

ANALISA KUAT LENTUR BALOK SANDWICH

Hilman Abdullah

Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, UniversitasKhairun, Ternate

hilmanteknik@gmail.com

Abstrak

Aplikasi struktur beton dalam konstruksi sipil sudah sangat luas dan berkembang dengan pesat. Beton bertulang banyak digunakan dalam berbagai konstruksi sipil karena karakteristik kekuatannya yang mampu sama ditempatkan pada bagian struktur di mana keduanya menahan gaya tekan. Penelitian ini melakukan analisis simulasi terhadap perilaku nonlinear material beton akibat beban aksial yang dimodelkan dalam balok beton sandwich dengan dimensi lebar 15 cm, tinggi 20 cm, dan panjang 300 cm. Variasi balok beton sandwich adalah BU-1 (Balok Uji 1), BU-2 (Balok Uji 2), BU-3 (Balok Uji 3) dan BU-4 (Balok Uji 4). Studi analisis yang dilakukan meliputi analisa kuat lentur, kekakuan dan pola retak pada balok sandwich. beban aksial Model balok sandwich meningkat, mulai dari nol sampai gagal. Berdasarkan perangat lunak analisis elemen hingga ditingkatkan, beban aksial yang diterima lebih besar dari 15,22 kN, 15,24 kN, 15,52 kN, 16,00 kN. Untuk nilai kekakuan makin bertambah dengan meningkatnya mutu beton pada balok dengan nilai 2882,57576 kN/m, 2886,36364 kN/m, 2917,29323 kN/m, 2909,091 kN/m. Retak yang terjadi pada semua elemen balok sandwich adalah retak lentur, dimana momen lentur terbesar terjadi pada daerah tersebut.

Dari hasil studi yang dilakukan terlihat bahwa secara umum program bantu yang digunakan dapat menunjukkan perilaku lentur pada balok. Respon perilaku linear material yang dihasilkan dari studi simulasi dapat dengan baik digambarkan oleh program tersebut.

Kata kunci—Balok Sandwich, Kuat Lentur, FEM

PENDAHULUAN

Aplikasi struktur beton dalam konstruksi sipil sudah sangat luas dan berkembang dengan pesat. Beton bertulang banyak digunakan dalam berbagai konstruksi sipil karena karakteristik kekuatannya yang mampu sama ditempatkan pada bagian struktur dimana keduanya menahan gaya tekan. Kondisi ini dapat ditemui bila penulangan yang diberikan kepada struktur adalah penulangan yang berlebih (*overreinforced*), dimana luas tulangan tarik yang diberikan melebihi kondisi seimbang yang mampu ditahan oleh luas balok tekan beton atau ditempatkan pada daerah dimana momen negatif akan terjadi berdasarkan analisa struktur. Konstruksi bangunan sipil biasa dirancang dengan umur layan tertentu, namun sering terjadi sebelum umur layan tersebut tercapai bangunan beton bertulang sudah mengalami penurunan kekuatan struktur. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan fungsi bangunan, pemberian beban yang berlebihan, kesalahan dalam desain atau kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi, ataupun akibat gempa dan kebakaran. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis ulang terhadap kapasitas tampang dari elemen-elemen struktur bangunan, salah satunya adalah elemen balok. Apabila hasil analisis tampang tersebut tidak mampu menahan beban yang ada, maka salah satu cara penyelesaiannya tanpa membongkar bangunan tersebut adalah dengan melakukan perkuatan terhadap elemen struktur bangunan tersebut. Balok merupakan elemen struktur yang sangat penting disuatu bangunan.

Dalam perencanaan konstruksi balok direncanakan kuat menahan gaya-gaya yang mungkin akan terjadi sesuai perhitungan beban, baik berupa gaya vertikal maupun gaya horisontal. Balok merupakan struktur lentur yang mempunyai karakteristik yang sangat rumit karena banyak gaya-gaya yang diterimanya sehingga rawan terjadinya kerusakan. Salah satu konstruksi yang sering digunakan dalam pembangunan suatu gedung adalah beton bertulang. Kontruksi balok dengan menggunakan beton bertulang ini dimaksudkan agar balok dapat memiliki gaya lentur dan mempunyai kekakuan sehingga dapat menerima beban dan gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi suatu bangunan. Salah satu konstruksi yang sering digunakan dalam pembagunan suatu gedung adalah beton bertulang. Kontruksi balok dengan menggunakan beton bertulang ini dimaksudkan agar balok dapat memiliki gaya lentur dan mempunyai kekakuan sehingga dapat menerima beban dan gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi suatu bangunan. Suatu pembanguna tentunya mengharapkan konstruksi bangunan direncanakan sesuai dengan harapan, terutama mengenai keamanan konstruksi, maka dari itu sebelum mengerjakan suatu konstruksi gedung harus dilakukan analisis struktur dengan benar dan berpedoman pada peraturan SNI-03-2847-2002 dan SNI-2847-2013 tentang perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung.

Adapun fokus penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku lentur balok sandwich dengan *finite element* untuk mengkaji tegangan pada tulangan balok beton bertulang yang dibuat dalam skala model. Balok beton bertulang dimodelkan dengan prinsip *adequate* model, sementara analisis finite element dilakukan dengan menggunakan *software*.

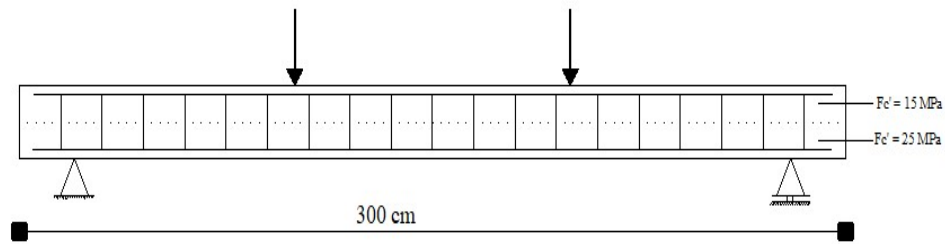
METODE PENELITIAN

Analisis balok beton bertulang dengan perbedaan variasi mutu beton berbeda perkuatan lentur ini dilakukan dengan metode numerik menggunakan program *FEA LUSAS V.14* yang melibatkan hubungan antara variasi perkuatan lentur balok beton bertulang dengan variasi mutu beton (f_c) terhadap beban, deformasi dan pola retak.

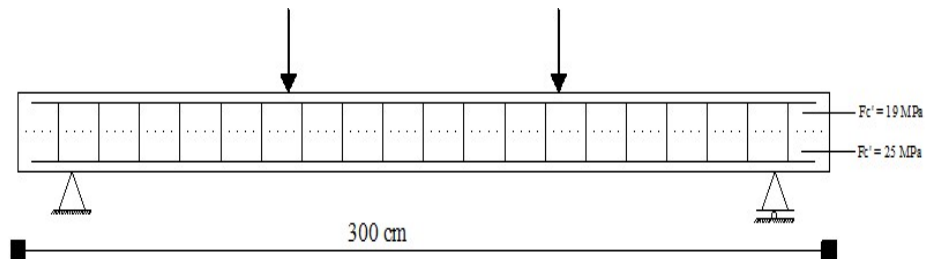
Analisis balok beton bertulang menggunakan program *FEA LUSAS V.14* dengan empat titik lentur (dua beban titik dan dua tumpuan sendi-rol) diharapkan dapat mewakili simpulan experimental dengan sebaik-baiknya, yang pada umumnya dapat diberikan oleh perilaku *nonlinear* balok beton bertulang. Untuk lebih memperjelas proses pemodelan balok beton bertulang dalam penelitian ini, disajikan tahapan analisis model dalam diagram alir (*flowchart*).

1. Penetapan Model

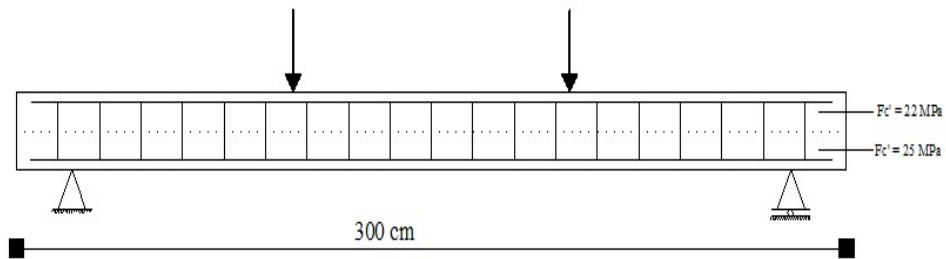
Penetapan model balok beton bertulang sebagai balok uji adalah balok beton normal seperti ditunjukkan pada gambar 1, dengan dua titik beban diatas dua tumpuan sendi dan rol dengan panjang total 3000 mm, bentang diantara dua tumpuan 2900 mm. Ukuran penampang: 150x 300 mm. Tulangan longitudinal 4 D10 dan tulangan sengkang memakai D8 dengan jarak sengkang 15 cm.



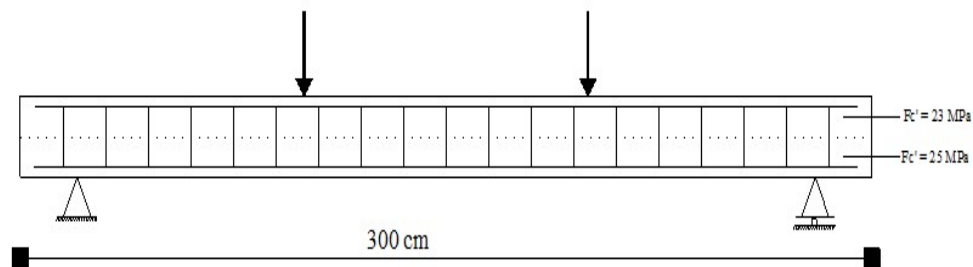
a. Geometri bentuk penampang balok uji 1 (BU-1)



b. Geometri bentuk penampang balok uji 2 (BU-2)



c. Geometri bentuk penampang balok uji 3 (BU-3)



d. Geometri bentuk penampang balok uji 3 (BU-4)

Gambar 1. Geometri bentuk penampang balok uji

2. Pengkodean model balok beton

Untuk empat balok dengan mutu beton yang berbeda diberi kode, untuk lebih jelas lagi

dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kode balok beton sandwich

Kode balok	Lapisan balok	
	Atas	Bawah
BU-1	15,0 MPa	25,0 MPa
BU-2	19,0 MPa	25,0 MPa
BU-3	22,0 MPa	25,0 MPa
BU-4	23,0 MPa	25,0 MPa

3. Data material baja

Data material baja yang digunakan seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Material tulangan baja

Attributes – Material - Isotropic	
Modulus Elastis Baja, E_s	200.000 MPa
Poisson Rasio, ν_s	0,3
Plasctic – Initial Uniaxial Yield Stress	
Tegangan Leleh Baja, f_y	240 MPa

4. Permodelan material beton

Setelah dilakukan analisa terhadap perilaku non-linear material beton dengan program ini diketahui beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja atau perilaku dari material beton tersebut, parameter-parameter tersebut adalah

- Uniaxial compressive strength* (f_c)
- Uniaxial tensile strength* (f_t)
- Strain at peak uniaxial compression* (ϵ_c)

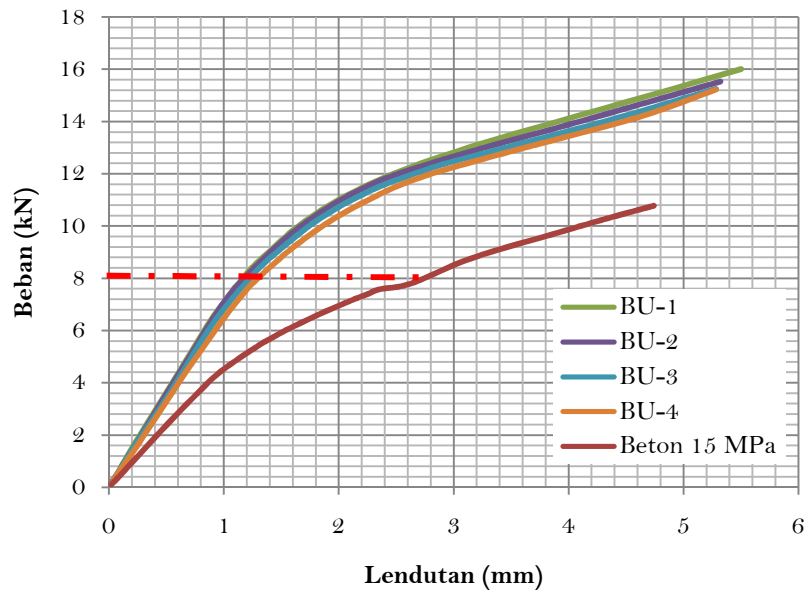
Ketiga parameter tersebut diatas diambil sebagai pembanding. Sedangkan parameter-parameter *properties* material beton lainnya yang ada dalam *LUSASV.14* tidak menunjukkan respon yang berarti ketika dilakukan analisa untuk beton. Berangkat dari hal ini untuk parameter material beton lainnya yang ada dalam program ini akan mengikuti *default* dari *LUSAS V.14*. Berikut adalah hasil analisa dan perbandingan dari pemodelan *nonlinear* dengan program bantu *LUSAS V.14*:

HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik Hubungan Beban *Displacement*

Berdasarkan hasil uji numerik pemodelan elemen hingga balok semi pracetak dengan variasi dimensi tinggi dari balok semi pracetak yang ditinjau dengan menggunakan software *LUSAS V.14*, diperoleh kurva hubungan beban aksial dan lendutan (*displacement*) (P vs Δ) dimana

kemampuan balok *sandwich* dalam menahan beban akan meningkat seiring pertambahan mutu yang digunakan, karena semakin rendah mutu balok *sandwich* maka kekakuan yang akan terjadi semakin besar dan menyebabkan lendutan pada balok semakin kecil dan apabila semakin kecil lendutan yang terjadi maka kekakuan yang akan terjadi juga akan semakin kecil, sehingga balok *sandwich* BU-4 mampu memikul beban yang lebih besar dibandingkan balok dengan balok *sandwich* BU-1 sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Beban-Lendutan pada balok *sandwich* pada BU-1, BU-2, BU-3 dan BU-4

Besarnya beban berbanding lurus dengan lendutan yang terjadi, semakin besar beban yang diberikan maka lendutan yang terjadi akan semakin besar. Besarnya nilai lendutan dipengaruhi oleh kekakuan sedangkan untuk nilai hasil perbandingan beban aksial dan lendutan keseluruhan secara rinci dapat dilihat dalam tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3.Perbandingan nilai beban dan lendutan balok *sandwich*

Model Balok Sandwich	Pmax (kN)	Lendutan (mm)
BU-1	15,22	5,28
BU-2	15,24	5,28
BU-3	15,52	5,32
BU-4	16,00	5,50

Tabel 4.Perbandingan nilai beban dan lendutan balok *sandwich* pada beban 8 ton

Model Balok Sandwich	P (kN)	Lendutan (mm)
BU-1	8,00	1,31
BU-2	8,00	1,28
BU-3	8,00	1,20
BU-4	8,00	1,19

Kekakuan

Kekakuan elemen balok sandwich dapat di hitung melalui beban aksial dan lendutan yang terjadi pada balok *sandwich*. Perbandingan kekakuan elelmen balok sandwich dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.

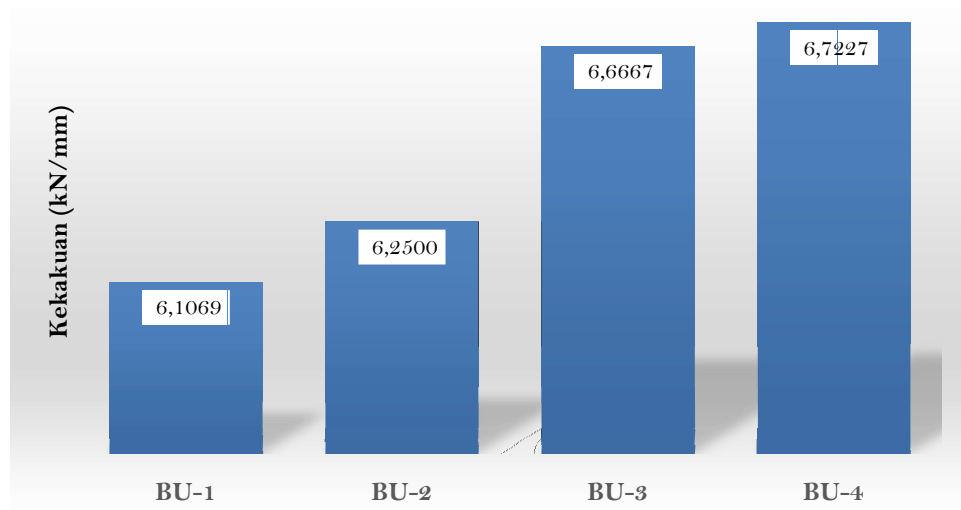
Tabel 5.Perbandingan nilai kekauan balok *sandwich*

Model Balok <i>Sandwich</i>	Pmax (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/m)
BU-1	15,22	5,28	2,8826
BU-2	15,24	5,28	2,8864
BU-3	15,52	5,32	2,9173
BU-4	16,00	5,50	2,9091

Tabel 6.Perbandingan nilai kekauan balok *sandwich* pada beban 8 ton

Model Balok <i>Sandwich</i>	P (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/m)
BU-1	8,00	1,31	6,1069
BU-2	8,00	1,28	6,2500
BU-3	8,00	1,20	6,6667
BU-4	8,00	1,19	6,7227

Balok *sandwich* dengan mutu beton atas 23 MPa dan bawah 25 MPa mempunyai nilai kekakuan terbesar yaitu 6,7225 kN/mm. Perbedaan nilai kekakuan pada balok *sandwich* dapat terlihat pada gambar3.



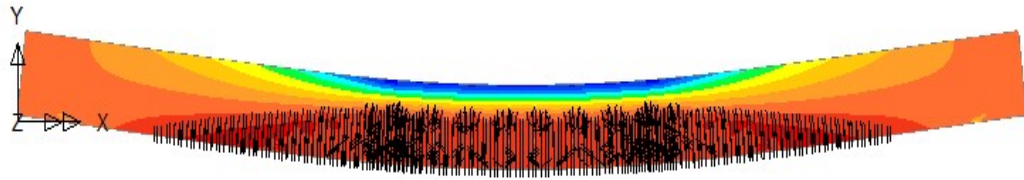
Gambar 3. Grafik kekakuan balok *sandwich*

Evaluasi Pola Retak

Pola retak balok umumnya terjadi pada arah transversal searah tulangan sengkang. Pola retak terjadi pada bagian sisi tarik balok.

1. Pola Retak Balok *Sandwich* (BU-1)

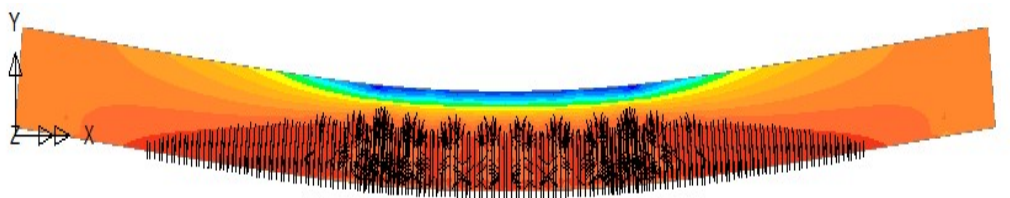
Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada balok *sandwich* dengan mutu beton atas 15 MPa dan bawah 25 MPa, didapatkan balok tersebut menunjukkan bahwa retak maksimum terjadi pada beban aksial 4,42 kN dengan lendutan 6,7 mm, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping balok kearah memanjang balok. Balok *Sandwich* mengalami retakan yang lebih merata akibat dari dimensi balok yang mengalami kekakuan yang kecil seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Pola retak balok *sandwich* (BU-1)

2. Pola Retak Balok *Sandwich* (BU-2)

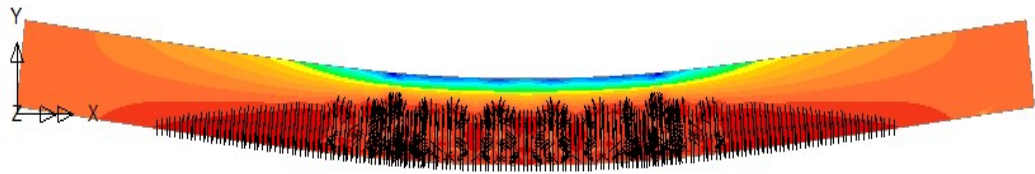
Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada balok *sandwich* dengan mutu beton atas 19 MPa dan mutu beton bawah 25 MPa didapatkan balok tersebut menunjukkan bahwa retak maksimum terjadi pada beban laksial 4,42 kN dengan lendutan 6,4mm, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping balok kearah bagian memanjang balok, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar dan menambah retakan baru berupa retak lentur pada daerah balok yang mengalami tarik seperti ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Pola retak balok *sandwich* (BU-2)

3. Pola Retak Balok *Sandwich* (BU-3)

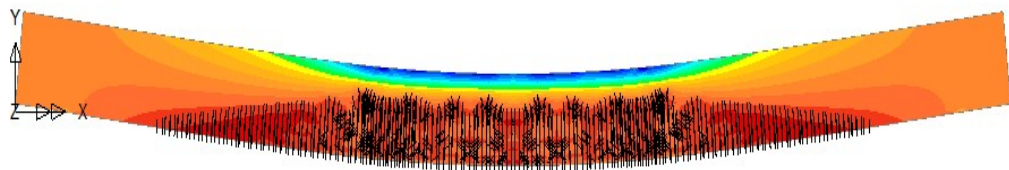
Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada balok sandwich dengan mutu beton atas 22 MPa dan mutu beton bawah 25 MPa, balok tersebut menunjukkan bahwa retak maksimum terjadi pada beban aksial 5,42 kN dengan lendutan 7,6mm, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping searah memanjang tulangan sengkang balok, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Pola retak balok *sandwich* (BU-3)

4. Pola Retak Balok *Sandwich* (BU-4)

Hasil analisis elemen hingga *nonlinier* pada balok sandwich dengan mutu beton atas 23 MPa dan mutu beton bawah 25 MPa, balok tersebut menunjukkan bahwa retak maksimum terjadi pada beban aksial 5,42 kN dengan lendutan 7,5 mm, berupa retak searah memanjang tulangan sengkang yang berada di daerah tarik balok. Seiring dengan penambahan beban dapat dilihat terjadi retak pada daerah samping searah memanjang tulangan sengkang balok, retakan selanjutnya merupakan perpanjangan retak sebelumnya dan seiring dengan pertambahan beban semakin melebar seperti ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Pola retak balok *sandwich* (BU-2)

Pola retak balok *sandwich* dapat di hitung melalui beban aksial dan lendutan yang terjadi pada balok *sandwich*. Perbandingan pola retak balok *sandwich* dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel7. Perbandingan pola retak balok *sandwich*

Model Balok <i>Sandwich</i>	Beban Aksial (kN)	Lendutan (mm)
BU-1	4,42	6,7
BU-2	4,42	6,4
BU-3	5,24	7,6
BU-4	5,24	7,5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kuat lentur balok *sandwich* dengan menggunakan bantuan program Lusas V.14 diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin meningkat penggunaan mutu beton yang digunakan maka kekuatan elemen balok *sandwich* semakin kuat. Hal ini dibuktikan dengan melakukan pemodelan elemen balok *sandwich* di *software LUSAS V.14* dengan menggunakan variasi mutu beton balok *sandwich* 15 MPa, 19 MPa, 22 MPa, 23 MPa dan 25 MPa. Perbandingan mutu beton tersebut terhadap beban aksial (Pmaks) yang bekerja pada elemen balok *sandwich* dengan menggunakan variasi model BU-1, BU-2, BU-3, dan BU-4 berturut-turut adalah 15,22 kN, 15,24 kN, 15,52 kN dan 16,00 kN.
2. Kekakuan elemen balok *sandwich* meningkat seiring dengan peningkatan mutu beton. Kekakuan balok *sandwich* dengan menggunakan variasi model BU-1, BU-2, BU-3, dan BU-4 berturut-turut adalah 2882,57576 kN/m, 2886,36364 kN/m, 2917,29323 kN/m, dan 2909,091 kN/m.
3. Retak yang terjadi pada elemen balok *sandwich* hasil analisis *LUSAS V.14* dengan variasi model BU-1, BU-2, BU-3, dan BU-4 adalah retak lentur yang terjadi di daerah momen lentur terbesar dan memperlihatkan pola retak yang searah tulangan sengkang pada sisi tarik balok.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, F. (2010). Perkuatan Lentur Balok Tampang Persegi Dengan Penambahan Tulangan Tekan Dan Komposit Mortar, *Smartek* 8(2):107-119.
- Anonim (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI 03-2847-2002 Badan Standardisasi Nasional. Bandung.
- Anonim (2013). Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. SNI-2847-2013 Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Cormac, M.C. Jack, C. (2001). Desain Beton Bertulang - Edisi Kelima - Jilid 1. Penerbit Erlangga:Jakarta
- Einea, et. al. (1991) *State of-the Art-of Precast Concrete Sandwich Panels*.
- Firdaus, F.(2000). *Perilaku Balok Beton Sandwich Dalam Menerima Beban Lentur*. Penerbit, Universitas Teknologi Bandung, Bandung.
- Febriyan, D.W., Faimun, F., Suprobo. (2016). Studi Eksperimen Balok *Sandwich Glass Fiber Reinforcement Panel – Foam (Gfrp – Foam)* Pada Rumah Sederhana Dua Lantai. Penerbit, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Irwanti, I. (2014). *Pemodelan Respon Non-Linear Material Beton Akibat Beban Aksial Dengan Menggunakan Software Berbasis Finite Element Analysis*. Penerbit, Teknik Sipil FTSP-ITS.

- Nawy, E.G. (1990). *Beton Bertulang, Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Penerbit PT Refika Aditama.
- Oehlers D.J., Bradford M.A. (1995) *Composite Steel And Concrete Structural Members – Fundamental Behaviour*, Pergamon.
- Putra, B.P., Ismeddiyanto, I., Djauhari, Z. (2017). *Analisis Kuat Lentur Murni Sistem Balok Beton Semi Pracetak*. Penerbit, Universitas Riau, Riau.
- Purba, L.H.(2020). *Studi Eksperimental Kuat Geser Balok Dengan Pelebaran Dimensi Pada Daerah Tumpuan Balok Beton Bertulang Dan Pemodelan Dengan Lusas*. Penerbit, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Putra, R., Suryanita, R., Ridwan, R. (2018). *Analisis Tegangan Tulangan Tarik Pada Balok Beton Bertulang Skala Model*. Penerbit, Universitas Riau, Riau.
- Permana, M.H., Dewi, S.M., Arifi, E. (2016). Analisis Kuat Lentrak Struktur Balok Beton Bertulang Dengan Lubang Hollow Core Pada Tengah Penampang Balok. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*.
- Ramadhanas, R.F., Ismeddiyanto, I., Suryanita, R.(2010). *Analisis Numerik Kuat Lentur Elemen Balok T Curved Tile Semi Pracetak Dengan Variasi Mutu Beton Cast In Place*. Penerbit, Universitas Riau, Riau.