

Kajian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Komposit

Dika Ananditya¹, Adri Praditya², Ir. David Widiyanto, MT³, Dr. Hermawan, ST.,MT.⁴
e-mail: dikaananditya@gmail.com¹, adripraditya@gmail.com²

Universitas Katolik Soegijapranata; Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur Semarang

Abstract

Demand for improvement of age concrete performance, durability and assessment of existing condition building with reinforced concrete structure have tendency to increase. The selection of appropriate methods taking into the economic aspects provides a rebuilt or retrofit option. Efforts that can be done in order to retrofit the beam structure, can be done in various ways, one of which is the use of chemical anchor. Repair using chemical anchor involves two elements, namely chemical HILTI HIT-RE 500 V3 and anchor. Both elements combine the existing beam with a new block to be a single composite beam. The use of HILTI HIT-RE 500 V3 can guarantee the monolithic nature of the structure components and transfer the voltage even though there is little cracking. The use of anchorage in concrete can increase the load that can be supported by 5.87% -8.91% and will increase with the length of the burial.

This study aims to study the strength of reinforced concrete bone beam that is improved by chemical anchor method. The scope used is a beam-shaped specimen measuring 15 cm x 15 cm x 60 cm, monolith beam 15 cm x 30 cm x 60 cm, anchor steel bone diameter 13 mm, 24.9 MPa concrete (K-300) and chemical anchor HILTI HIT-RE 500 V3.

The test results show that concrete composite increases the maximum acceptable load three times between 30 cm thick composite beam and 15 cm thick single beam. The maximum load of 30 cm thick monolith beam has increased by 1,5 times compared to 30 cm thick composite beam. The average maximum load that can be supported by a single 15 cm thick beam is 6.515 kg, 30 cm thick concrete monoliths 12.800 kg, and 30 cm thick concrete block is 19.267 kg.

Keywords: beam, concrete, anchor, flexure, composite

1. Pendahuluan

Permasalahan pada dunia konstruksi tidak terlepas dari kolom, balok, dan pelat lantai. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Saputra dkk., 2018 menyebutkan bahwa balok merupakan komponen struktur yang paling rentan terhadap kerusakan. Beberapa upaya untuk memperbaiki kinerja struktur pada balok beton bertulang adalah FRP, *jacketing*, dan *chemical anchor* (Rahimi dan Hutchinson, 2006; Jumaat dan Alam, 2007; Sobuz dkk., 2010; Zhang, 2012; Araújo, 2018; Shi, 2017; Al-Rifaie dkk., 2017). Berdasarkan beberapa upaya perbaikan terhadap kinerja struktur pada

balok, pada penelitian ini dikembangkan perbaikan balok beton dengan *chemical anchor*. Salah satu dasar pertimbangannya adalah perbaikan dengan *chemical anchor* diindikasikan dapat memberikan peningkatan kinerja struktur.

Untuk memperbaiki kegagalan struktur bangunan yang telah jadi khususnya pada balok dapat dilakukan dengan cara pengompositan menggunakan angkur. Menurut studi kasus yang dilakukan oleh Wibowo (2006), pengankuran pada beton akan meningkatkan beban yang mampu ditopang sebesar 5,87% dan 8,91% dan

akan semakin bertambah seiring dengan panjang pengangkuran. Dalam Katalog HILTI (2005) disebutkan bahwa chemical anchor HILTI HIT-RE 500 V3 cocok digunakan untuk penyambungan antara beton lama dan beton baru. Kelebihan produk ini adalah terjaminnya sifat monolithic dari komponen struktur dan tegangan akan dapat ditransferkan meskipun ada sedikit retak. Oleh karena itu pada penelitian ini akan terfokus pada pengangkuran beton menggunakan chemical anchor sebagai solusi perbaikan kegagalan konstruksi.

2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji kuat lentur balok beton bertulang komposit yang menggunakan angkur dan chemical anchor sebagai shear connector.

3. Tinjauan Pustaka

3.1. Beton

Beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air tanpa tambahan zat aditif (PBI 1971). Definisi lain beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002 2002). Beton yang digunakan sebagai struktur memiliki nilai f_c' minimal 17 MPa. Nilai maksimal f_c' tidak dibatasi oleh ketentuan standar tertentu (SNI 2847 2013).

3.2. Kelebihan dan Kekurangan Beton

Menurut Kourd (2010), beton memiliki beberapa faktor keunggulan dan kelemahan. Beberapa keunggulan beton antara lain:

1. Memiliki keunggulan dalam daya tahan, umur, kemampuan menyerap panas, dan sifat inertensi kimia

2. Dapat dibongkar-pasang
3. Tahan panas
4. Bahan mentah untuk produksi tersedia dengan jumlah yang besar
5. Perawatan yang mudah
6. Dapat didaur ulang

Selain itu keunggulan yang dimiliki beton sebagai struktur juga mempunyai beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan, antara lain sebagai berikut:

1. Kuat tarik rendah
2. Daktilitas rendah
3. Ketidakstabilan volume yang ditimbulkan oleh air akibat suhu dan penyerapan agregat

3.3. Bahan Penyusun Beton

Bahan utama pembentuk beton adalah agregat, semen, dan air. Untuk menyesuaikan beberapa sifat beton biasanya campuran beton diberikan bahan tambah (*admixture*). Kualitas beton yang diinginkan dapat ditentukan dari pemilihan bahan pembentuk beton yang akan digunakan, perhitungan *mix design* yang tepat, cara pengerjaan beton dan proses perawatan beton itu sendiri. Pemilihan dan dosis bahan tambah (*admixture*) juga harus disesuaikan dengan perencanaan yang ada agar mutu beton yang diinginkan tercapai.

3.4. Perawatan/Curing Beton

Beton (selain beton kekuatan awal tinggi) harus dirawat pada suhu di atas 10°C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang – kurangnya selama 7 hari setelah pengecoran (SNI 2847 2013). Setelah beton jadi maka perlu dilakukan proses perawatan/curing beton. Proses ini bertujuan agar proses panas hidrasi semen dapat berjalan dengan sempurna sehingga dapat memperoleh kuat tekan beton yang diinginkan. Dalam proses hidrasi dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu, karena apabila kondisi lingkungan kering maka daat

menyebabkan keretakan pada beton. Retaknya beton dapat menurunkan kekuatan beton, sehingga dapat menyebabkan kegagalan struktur.

3.5. Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama – sama dalam menahan gaya yang bekerja (SNI 03-2847-2002 2002). Beton polos bekerja sebagai pemikul gaya tekan karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi namun memiliki kekuatan tarik yang rendah, sedangkan baja tulangan bekerja sebagai pemikul gaya tarik yang diperlukan. Kelebihan dari masing-masing elemen tersebut (antara beton dan baja tulangan), diharapkan dapat saling bekerja bersama-sama memikul gaya-gaya yang bekerja dalam suatu struktur beton bertulang.

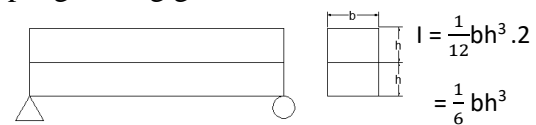
3.6. Beton Komposit

Struktur komposit adalah struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk sebuah kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik dengan memanfaatkan karakteristik masing– masing bahan secara optimal (SNI 2847-2013, 2013). Beton komposit adalah elemen beton pracetak, beton cor di tempat, atau keduanya, yang dibangun dalam pengecoran yang terpisah tetapi saling berhubungan sedemikian sehingga semua elemen merespon terhadap beban sebagai sebuah unit (SNI 2847 2013). Menurut SNI 2847 2013 dijelaskan pula bahwa penggunaan komponen struktur keseluruhan atau bagian–bagiannya untuk menahan geser dan momen yang diizinkan. Elemen–elemen individu harus diperiksa untuk semua tahapan–tahapan

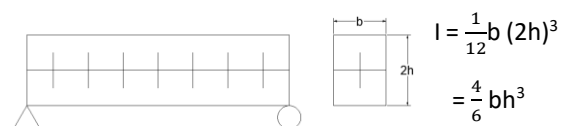
kritis pembebanan. Tulangan harus disediakan seperti yang diperlukan untuk meminimumkan retak dan untuk mencegah pemisahan elemen-elemen individu komponen komposit.

Balok komposit biasa digunakan pada konstruksi gedung dan jembatan yang berupa baja dengan lantai beton dan lantai jembatan. Untuk menghubungkan baja dengan beton balok komposit digunakan shear connectors, sehingga beton dan baja dapat bekerja sama dalam menahan beban. *Shear connectors* yang digunakan cukup kaku agar tidak terjadi slip (pergeseran) antara baja dengan beton.

Jika ditinjau dari besarnya momen inersia, balok komposit memiliki momen inersia yang lebih besar dibandingkan dengan dua balok biasa yang disusun tanpa adanya penghubung geser. Hal tersebut terjadi karena pada balok komposit, kedua balok dianggap sebagai satu kesatuan yang terhubung melalui penghubung geser.



Gambar 1. Momen Inersia Penampang Dua Balok (Sumber : Diolah dari McCormac, 2004)



Gambar 2. Momen Inersia Penampang Dua Balok Dikompositkan (Sumber : Diolah dari McCormac, 2004)

3.7. Kuat Lentur Beton

Kuat lentur balok beton adalah kemampuan balok beton pada dua perletakan untuk menahan gaya yang tegak lurus terhadap sumbu benda uji, hingga benda uji patah dan besarnya dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 4431-2011, 2011). Menurut SNI 4431-2011 benda uji

yang digunakan berupa balok dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Berdasarkan rumus perhitungan kuat lentur benda uji balok, tidak ada pengaruh antara panjang benda uji dengan nilai kuat lentur. Hal yang memengaruhi nilai kuat lentur antara lain adalah beban maksimum yang mampu diterima, jarak antar tumpuan, lebar penampang arah vertikal dan lebar penampang arah horizontal.

Rumus perhitungan kuat lentur menurut SNI-4431-2011 adalah sebagai berikut :

1. Untuk pengujian bidang patah yang terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{P \times L}{b \times h^2} \dots\dots\dots(1)$$

2. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{P \times a}{b \times h^2} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- σ adalah kuat lentur benda uji (MPa)
- P adalah beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (ton)
- L adalah jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
- b adalah lebar tampang lintang patah arah horisontal (mm)
- h adalah lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

3.8. Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan dalam struktur harus tulangan ulir, kecuali untuk tulangan spiral atau tendon dapat menggunakan tulangan polos. Tulangan yang terdiri dari profil baja struktural, pipa baja, atau tabung baja dapat digunakan sesuai dengan persyaratan (SNI 03-2847-2013, 2013).

Berdasarkan SNI 2847-2013 (2013), tulangan baja harus memenuhi salah satu syarat tersebut, namun terdapat pengecualian untuk batang tulangan dengan fy kurang dari 420 MPa, kekuatan leleh harus diambil sebesar tegangan yang berhubungan dengan regangan sebesar 0,5 persen, dan untuk batang tulangan dengan fy paling sedikit 420 MPa, kekuatan lelehnya harus diambil sebesar tegangan yang berhubungan dengan regangan sebesar 0,35 persen.

3.9. Chemical Anchor

Angkur biasanya digunakan sebagai koneksi antara struktur beton yang berbeda dan dapat digeneralisasi menjadi *cast-in place* dan *post-installed*. *Post-installed* dapat digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu mekanik, *grouted* dan *chemical* (Cook, 1993). Dengan menggunakan ankur sebagai penyambung antara struktur beton yang berbeda, maka diperlukan sebuah materi yang mengikat ankur dengan beton. Salah satu materi yang dapat digunakan sebagai pengikat adalah *chemical adhesive* atau yang disebut dengan *chemical anchor* (Bouazaoui dan Li, 2008).

Pada tahun 1960-an, *chemical anchor* sudah digunakan sebagai penyambung dan perkuatan antara pelat lantai beton dengan dek baja (Mays, 2001). Perekat seperti polyester berkekuatan tinggi, vinilester, epoksi, dan *chemical anchor* sudah mulai dikembangkan dan digunakan secara luas setelah tahun 1990-an (McVay dkk., 1996; Çolak, 2007; Peier, 1983). Beberapa studi

terdahulu mengatakan bahwa banyak faktor yang dapat memengaruhi kekuatan *chemical anchor*. Faktor-faktor tersebut antara lain ketebalan *adhesive*, kedalaman lubang, diameter batang angkur, mutu baja, jarak bebas terhadap sudut dan jarak antar angkur. (McVay dkk., 1996; Çolak, 2001; Gesoglu dkk., 2005; Cook dkk., 1992; Obata dkk., 1998)

3.10. Shear Connector

Dalam pengompositan material, khususnya beton diperlukan sebuah benda yang disebut *shear connector*. *Shear connector* berfungsi sebagai penyalur gaya geser ke struktur dan juga sebagai penghubung antara berbagai jenis material beton komposit supaya tidak terjadi pemisahan antar material pada saat mendapatkan beban (Tumimomor, 2016). *Shear connector* akan mengakibatkan beton komposit dapat bekerja sama satu dengan lainnya. Hal ini akan mengakibatkan kekakuan struktur yang didukung juga dengan kekuatan dari *shear connector* yang terpasang.

Berdasarkan SNI 1729-2002 (2002) seluruh gaya geser horizontal pada bidang kontak beton dengan baja harus disalurkan menggunakan penghubung geser. Penggunaan untuk aksi komposit di mana beton mengalami gaya tekan akibat lentur, gaya geser horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen positif maksimum dan momen nol yang berdekatan, harus diambil sebagai nilai terkecil diantara $A_s.f_y, 0,85.f_c'.A_c$ atau ΣQ_n . Jika besarnya gaya geser horizontal (V_h) ditentukan oleh $A_s.f_y$ atau $0,85.f_c'.A_c$, maka yang terjadi adalah perilaku aksi komposit penuh, dan jumlah penghubung geser yang diperlukan adalah :

$$N_1 = \frac{V_h}{Q_n} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan Q_n adalah kuat geser nominal satu buah penghubung geser. Jenis

penghubung geser yang dipersyaratkan dalam SNI 1729-2002 adalah berupa paku berkepala (stud) dengan panjang dalam kondisi terpasang tidak kurang dari empat kali diameternya. Kuat nominal penghubung geser jenis paku yang ditanam di dalam pelat beton masif yaitu

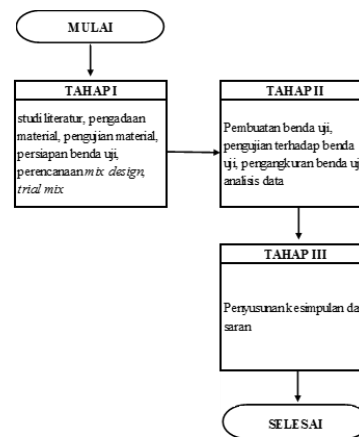
$$Q_n = 0,5.A_{sc}\sqrt{f_c'.E_c} \leq A_{sc}.f_u \dots \dots (4)$$

Keterangan :

- A_{sc} adalah luas penampang penghubung geser jenis paku (mm^2)
- f_u adalah tegangan putus penghubung geser jenis paku (MPa)
- Q_n adalah kuat geser nominal untuk penghubung geser (N)

4. Metode Penelitian

Terdapat tiga tahapan yang digunakan pada penelitian ini. Berikut merupakan bagan alir untuk memperjelas tahapan penelitian yang dapat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Tahapan Penelitian

5. Analisis Data dan Pembahasan

5.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine* didapatkan beban maksimum yaitu pada saat benda uji mengalami keruntuhan akibat menerima pembebanan (P_{max}). Berikut merupakan

tahap perhitungan hasil pengujian kuat tekan.

1. Perhitungan luas penampang benda uji silinder (A)

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 150^2 \\ &= 17671,46 \text{ mm}^2 \\ &= 176,7146 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Keterangan :

A = luas penampang benda uji (cm²)

π = konstanta (3,1416)

D = diameter benda uji silinder (mm)

2. Perhitungan kuat tekan benda uji silinder

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{gaya tekan maksimum (kN)} \times 100}{A} \\ &= \frac{640 \times 100}{176,71} \\ &= 362,18 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

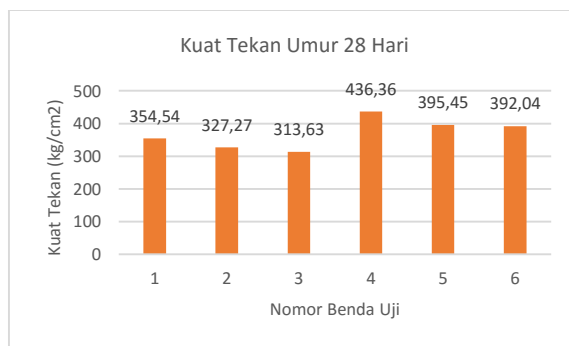
Dengan pengertian 100 merupakan faktor pengkonversi dari kN ke kg.

3. Pengkonversian kuat tekan benda uji silinder ke benda uji kubus

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{kuat tekan benda uji silinder}}{0,83} \\ &= \frac{362,18}{0,83} \\ &= 436,86 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan pengertian 0,83 merupakan faktor pengkonversi dari silinder ke kubus.

Hasil pengujian kuat tekan dapat diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Pada Gambar 4 dapat diperlihatkan bahwa keseluruhan benda uji memiliki mutu di atas K-300. Kuat tekan terbesar adalah 436,36 kg/cm², dan kuat tekan

terkecil adalah 327,27 kg/cm². Rata-rata kuat tekan dari hasil pengujian adalah 346,02 kg/cm².

5.2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang 15 cm x 15 cm x 60 cm

Hasil pengujian kuat lentur yang dilakukan didapatkan beban maksimum yaitu pada saat benda uji mengalami keruntuhan akibat menerima pembebanan (Pmax). Tahap perhitungan hasil pengujian kuat lentur adalah sebagai berikut:

1. Mengkonversi gaya tekan yang didapat dari KN ke kg (1 KN = 100 kg).
2. Mencari nilai kuat lentur (*Modulus of Rupture*).

Diketahui:

Beban lentur (P) = 70,30 KN = 7.030 kg

Panjang bentang antar 2 tumpuan (L) = 45 cm

Lebar balok (b) = 15 cm

Tinggi balok (h) = 15 cm

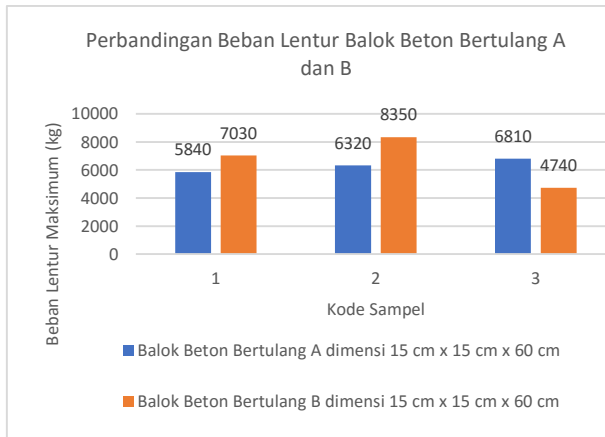
Modulus of Rupture (σ_{MR})

$$= (P \times L) / (b \times h^2)$$

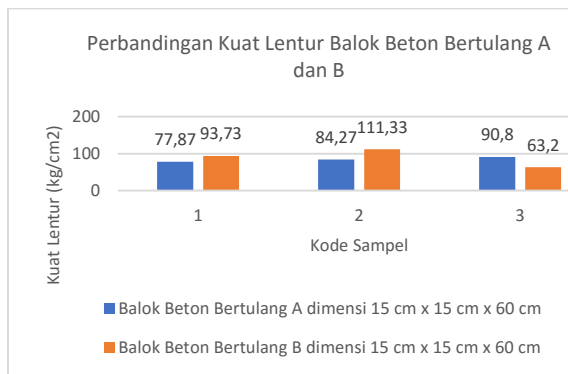
$$= (7.030 \times 45) / (15 \times 15^2)$$

$$= 93,73 \text{ kg/cm}^2$$

Hasil pengujian beban lentur balok beton bertulang lama (A) dan baru (B) dapat diperlihatkan pada Gambar 5. Hasil pengujian kuat lentur balok beton A dan B dapat diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Perbandingan Beban Lentur Balok Beton Bertulang A dan B



Gambar 6. Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang A dan B

Berdasarkan Gambar 5 hasil pengujian nilai rata-rata beban lentur balok beton bertulang A dan B ukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Beban Lentur A} &= \frac{P_1+P_2+P_3}{3} \\ &= \frac{5840+6320+6810}{3} \\ &= 6.323,33 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Beban Lentur B} &= \frac{P_1+P_2+P_3}{3} \\ &= \frac{7030+8350+4740}{3} \\ &= 6.707 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 6 hasil pengujian nilai rata-rata kuat lentur balok beton bertulang A dan B ukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Kuat Lentur A} &= \frac{\sigma_{MR1}+\sigma_{MR2}+\sigma_{MR3}}{3} \\ &= \frac{77,87+84,27+90,80}{3} \\ &= 84,31 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Kuat Lentur B} &= \frac{\sigma_{MR1}+\sigma_{MR2}+\sigma_{MR3}}{3} \\ &= \frac{93,73+111,33+63,20}{3} \\ &= 89,42 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

5.3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Monolit dan Komposit 15 cm x 30 cm x 60 cm

Hasil pengujian kuat lentur yang dilakukan didapatkan beban maksimum yaitu pada saat benda uji mengalami keruntuhan akibat menerima pembebanan (Pmax). Tahap perhitungan hasil pengujian kuat lentur adalah sebagai berikut:

1. Mengkonversi gaya tekan yang didapat dari KN ke kg (1 KN = 100 kg).
2. Mencari nilai kuat lentur (*Modulus of Rupture*).

Diketahui:

Beban lentur (P) = 127 KN = 12.700 kg
Panjang bentang antar 2 tumpuan (L) = 45 cm

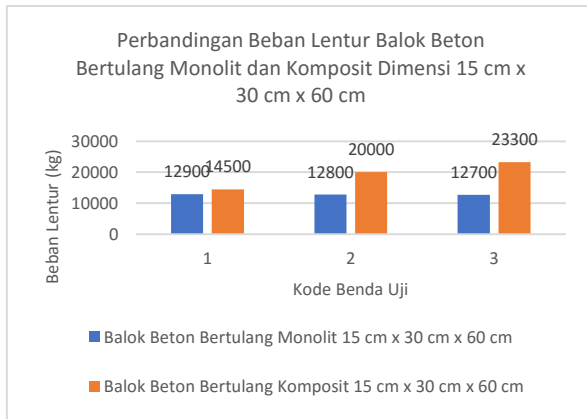
Lebar balok (b) = 15 cm

Tinggi balok (h) = 30 cm

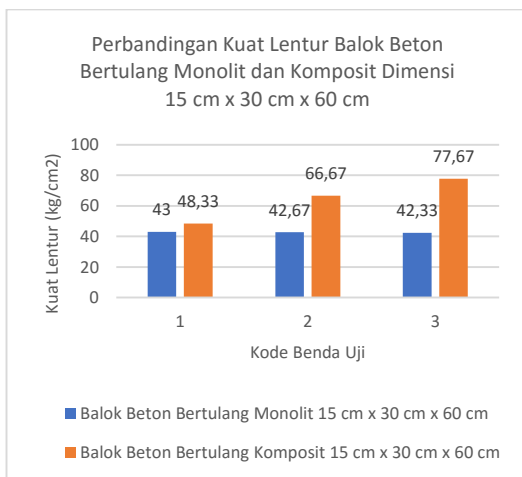
Modulus of Rupture (σ_{MR})

$$\begin{aligned} &= (P \times L) / (b \times h^2) \\ &= (12.700 \times 45) / (15 \times 30^2) \\ &= 42,33 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Hasil pengujian beban lentur balok beton bertulang monolit dan komposit dapat diperlihatkan pada Gambar 7. Hasil pengujian kuat lentur balok beton bertulang monolit dan komposit dapat diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Perbandingan Beban Lentur Balok Beton Bertulang Monolit dan Komposit



Gambar 8. Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Monolit dan Komposit

Berdasarkan Gambar 7 hasil pengujian nilai rata-rata beban lentur balok beton bertulang monolit dan komposit ukuran 15 cm × 30 cm × 60 cm adalah sebagai berikut:

Rata-Rata Beban Lentur Monolit

$$= \frac{P_1+P_2+P_3}{3}$$

$$= \frac{12900+12800+12700}{3}$$

$$= 12.800 \text{ kg}$$

Rata-Rata Beban Lentur Komposit

$$= \frac{P_1+P_2+P_3}{3}$$

$$= \frac{14500+20000+23300}{3}$$

$$= 19.267 \text{ kg}$$

Berdasarkan Gambar 8 hasil pengujian nilai rata-rata kuat lentur balok beton bertulang monolit dan komposit ukuran 15 cm × 30 cm × 60 cm adalah sebagai berikut:

Rata-Rata Kuat Lentur Monolit

$$= \frac{\sigma_{MR1}+\sigma_{MR2}+\sigma_{MR3}}{3}$$

$$= \frac{43+42,67+42,33}{3}$$

$$= 42,67 \text{ kg/cm}^2$$

Rata-Rata Kuat Lentur Komposit

$$= \frac{\sigma_{MR1}+\sigma_{MR2}+\sigma_{MR3}}{3}$$

$$= \frac{48,33+66,67+77,67}{3}$$

$$= 64,22 \text{ kg/cm}^2$$

5.4. Pola Retak Balok

Berdasarkan hasil pengujian mendapatkan hasil bahwa retakan terjadi pada tengah bentang sepanjang sepertiga bentang. Pengujian pada semua benda uji balok menghasilkan pola retak yang seragam pada bagian tengah bentang, sehingga dapat dikatakan pola retak yang terjadi merupakan pola retak lentur.



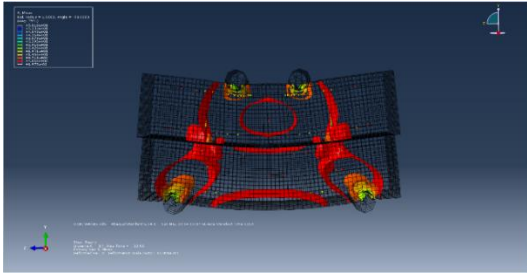
Gambar 9. Pola Retak Balok

Berdasarkan pola retak yang terjadi, perilaku balok beton yang dikompositkan menggunakan *chemical anchor* sama dengan balok beton normal. Hal tersebut dibuktikan dengan terjadinya keruntuhan lentur yang sama antara balok beton komposit dengan balok beton normal. Pola retak yang terjadi hanya pada tengah bentang membuktikan bahwa angkur

dengan *chemical anchor* yang digunakan sebagai *shear connector* berfungsi maksimal untuk menahan gaya geser.

5.5. Penyaluran Gaya pada Balok Beton Bertulang Komposit

Permodelan ulang menggunakan *software* abaqus dapat memudahkan untuk melihat penyaluran gaya pada balok beton bertulang komposit.



Gambar 10. Penyaluran Gaya pada Balok Beton Bertulang Komposit

Berdasarkan Gambar 10 dapat diketahui bahwa distribusi gaya lentur pada balok menyebar pada penyalur beban yang terletak pada bagian atas, selanjutnya menyebar pada dua buah angkur kiri dan kanan kemudian menyebar ke dua buah tumpuan balok beton komposit. Distribusi gaya lentur tersebut sesuai dengan perhitungan teoritis yang menyatakan bahwa angkur kiri dan kanan menahan gaya lentur yang besar. Sementara itu angkur tengah tidak menahan gaya lentur tetapi hanya menahan berat sendiri balok beton komposit yang relatif kecil jika dibandingkan dengan gaya lentur balok beton komposit.

6. Penutup

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai balok beton komposit:

1. Nilai rata-rata beban lentur maksimum benda uji Balok Beton A berdimensi $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ adalah 6.323 kg. Nilai rata-rata beban lentur maksimum benda uji Balok Beton B

berdimensi $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ adalah 6.707 kg.

2. Nilai rata-rata kuat lentur Balok Beton A berdimensi $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ adalah 84,31 kg/cm². Nilai rata-rata kuat lentur Balok Beton B berdimensi $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ adalah 89,42 kg/cm².
3. Nilai rata-rata beban lentur maksimum benda uji Balok Beton Monolit berdimensi $15\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ adalah 12.800 kg dan nilai rata-rata kuat lentur adalah sebesar 42,67 kg/cm².
4. Nilai rata-rata beban lentur maksimum benda uji Balok Beton Komposit berdimensi $15\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ adalah 19.267 kg dan nilai rata-rata kuat lentur adalah sebesar 64,22 kg/cm².
5. Peningkatan beban lentur maksimum yang mampu diterima Balok Beton Komposit dibandingkan dengan Balok Beton Monolit berkisar satu setengah kali lipat dari rata – rata 12.800 kg menjadi 19.267 kg.
6. Keseluruhan benda uji yang telah dilakukan pengujian mengalami keretakan yang terjadi pada tengah bentang. Pada pengujian Balok Beton Komposit membuktikan bahwa angkur dengan *chemical anchor* yang digunakan sebagai *shear connector* berfungsi maksimal untuk menahan gaya geser.

6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengompositan balok dapat dilakukan sebagai pilihan dalam perbaikan dan perkuatan sktruktur.
2. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk melengkapi penelitian ini. Penelitian selanjutnya dapat memberikan variasi dalam berbagai hal seperti penggunaan lem beton,

diameter angkur yang lebih besar, panjang benda uji yang berbeda, dan lain-lain.

3. Penambahan jumlah *shear connector* pada daerah tumpuan yang terkena gaya geser diperlukan untuk menopang besarnya gaya geser.

7. Daftar Pustaka

- Al-Rifaie, W. N., Ismaeel, N. N., dan Riyad, H. (2017): Rehabilitation of Damaged Reinforced Concrete Beams. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, **14** (6), 58-70.
- Araújo, D.A. (2018): *Cracks Repair in Reinforced Concrete Structures Case Study-Reinforced Concrete Tunnel Repair*. Master Dissertation. Tecnico Lisboa. Lisbon.
- Bouazaoui, L, dan Li, A. (2008): Analysis of steel/concrete interfacial shear stress by means of pull out test. *Int J Adhesion Adhesives*, **28**:101–8.
- Çolak, A. (2001): Parametric study of factors affecting the pull-out strength of steel bars bonded into precast concrete panel. *Int J Adhesion Adhesives*, **21**:487–93.
- Çolak, A. (2007): Estimation of ultimate tension load of methylmethacrylate bonded steel bars into concrete. *Int J Adhesion Adhesives*, **27**:653–60.
- Cook, R. A. (1993): Behavior of chemically bonded anchors. *ASCE Journal Structure Engineering*, **119** (9):2744–62.
- Cook, R.A., Collins, D. M., Klingner, R. E., dan Polyzois, D. (1992): Load-deflection behavior of cast-in-place and retrofit concrete anchors. *ACI Structure Journal*, **89** (6):639–49.
- Gesoglu, M., Özturan, T., Özel, M., dan Güneyisi, E. (2005): Tensile behavior of post-installed anchors in plain and steel fiber-reinforced normal – and high strength concretes. *ACI Structure Journal*, **102** (2):224–31.
- Jumaat, M. Z. dan Alam, M. A. (2007): Plate Bonded Strengthened R.C. Beams With End and Intermediate Anchors. *International Journal of Engineering and Technology*, **4** (2), 185-193.
- Katalog HILTI. (2005): *Fastening Technology Manual*. Hilti, 348.
- Kourd, A. A., dan Hammad, A. (2010): *Cement and Concrete Technology*. Islamic University of Gaza, 1–155.
- Mays, G. C. (2001): Performance requirements for structural adhesives in relation to concrete strengthening. *Int J Adhesion Adhesives* **21** (5):423–9.
- McCormac, J. C. (2004): *Desain Beton Bertulang*. Jakarta, Erlangga.
- McVay, M., Cook, R. A., dan Krishnamurthy, K. (1996): Pullout simulation of postinstalled chemically bonded anchors. *Journal Structure Engineering*, **122** (9):1016–24.
- Obata, M., Inoue, M., dan Goto, Y. (1998): The failure mechanism and the pull-out strength of a bond-type anchor near a free edge. *Mech Mater*, **28**:113–22.
- Peier, W.H. (1983): Model for pullout strength of anchors in concrete. *Journal Structure Engineering, Am Soc Civil Eng ASCE*, **109** (5):1155–73.
- Peraturan Beton Indonesia. (1971): *Pendjelasan & Pembahasan Mengenai PERATURAN BETON INDONESIA 1971*. Bandung, Badan Standardisasi Indonesia.
- Rahimi, H. dan Hutchinson, A. (2006): Concrete Beams Strengthened With Externally Bonded FRP Plates. Diunduh melalui situs internet <http://www.egr.msu.edu/firestruct/Fire%20Research%20PhD/2001%20Concrete%20Beams%20Str%20with%20Externally%20Bonded%20FRP>

- P%20Plates%20by%20Hamid%20Rahimi.pdf, pada 7 Maret 2018 pukul 06:00 WIB.
- Saputra, A.G., Taran, R., Sudjarwo, P., dan Buntoro, J. (2018): Diunduh melalui situs internet: <https://media.neliti.com/media/publications/80324-ID-identifikasi-penyebab-kerusakan-pada-bet.pdf>; pada 2 Februari 2018 pukul 19:45 WIB; *Identifikasi Penyebab Kerusakan Pada Beton Dan Pencegahannya*, 1–7.
- Shi, J. (2017): Analysis on Fire Resistance Performance of New Chemical Bar-planting Concrete Anchorage Connection. The Italian Association of Chemical Engineering Vol. 62. SNI 1729-2002. (2002): *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Departemen Perhubungan Umum.
- SNI 2847-2002. (2002): *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung, Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 251.
- SNI 2847-2013. (2013): *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Bandung, Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 1–265.
- SNI 4431-2011. (2011): *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*. Bandung, Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Sobuz, H. R., Ahmed, E., Uddin, M. A., Sadiqu, N. M., Hasan dan Uddin, M.J. (2010): Structural Strengthening of RC Beams Externally Bonded with Different CFRP Laminates Configurations. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, **39** (1), 33-47.
- Tumimomor, M. E. (2016): Analisis Penghubung Geser (*Shear Connector*) Pada Balok Baja Dan Pelat Beton: Jurnal Sipil Statik **4** (8) Agustus 2016, 461-470.
- Wibowo, N. (2006): *Sambungan Pada Rangka Batang Beton Pracetak*. **7** (1), 80–96.
- Zhang, Y. (2012): Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Beams. Honors Thesis, Ohio State University.