

# PERILAKU LENTUR PADA BALOK BETON SERAT BESI BERLUBANG MENERUS DI DAERAH TARIK

Erlina Prasetyawati<sup>1,\*</sup>, Mochamad Solikin<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Magister Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani, Pabelan, Kartasura, Surakarta 57162

<sup>\*</sup>Email : erlinaprasetyawati@gmail.com

## **Abstract**

Concrete beams that receive a positive bending force, at the top will experience a compressive force while at the bottom receive a tensile force. The theory that reinforced concrete is a structural system where the steel or reinforcement in the concrete functions to withstand tension, then the concrete below the neutral line does not receive a compressive force but transmits a tensile force to the reinforcement. This study analyzes and reduces the area in the tensile area by continuously installing 2 inch diameter PVC pipes and adding fiber to the concrete. This reduction in area is expected to reduce weight and material savings without reducing its strength. This research was carried out with a sample of 28 days old concrete blocks with quality  $f'_c = 21.04$  MPa with dimensions of 12 cm x 18 cm x 250 cm, with 4Ø10 mm reinforcement with quality  $f_y = 450$  MPa. Concrete beams are made in 3 variations in the form of solid beams, hollow beams without fiber, hollow beams with fiber. Each variation has 2 samples. From the test results, all beams experienced flexural cracks which were characterized by cracks perpendicular to the beam axis and flexural strength behavior which the difference was not significant. From the three variations of this beam, it shows that the results of the hollow beam with the addition of fiber have a greater first crack load. The addition of fiber is able to slow down the cracks that occur and contribute to withstand tensile stresses so that the beam still has strength to bear the load even though cracks have occurred. Based on the calculation simulation, in order to equalize the strength of the hollow beam with fiber, the dimensions of the solid beam need to be enlarged so that the solid beam becomes more expensive. This shows that hollow beams with fiber are more economical than solid beams.

**Kata kunci :** fiber block with holes, tensile area

## **PENDAHULUAN**

Pembangunan infrastruktur saat ini mengalami perkembangan yang begitu pesat, khususnya dibidang konstruksi. Salah satu bahan konstruksi yang paling banyak dijumpai adalah beton dimana mengingat fungsinya beton merupakan salah satu elemen pembentuk yang paling banyak digunakan. Beton mempunyai

kelebihan diantaranya kemampuan kuat tekan yang tinggi, kemudahan pengerjaan (*workability*), tahan terhadap korosi, dan biaya perawatan lebih murah. Menurut Mulyono (2004), beton mempunyai beberapa kelebihan yaitu mampu memikul beban yang berat, cenderung mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, tahan terhadap temperatur

yang tinggi dan biaya perawatan yang murah. Kekurangan pada beton yaitu sulit untuk diubah saat beton sudah dibentuk, pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi dan beton dianggap tidak mampu untuk menahan gaya tarik sehingga perlu ditambahkan baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.

Tjokrodinuljo (1996) mendefinisikan beton serat merupakan beton yang pembuatannya ditambahkan dengan serat (*fiber*) kedalam campurannya agar dapat mereduksi retak-retak yang mungkin timbul akibat perubahan cuaca sehingga beton menjadi lebih daktil. Pada umumnya serat (*fiber*) dapat berupa batang-batang dengan diameter antara 5 dan 500 mikro meter dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm dan dapat berupa serat asbestos, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja.

Menurut Tjokrodinuljo (1996), mengingat kuat tarik beton yang sangat rendah, penambahan serat dalam beton ini dimaksudkan untuk menambah kuat tarik beton, Kuat tarik beton yang sangat rendah mengakibatkan beton sangat mudah retak, yang pada akhirnya mengurangi keawetan pada beton. Dengan adanya serat beton menjadi lebih tahan retak, dan beton menjadi lebih daktil.

Soroushian and Bayazi (1987), menyatakan bahwa dalam beberapa sifat strukturnya beton serat mempunyai kelebihan dibandingkan dengan beton tanpa serat yaitu ketahanan (*ductility*) kuat tarik dan lentur

(*tensile and flexural strength*), ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*), kelelahan (*fatigue life*), ketahanan terhadap susut (*shrinkage*) dan ketahanan terhadap keausan (*abrasion*).

Balok merupakan bagian dari struktur yang mempunyai fungsi sebagai penyalur momen pada struktur di bawahnya, karena fungsi utama bangunan bawah adalah memikul beban pada bangunan atas dan beban sendiri untuk didistribusikan ke pondasi dan selanjutnya beban tersebut disalurkan ke tanah (DPU,1988). Kuat tekan yang cukup tinggi jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang memiliki kuat tarik tinggi dapat menjadi satu kesatuan struktur yang tahan tekan dan tahan tarik. Sifat khas beton konvensional adalah memiliki kuat tekan yang sangat tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya maka sebagai penyeimbang pada bagian di bawah garis netral yang fungsinya menahan tarik, sedangkan bagian atas yang menahan tekan tetap ditahan oleh beton (Asroni,2017).

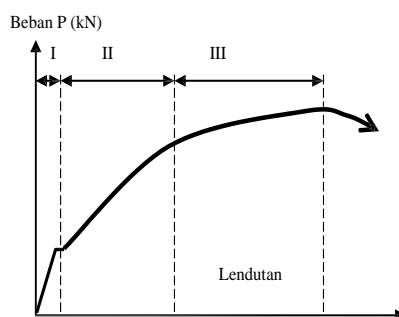
Pada penelitian Balagi dan Vetturarasudharsanan (2019), Jumlah lubang atau banyaknya pengurangan terhadap luasan pada balok beton berpengaruh terhadap perilaku pola retaknya, kuat lentur, dan defleksi yang terjadi pada balok. Balok yang diuji berdimensi 1200 x 150 x 200 mm dengan variasi balok balok padat tanpa lubang, balok beton berlubang tunggal dan ganda dari pipa PVC dan balok beton berlubang tunggal dan ganda dari pipa besi Galvanis (pipa GI). Pola retak pertama dibentuk sekitar 37,2 –

48,1 % dari beban ultimate dan kuat lentur balok dengan lubang tunggal lebih besar dibandingkan dengan balok berlubang ganda sedangkan untuk lendutan yang terjadi pada balok berlubang ganda baik dari pipa PVC dan pipa besi Galvanis (pipa GI) lebih besar dari pada balok beton berlubang tunggal baik dengan pipa PVC maupun pipa Galvanis (pipa GI). Pengurangan luasan pada balok dengan lubang dari PVC dengan menambahkan serat akan mempengaruhi perilaku kuat lentur

pada balok. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kuat lentur, pola retak, kontribusi serat pada balok berlubang dan memberikan rekomendasi yang lebih baik dalam berinovasi.

### METODE PENELITIAN

Menurut Nawy (2003), pada dasarnya beban defleksi balok beton bertulang dapat diidealkan menjadi bentuk trilinear sebelum terjadi rupture seperti pada Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Hubungan beban – defleksi pada balok (Nawy, 2003)

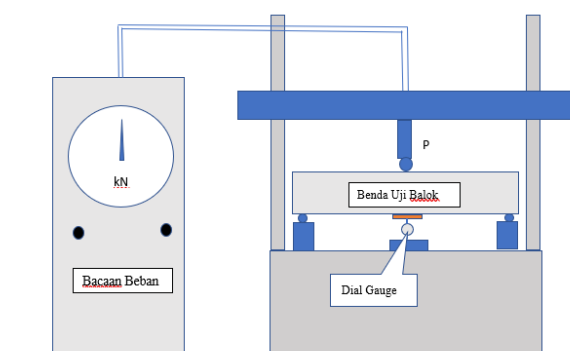
Garis lurus pada segmen kurva beban-defleksi memperlihatkan perilaku elastis jenuh kemudian di daerah II, taraf beban pascaretak, batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik lebar maupun distribusinya. Daerah III taraf retak *pascapascaretak*, tegangan pada tulangan tarik mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban-defleksi jauh lebih datar dibanding daerah sebelumnya diakibatkan hilangnya kekuatan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang.

Beton yang digunakan pada penelitian ini mempunyai  $f'_c = 21,4$  MPa masa *curing* 28 hari dengan

penambahan serat besi sebanyak 0,75%. PVC dengan diameter 2 inch dan panjang 2,5 m digunakan sebagai lubang menerus pada balok. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan 3 buah sampel silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sebelum dilakukan pengujian, sampel ditimbang terlebih dahulu, sehingga diketahui beton termasuk dalam kategori beton berat, sedang atau normal. (SNI, 2002). Selanjutnya dilakukan pengujian lendutan pada 6 sampel balok dengan dimensi 12 cm x 18 cm x 250 cm. Sampel terdiri dari dua sampel balok pejal, dua sampel balok berlubang tanpa serat, dan 2 sampel balok berlubang dengan serat. Balok diuji

dengan dengan satu titik pembebanan menggunakan dongkrak hidrolik. Tiga alat pengukur dial digunakan untuk mengukur defleksi balok. Dial pertama terpasang di tengah bentang balok dan dua dial lainnya berada di bawah titik tumpuan yang berjarak 50 cm dari ujung. Pada tengah bentang diletakkan

pipa besi sebagai beban garis yang kemudian diberikan beban secara bertahap atau konstan sampai balok mengalami keruntuhan. Dial indikator dipasang untuk mencatat setiap penambahan beban dan lendutan yang terjadi pada balok seperti terlihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Sketsa pengujian balok dengan bentang 2500 mm

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Pengujian Kuat Tekan Beton

Sampel beton silinder ditimbang terlebih dahulu kemudian dilakukan uji kuat tekan. Dari hasil penimbangan dan pengujian kuat tekan diperoleh berat dan nilai kuat tekan beton seperti terdapat pada Tabel 1. Menurut SNI 03-2847-2002, beton ini termasuk

dalam kategori beton normal dikarenakan memiliki berat satuan diantara  $2.200 \text{ kg/m}^3 - 2.500 \text{ kg/m}^3$  yaitu  $2337,658 \text{ kg/m}^3$ . Hasil pengujian kuat tekan silinder diperoleh rata-rata kuat tekan sebesar  $f'_c = 21,04 \text{ MPa}$ , menurut Kementerian PUPR (2005) termasuk beton mutu sedang.

Tabel 1. Berat dan kuat tekan beton

Sampel	Berat (Kg)	Volume ( $\text{m}^3$ )	Berat satuan ( $\text{Kg/m}^3$ )	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)
1	12,660	0,0053	2389,243	390	22,08
2	12,050	0,0053	2274,121	320	18,12
3	12,450	0,0053	2349,611	405	22,93
Rata-rata			2337,658		21,04

### b. Beban Retak dan Beban Akhir

1. Beban retak pertama dan pola retak Balok pejal terjadi retak pertama pada tengah bentang dan memiliki beban

retak pertama ( $P_{cr}$ ) sebesar 7,1 kN. Beban tersebut merupakan nilai terkecil dibandingkan dengan beban retak pertama pada balok berlubang

tanpa serat yaitu 8,6 kN dan beban retak pertama pada balok berlubang dengan serat sebesar 11,6 kN. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pengurangan luasan dengan lubang menggunakan pipa PVC tidak mengakibatkan penurunan kekuatan pada balok, hal ini dikarenakan posisi lubang menerus berada pada daerah tarik dimana kemampuan tarik beton pada daerah tersebut sangat kecil sehingga bagian penampang beton yang menerima tarik kekuatannya diabaikan. Seluruh balok uji memiliki pola retak yang hampir sama yaitu retakan yang terjadi hampir tegak lurus terhadap sumbu balok sehingga disebut dengan retak lentur.

Retak pada balok pejal adalah retak lentur karena yang terjadi hampir tegak lurus terhadap sumbu balok. Retak - retak awal terjadi pada daerah tarik beton di tengah bentang balok kemudian diikuti retak-retak di samping kiri dan kanan retak pertama seperti terlihat pada Gambar 3. Retak lentur awal pada balok berlubang tanpa serat terjadi ditengah bentang balok. Peningkatan retak sejalan dengan penambahan beban, akan tetapi peningkatan beban tidak selalu menambah panjang retakan ataupun menimbulkan retak – retak baru. Retakan yang terjadi pada balok berlubang tanpa serat ini terlihat lebih

lebar dibandingkan dengan balok pejal maupun balok berlubang dengan serat. Pola retak yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.

Perkembangan retak pada balok berlubang dengan serat ini hampir sama dengan kedua balok lainnya diawali dengan retak awal ditengah bentang. Dengan pertambahan beban retak lentur yang terjadi merambat mendekati garis netral penampang balok yang perambatan retakannya menjadi sedikit miring dan terjadi secara perlahan serta bertahap. Hal ini menunjukkan penambahan serat mampu memperlambat retakan yang terjadi. Pola retak yang terjadi pada balok berlubang dengan penambahan serat dapat dilihat pada Gambar 5.

Hassan et al (2018), pada penelitiannya mengatakan bahwa saat diberi beban untuk semua balok, retakan awal dimulai di bagian tengah balok dan lebih banyak retakan lentur dan diagonal yang terbentuk. Retakan menjadi lebih lebar dan meningkat panjangnya dimana retakan geser yang terjadi melewati daerah tekan dan merambat ke titik tumpuan. Lebar retakan geser miring di dekat penyangga meningkat lebih cepat sehingga menyebabkan kegagalan geser. Pada balok dengan pipa PVC lebar retakan balok lebih lebar dari balok padat.

Tabel 2. Retak pertama pada balok

No	Balok	Retak Pertama Pcr (kN)	Beban Akhir (kN)	Defleksi Retak Pertama (mm)	Pcr/Pu (%)
1	Pejal	7,1	16,1	3	44,1

2	Berlubang Tanpa Serat	8,6	17,2	6	50
3	Berlubang dengan Serat	11,6	17,8	7	65,2



Gambar 3. Pengujian Balok Pejal



Gambar 4. Pengujian Balok Berlubang Tanpa Serat



Gambar 5. Pengujian Balok Berlubang Dengan Serat

## 2. Beban dan Defleksi

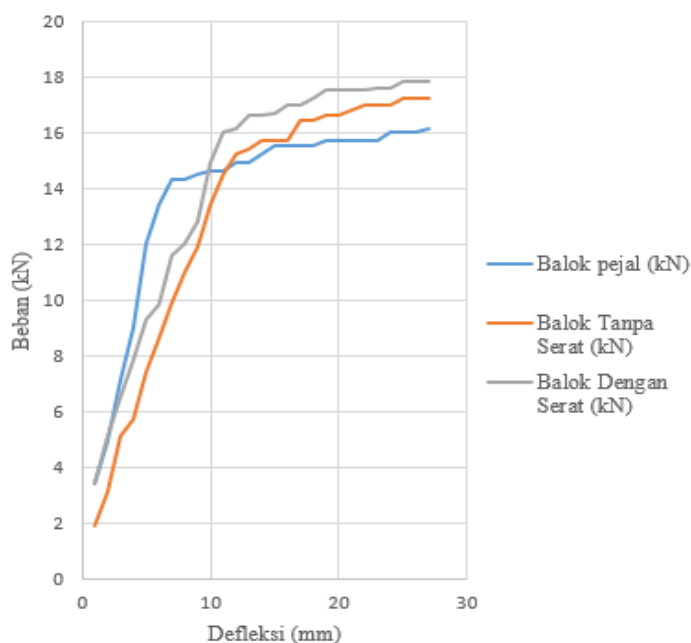
Besarnya beban *Ultimate* yang dapat ditahan oleh balok dapat diketahui dengan pengujian defleksi yang diukur dengan dial indikator. Pembebanan awal diberikan pada balok sebesar 1

kN kemudian dinaikkan secara bertahap sampai terjadi kegagalan. Hubungan beban dan defleksi pada balok dapat dilihat pada gambar 6.

Pada pembebanan awal, grafik masih tampak linier yang

memperlihatkan perilaku elastis penuh. Semakin besar beban yang diterima maka defleksi juga bertambah sampai akhirnya balok mengalami retak. Kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada dan kekakuan lentur penampangnya juga telah berkurang sehingga kurva mulai melandai. Balok berlubang dengan serat setelah retak pertama masih terlihat mampu menahan beban lebih besar dibandingkan dengan balok pejal dan balok berlubang tanpa serat, sampai kurva terlihat datar yang dikarenakan beban mulai tetap sedangkan lendutan masih meningkat. Jika diperhatikan penambahan serat memberikan kontribusi untuk menahan tegangan tarik yang terjadi sehingga balok masih mempunyai kekuatan dalam memikul beban meskipun retak sudah terjadi.

Al-Ghasam (2015) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa masing-masing kurva dimulai dalam bentuk linier dengan kemiringan konstan dan berubah nonlinier kemudian terjadi peningkatan defleksi yang substansial dengan sedikit peningkatan beban sampai mencapai beban utamanya. Dan secara umum apabila diameter pipa tidak melebihi dari sepertiga dari lebar balok, penurunan beban *ultimate*-nya relatif kecil masing-masing sekitar 3,3% dan 6,7%. Pengaruh pipa terhadap beban ultimate cukup besar dan pengurangannya mencapai 16,7% dan 26,7%. Pemasangan pipa PVC pada balok beton bertulang dapat mengurangi kekuatan dan kekakuan balok tergantung pada ukuran dan lokasi atau posisi pipa.

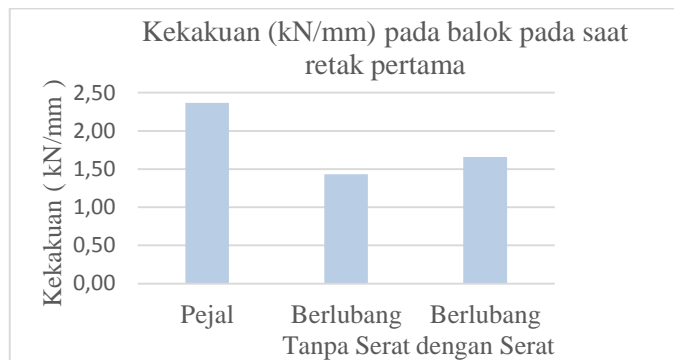


Gambar 6. Hubungan beban dan defleksi pada balok

### c. Kekakuan

Dari hasil penelitian nilai kekakuan balok normal lebih besar dibandingkan dengan balok berlubang baik yang tanpa serat maupun balok berlubang dengan serat. Balok berlubang dengan serat memiliki kekakuan yang lebih besar daripada balok berlubang tanpa serat. Penambahan serat meningkatkan kekakuan matrik komposit sehingga meningkatkan kemampuan menahan beban dan menahan penambahan defleksi yang terjadi. Kekakuan pada balok pada saat retak pertama dapat dilihat pada Gambar 7.

Pada penelitian Rizky dkk (2016), menyimpulkan bahwa lendutan pada saat retak pertama pada balok beton dengan lubang (*hollow core*) lebih besar daripada lendutan pada balok normal tanpa lubang sehingga menyebabkan adanya pengaruh terhadap kekakuannya. Kekakuan balok beton dengan lubang (*hollow core*) lebih kecil dibandingkan kekakuan balok normal namun perbedaannya tidak signifikan. Semakin besar volume lubang, semakin kecil kekakuan balok dibandingkan dengan balok normal tanpa lubang.



Gambar 7. Kekakuan pada balok

### d. Analisa Teori

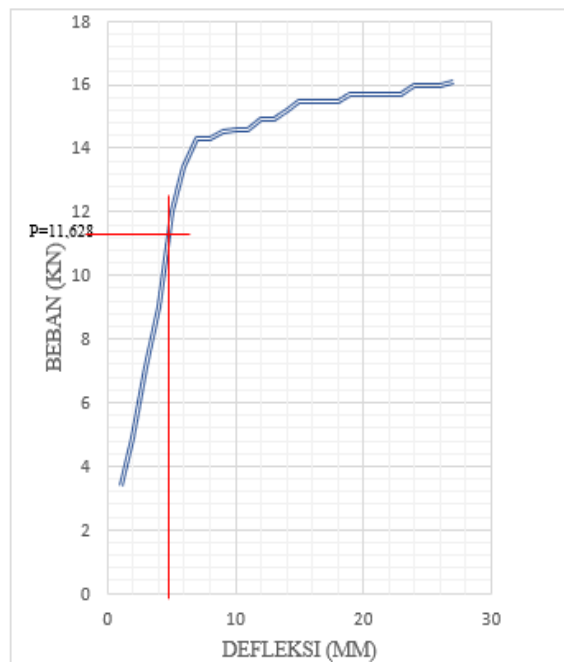
Perhitungan analitis dari perencanaan dimensi balok yang dibuat untuk sampel yaitu dengan ukuran 120 x 180 x 2500. Secara teori kurva melandai pada saat balok mendapatkan beban P sebesar 11,628 kN sedangkan dari hasil praktek kurva melandai pada P sebesar 14,95 kN. Kekakuan penampang balok mulai berkurang

sehingga balok mulai melandai seperti terlihat pada Gambar 8.

### e. Tinjauan Ekonomis

Dalam perhitungan secara teoritis agar balok pejal dapat mencapai kekuatan setara dengan balok berlubang dengan serat yaitu dengan cara memperbesar dimensi balok dan tulangnya. Balok berlubang dengan serat lebih ekonomis jika dibandingkan dengan balok pejal.





Gambar 8. Momen P desain

## SIMPULAN

Dari hasil pengujian pada penelitian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa dengan dimensi yang sama balok beton tanpa lubang lebih berat 9,5 % dari balok beton berlubang menerus pada daerah tarik. Semua balok mengalami atau mencapai retak lentur yang ditandai dengan retakan tegak lurus terhadap sumbu balok. Balok berlubang dengan serat tidak mengurangi kekuatan pada balok. Untuk kurva beban dan defleksi ketiga balok memiliki perilaku kuat lentur yang perbedaannya tidak signifikan, pada awal pembebanan masih menunjukkan perilaku elastis penuh kemudian mengalami retak lentur yang dimana kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada dan kekakuan lentur penampangnya juga telah

berkurang sehingga kurva mulai melandai. Dari simulasi perhitungan guna menyetarakan dengan kekuatan balok berlubang dengan serat, balok berlubang dengan serat lebih ekonomis jika dibandingkan dengan balok normal yang sudah diperbesar dimensinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ghasam, T., 2015, Reinforced Concrete Moderate Deep Beams with Embedded PVC Pipes. Wasit Journal Of Engineering Sciences 3(1): 19-29.
- Asroni, A., 2017, Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013. Muhammadiyah University Press.
- DPU, 1988, Modul Pengantar Dan Prinsip-Prinsip Perencanaan

- Bangunan Bawah / Pondasi Jembatan.
- Balagi, G., and Vetturarasudharsanan R., 2019, Experimental Investigation on Flexural Behaviour of RC Hollow Beams. In *Materials Today: Proceedings* 21, Elsevier, 1-6.
- Hassan, N.Z., Hala M. I. and Salman, A.M., 2018, Study Behaviour of Hollow Reinforced Concrete Beam, *International Journal of Current Engineering and Technology* 8(6): 1640-51.
- Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nawy. E.G., 2003, *Reinforced Concrete A Fundamental Approach, Fifth Edition*, New Jersey: Prentice Hall International.
- PUPR, 2005, *Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7-2005*.
- Rizky. P.F., Sugeng. P.B. dan Wijaya, M.N., 2016, Analisa Kekakuan Struktur Balok Beton Berlubang dengan Lubang Hollow Core Pada Tengah Balok, *Journal Artikel Mahasiswa Teknik Sipil* 1(2): 1-11.
- SNI., 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2002*.
- SNI., 2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974 – 2011*.
- Soroushian, P., and Bayazi Z., 1987, *Concept of Fiber Reinforced Concrete*. In *Proceeding of The International Seminar On Fiber Reinforced Concrete*, Michigan: Michigan State University.
- Tjokrodimuljo, K., 1996, *Teknologi Beton* Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada.