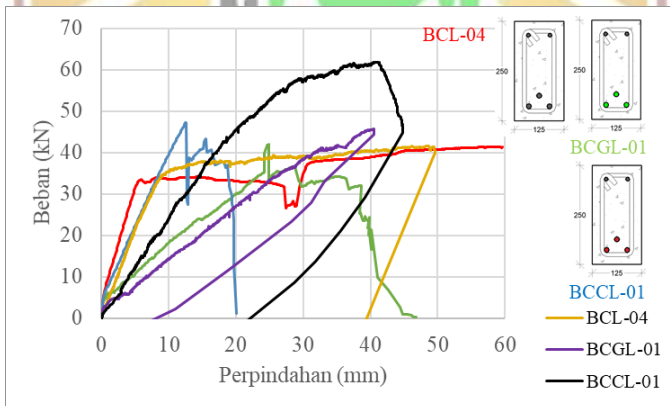
Pada **Gambar 4.47** , **Gambar 4.48** , **Gambar 4.49** dan **Gambar 4.50** menunjukkan grafik beban perpindahan yang dihasilkan ATENA hampir sama dengan grafik dari eksperimental, bias dikatakan *software* ATENA dapat memprediksi grafik hasil eksperimental.



4.5.4 Efek Tulangan Berbeda Konfigurasi Sama



Gambar 4.51 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCL-02 , BCGL-02 dan BCCL-02



Gambar 4.52 Grafik Distribusi beban perpindahan Balok BCL-04 , BCGL-01 dan BCCL-01

Pada **Gambar 4.51** dan **Gambar 4.52** dapat dilihat grafik beban perpindahan yang dihasilkan ATENA hampir sama dengan grafik yang dihasilkan eksperimental. Bisa dikatan *software* ATENA dapat memprediksi hasil dari eksperimental.



BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil analisis kapasitas geser balok beton bertulang menggunakan *software* ATENA v5 diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Grafik kapasitas tegangan di tengah bentang dan grafik kapasitas tegangan utama di bentang geser menghasilkan grafik yang berbeda beda tergantung konfigurasi dari tulangan.
2. Balok dengan tulangan 100% CFRP lebih tinggi 17,40% kapasitasnya dari balok dengan tulangan baja. Balok dengan tulangan 67% CFRP lebih tinggi 5,18% kapasitasnya dari balok dengan tulangan baja. Balok dengan tulangan 33.33% CFRP lebih tinggi 0.33% dari balok dengan tulangan baja.
3. Nilai retak yang terjadi pada setiap balok berbeda, tergantung dari titik yang di monitoring atau titik yang di tinjau, apabila titik yang di monitoting terletak di tengah bentang maka nilai retak pertama mendekati nilai V_c . Dan jika titik yang di monitoring terletak di bentang geser maka nilai retak diagonalnya mendekati nilai V_c .
4. Grafik beban geser vs perpindahan semua balok dengan *software* ATENA v5 mendekati hasil eksperimental.
5. Balok dengan tulangan hybrid CFRP-baja konvensional memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan balok dengan tulangan hybrid GFRP-baja konvensional. Hal itu karena mutu tulangan CFRP yang lebih besar dari mutu tulangan GFRP.

6. Balok yang menggunakan tulangan CFRP memiliki mutu dan kapasitas paling besar dibandingkan balok yang menggunakan tulangan GFRP maupun baja konvensional.

