

KAJIAN KEKUATAN BALOK KERATON DENGAN ANALISIS METODE ELEMEN HINGGA

Sunarjo Leman¹, Fannywati Itang², Jemy Wijaya³

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: sunarjol@ft.untar.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: fannywati@ft.untar.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: jemyw@ft.untar.ac.id

Masuk: 02-04-2019, revisi: 04-08-2019, diterima untuk diterbitkan: 14-08-2019

ABSTRAK

Penelitian numerik sebelumnya mengenai segmen Bata Keraton telah diperoleh kekuatan pikul segmen Bata Keraton adalah lebih kurang 1 ton/m². Pada penelitian lain uji laboratorium dengan merangkai segmen Bata Keraton menjadi Balok Keraton diperoleh kekuatan pikul untuk bentang 2.0 meter berkisar antara 105-200 Kg dan bentang 3.0 meter berkisar antara 60-170 Kg. Penelitian menggunakan cara uji laboratorium membutuhkan material uji, struktur yang diuji dengan ukuran sebenarnya, sumber daya manusia untuk merakit dari bentuk segmen Bata Keraton tersebut menjadi bentuk Balok Keraton dengan besi tulangan serta membuat adukan spesi untuk merangkai Balok Keraton. Alternatif lain untuk mengetahui kapasitas pikul pada Balok Keraton adalah dengan melakukan analisa numerik menggunakan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional 2017. Pemodelan Balok Keraton untuk analisis numerik dibuat sama dengan kondisi Balok Keraton pada saat diuji di laboratorium dengan bentang 2 meter dan 3 meter. Pola pembebanan pada analisis numerik dilakukan sama seperti pada uji laboratorium. Tujuan analisis numerik dengan metode elemen hingga ini adalah untuk mengetahui kapasitas pikul Balok Keraton dan membandingkan hasilnya dengan uji laboratorium. Hasil analisis pada penelitian ini diperoleh kapasitas pikul untuk Balok Keraton dengan bentang 2 meter menggunakan tulangan 8 mm dan 10 mm berkisar 80-110 Kg untuk 1 beban di tengah bentang dan untuk 2 beban berkisar 55-80 Kg/ perbeban, sedangkan untuk bentang 3 meter menggunakan tulangan 8 mm dan 10 mm diperoleh untuk 1 beban berkisar 65-85 Kg dan 2 beban berkisar 45-65 Kg/ perbeban. Hasil analisis numerik memberikan hasil kapasitas pikul beban lebih kecil 51-81 % dari pengujian di laboratorium.

Kata kunci: Balok Keraton; Bata Keraton; Beton; Numerik; Elemen Hingga

ABSTRACT

Previous numerical research on the Keraton Brick segment has obtained the strength of the Keraton Brick segment bearing weight is approximately 1 ton / m². In another study the laboratory test by stringing the Bata Keraton segment into the Keraton Beam obtained the strength of the pikul for a span of 2.0 meters ranging from 105-200 kg and span of 3.0 meters ranging from 60-170 kg. Research using laboratory testing methods requires test materials, structures that are tested with actual size, human resources to assemble from the shape of the Keraton Bata segment into a Keraton Beam with reinforcing iron and make a specific mixture to assemble the Keraton Beams. Another alternative to determine the bearing capacity of the Keraton Beams is by conducting numerical analysis using the finite element method using Autodesk Inventor Professional 2017. The Keraton Beam Modeling for numerical analysis is made the same as the condition of the Keraton Beams when tested in a laboratory with a span of 2 meters and 3 meters . The pattern of loading in numerical analysis is done the same as in laboratory tests. The purpose of numerical analysis with finite element method is to determine the bearing capacity of the Keraton Beams and compare the results with laboratory tests. The results of the analysis in this study obtained bearing capacity for the Keraton Beams with a span of 2 meters using reinforcement 8 mm and 10 mm ranging from 80-110 kg for 1 load in the middle span and for 2 loads ranging from 55 to 80 kg / load, while for a span of 3 meters using 8 mm and 10 mm reinforcement obtained for 1 load ranging from 65 to 85 kg and 2 loads ranging from 45 to 65 kg / load. The results of numerical analysis give the result of a smaller load bearing capacity of 51-81% than in laboratory testing.

Keywords: Keraton Beams; Keraton Brick; Concrete; Numerical; Finite Element.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan tempat tinggal Daerah Khusus Ibukota Jakarta semakin hari dirasakan semakin mendesak, pembangunan perumahan dalam arah horizontal sudah tidak memberikan nilai ekonomis dan efisien lagi saat sekarang ini. Oleh sebab itu banyak pembangunan akan kebutuhan tempat tinggal ini mengarah ke arah pembangunan vertikal. Penggunaan material segmen Bata Keraton sebagai salah satu alternatif untuk pengganti bagian struktur pelat beton konvensional dengan cara merangkai segmen Bata Keraton menjadi Balok Keraton, sehingga dapat digunakan sebagai bekisting bagian bawah dari pelat lantai yang tidak perlu dibuka setelah dilakukan pengecoran beton di atasnya. (Itang, 2017)

Penelitian ini merupakan penelitian numerik lanjutan sebelumnya yaitu penelitian analisis kapasitas pada segmen Bata Keraton. Pada penelitian ini ingin mengetahui kapasitas pikul beban apabila segmen Bata Keraton tersebut telah dirangkai menjadi Balok Keraton dengan metode numerik, yang sebelumnya juga telah dilakukan penelitian uji laboratorium pada Balok Keraton dengan uji skala penuh untuk bentang 2.0 meter dan 3.0 meter menggunakan tulangan baja ukuran 8 mm dan 10 mm dengan mutu baja Standar Nasional Indonesia BJTP 24.

Pada penelitian uji laboratorium diperoleh kapasitas beban pikul Balok Keraton bentang 2.0 meter dengan variasi penggunaan tulangan 8 mm dan 10 mm diperoleh berkisar 105-200 Kg, sedangkan bentang 3.0 meter dengan kapasitas sebesar 60-170 Kg. (Itang, 2018)

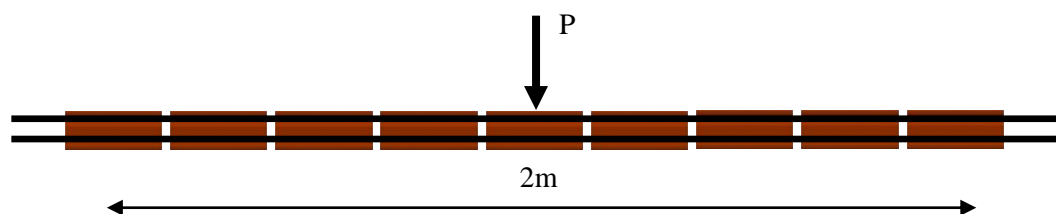
2. RUMUSAN DAN BATASAN MASALAH

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Identifikasi pemodelan Balok Keraton dengan bentang 2.0 meter dan 3.0 meter dengan tulangan baja SNI BJTP24 diameter 8 mm dan 10 mm untuk masing-masing bentangan.
- b. Analisis model dengan metode elemen hingga dengan *Autodesk Inventor Professional 2017*.

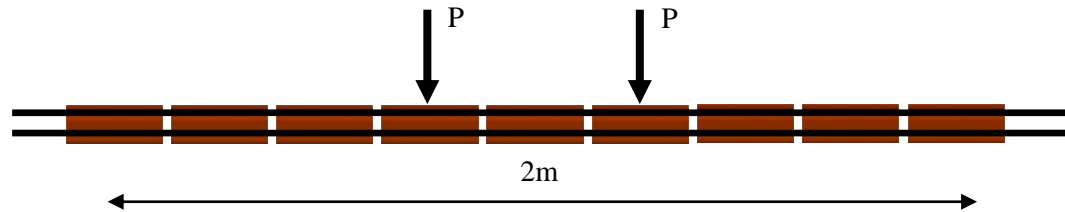
Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Model Balok Keraton yang digunakan untuk model analisis adalah dari segmen Bata Keraton tipe "V" tipe CB 9.
- b. Model analisis Balok Keraton sebagai berikut:
 - **Model tipe 1** dengan bentang 2 meter, besi tulangan 8 dan 10 mm, beban P di tengah



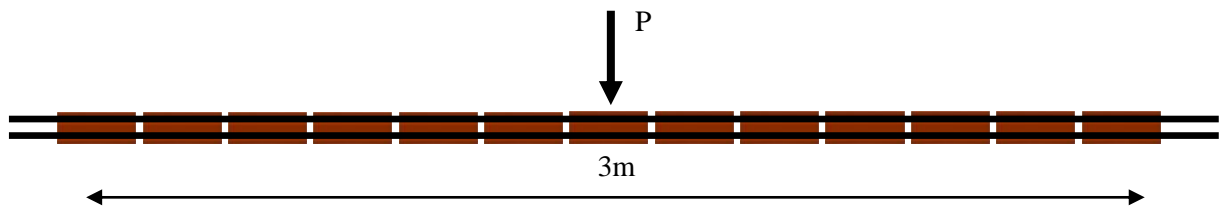
Gambar 1. Model Balok Keraton Tipe BK1A, BK2A

- **Model tipe 2** dengan bentang 2 meter, besi tulangan 8 dan 10 mm, beban 2 buah beban P



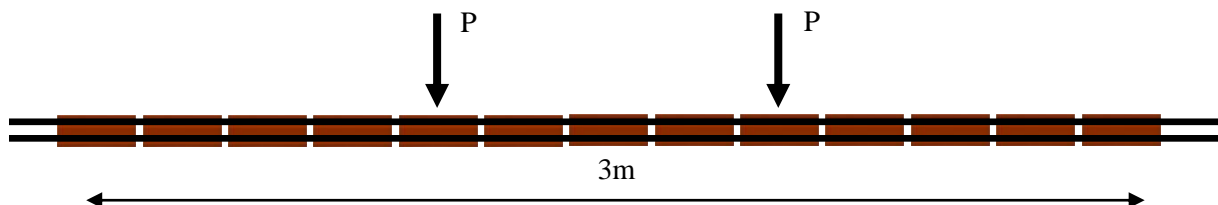
Gambar 2. Model Balok Keraton Tipe BK1B, BK2B

- **Model tipe 3** dengan bentang 3 meter, besi tulangan 8 dan 10 mm, beban P di tengah



Gambar 3. Model Balok Keraton Tipe BK3A, BK4A

- **Model tipe 4** dengan bentang 3 meter, besi tulangan 8 dan 10 mm, beban 2 buah beban P



Gambar 4. Model Balok Keraton Tipe BK3B, BK4B

3. TUJUAN DAN MANFAAT ANALISIS NUMERIK BALOK KERATON

Tujuan:

- a. Mengetahui lendutan pada masing-masing tipe Balok Keraton dengan kapasitas pikul beban maksimum.
- b. Mengetahui kapasitas pikul beban maksimum pada masing-masing tipe Balok Keraton.
- c. Mengetahui fenomena pola kegagalan yang terjadi pada Balok Keraton

Manfaat:

- a. Dengan penelitian ini akan diperoleh Lendutan maksimum pada Balok Keraton sehingga pengguna dapat mengetahui batasan ijin yang diperbolehkan agar Balok Keraton tidak rusak.

- b. Dengan mengetahui kapasitas pikul beban yang diijinkan pada Balok Keraton, pekerja lapangan dan juga perencana mengetahui batasan beban yang diijinkan pada saat pelaksanaan pekerjaan di lapangan.
- c. Dengan mengetahui fenomena pola kegagalan pada Balok Keraton perencana dapat mengantisipasi kegagalan tersebut dengan merencanakan desain perakitan Balok Keraton dengan lebih baik.

4. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi merakit segmen Bata Keraton menjadi Balok Keraton dengan mengimplementasikan adanya besi tulangan diameter 8 mm dan 10 mm, serta merakit sambungan antara segmen Bata Keraton menggunakan adukan spesi yang terbuat dari adukan semen dan pasir yang disimulasikan menggunakan spesi cor-an beton. Model rakitan ini dibuat berdasarkan bentuk asli yang diujikan di laboratorium, dan kemudian dianalisis menggunakan analisis numerik dengan metode elemen hingga. Analisis numerik dilakukan dengan memakai perangkat lunak *Autodesk Inventor Profesional 2017* dari Autodesk. Studi analisis model pada Balok Keraton meliputi dua model panjang 2.0 meter dan 3.0 meter dengan masing-masing menggunakan tulangan baja diameter 8 mm dan 10 mm. Banyaknya variasi model Balok Keraton berjumlah masing-masing sebanyak 8 macam model variasi. Pemodelan diskritisasi dengan menggunakan metode elemen hingga ini menggunakan bentuk model dan analisis secara 3 dimensi. Simulasi model 3 dimensi dilakukan dengan memodelkan bentuk syarat batas dari kondisi yang hampir sama dengan kondisi di lapangan pada pemasangan pelat lantai yang menggunakan Balok Keraton sebelum dilakukan pengecoran dan pengujian di laboratorium. (Leman, 2017)

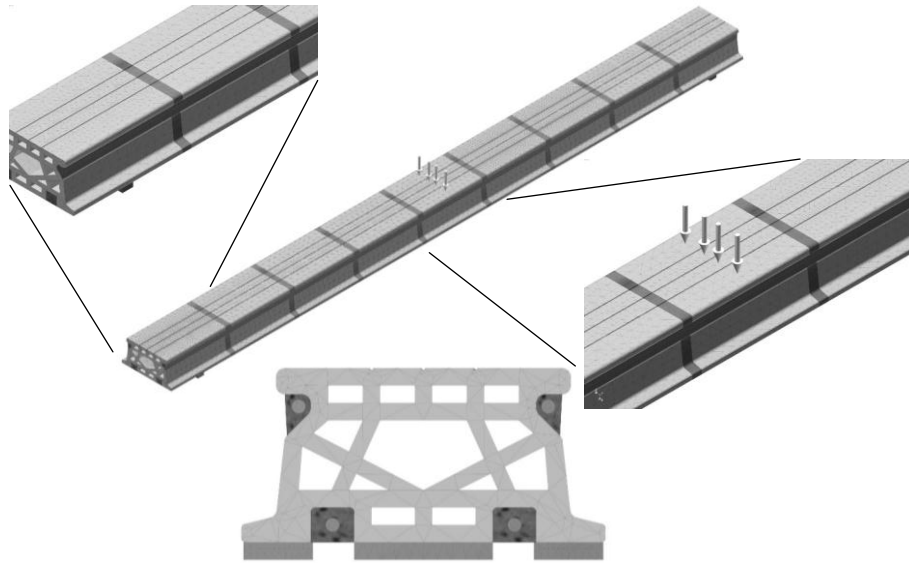


Gambar 5. Balok Keraton yang berfungsi sebagai bekisting pelat sebelum dicor bagian atasnya

5. SIMULASI MODEL ANALISIS NUMERIK PADA BALOK KERATON

Diskritisasi Elemen dan Nodal Balok Keraton

Diskritisasi model 3 dimensi Balok Keraton dimodelkan sekaligus dengan merangkai segmen Bata Keraton menjadi Balok Keraton dengan spesi antara Bata Keraton, besi tulangan sepanjang Balok Keraton dan spesi pelekats antara besi dan Balok Keraton. Semua komponen Balok Keraton di rakit disesuaikan seperti yang dilakukan pada pengujian laboratorium. Pemodelan dibuat dengan menggunakan model 3 dimensi secara utuh dengan pembagian diskritisasi elemen hingga menggunakan jenis elemen **tetrahedron 3 dimensi**. Ukuran elemen tetrahedron, jumlah dan banyak titik nodal dilakukan secara otomatis dengan menggunakan program *Autodesk Inventor Profesional 2017*. Analisis Balok Keraton dilakukan masih dalam kondisi batas material dan geometri elastis dan linier.



Gambar 6. Diskritisasi elemen Tetrahedron dan Nodal pada Balok Keraton

Material Penampang Segmen Bata Keraton Dan Spesi Beton

Dalam simulasi model analisis Bata Keraton digunakan *material properties* Bata Keraton dan spesi adukan beton untuk penampang adalah sebagai berikut:

Bata Keraton

Modulus Elastisitas (E) = 2200 Mpa (Sehonanda, 2013)

Kuat Tekan (F_{bk}) = 7.0 Mpa (Sadhu, 2012)

Kuat Tarik (F_{tr}) = 0.7 Mpa (diambil 10% dari kuat tekan)

Berat Jenis (BJ) = 1700 Kg/m³

Spesi cor-an beton

Modulus Elastisitas (E) = 19500 Mpa

Kuat Tekan (F_c') = 17.5 Mpa

Kuat Tarik (F_t) = 1.75 Mpa (diambil 10% dari kuat tekan)

Berat Jenis (BJ) = 2000 Kg/m³

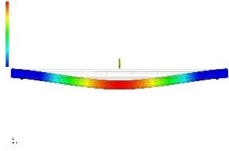
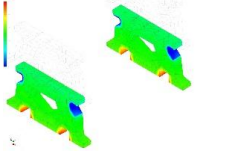
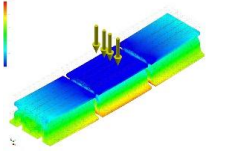
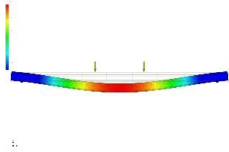
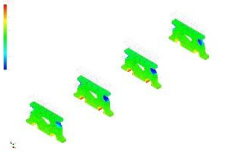
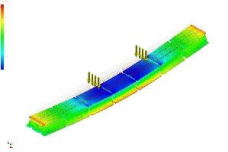

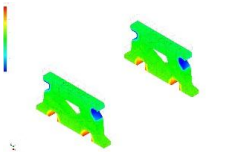
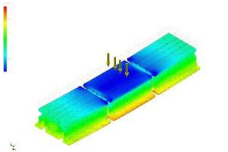

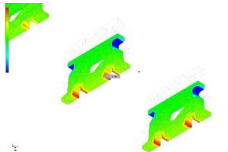
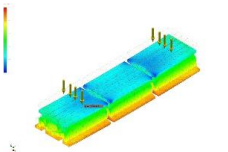


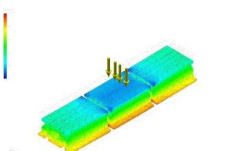
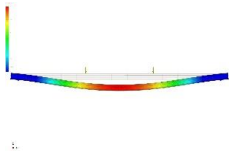
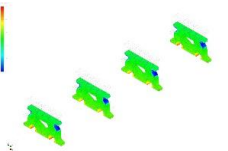
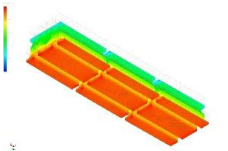

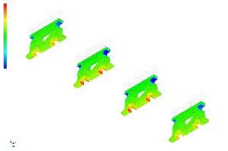
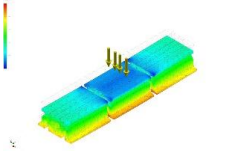

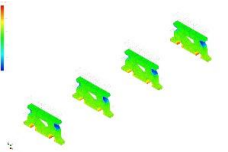
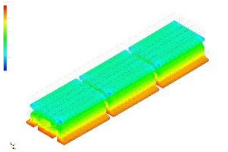
Pembebanan, Kondisi Batas Perletakan, Jumlah Nodal dan Elemen Diskritisasi

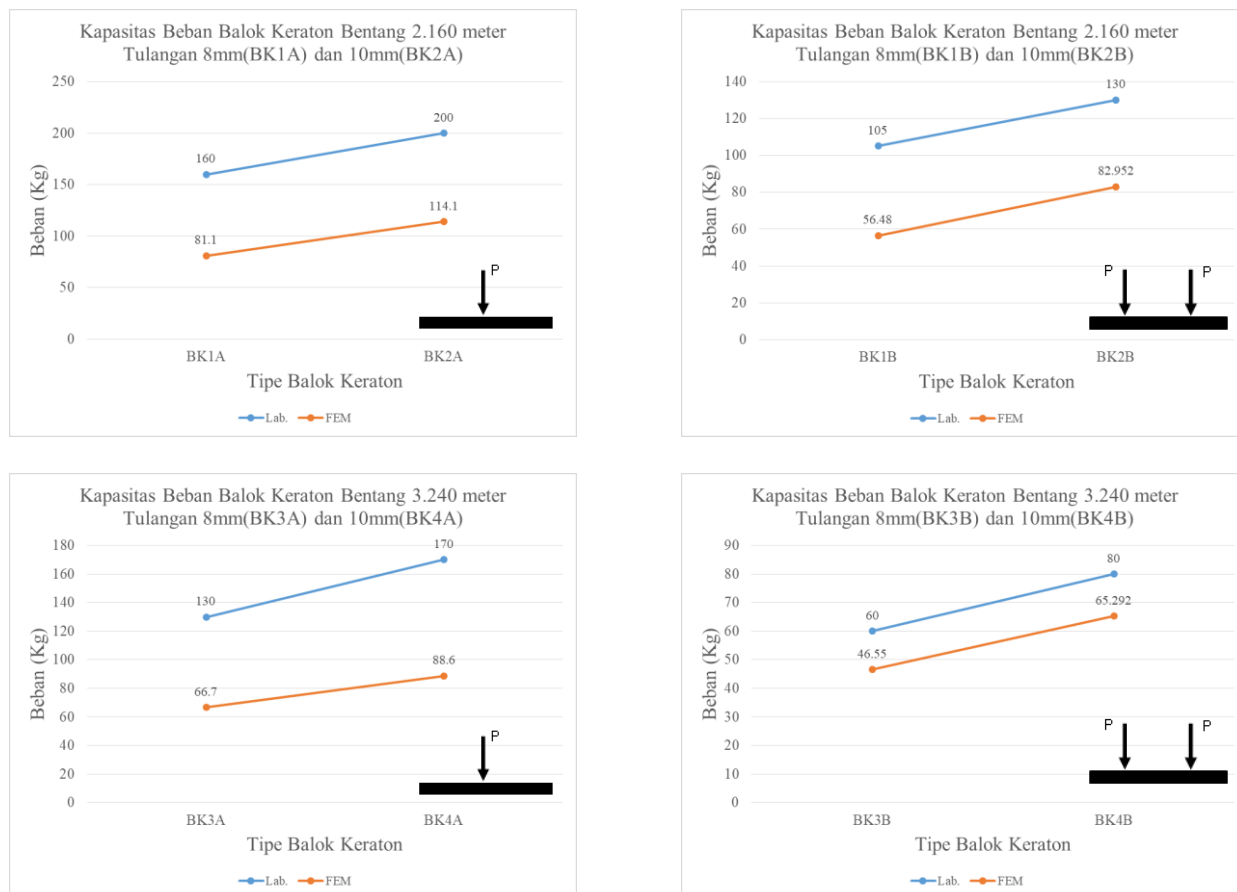
Tabel 1. Model pembebanan, kondisi batas perletakan, jumlah nodal dan elemen

Tipe	Balok Keraton	Keterangan
BK1A	 Nodal = 790620, Elemen = 436433	Beban 1 P Panjang Total 2410, Bentang 2160 mm, tulangan 8 mm Segmen Bata Keraton 9 buah @ 250 mm Spesi 8 buah @ 20 mm
	BK1B	 Nodal = 790620, Elemen = 436433
BK2A		 Nodal = 868217, Elemen = 486453
	BK2B	 Nodal = 868217, Elemen = 486453
BK3A		 Nodal = 1130566, Elemen = 623004
	BK3B	 Nodal = 1130566, Elemen = 623004
BK4A		 Nodal = 1029721, Elemen = 562655
	BK4B	 Nodal = 1029721, Elemen = 562655

6. HASIL ANALISIS NUMERIK BALOK KERATON

Tabel 2. Lendutan, Tegangan Tyy pada Spesi sambungan dan Balok Keraton

Type	Lendutan (mm)	Tegangan Tyy Spesi (N/mm ²)	Tegangan Tyy Balok Keraton (N/mm ²)
BK1A	 0.868	 -2.831 +1.75	 -0.5479 +0.2644
BK1B	 1.066	 -3.233 +1.75	 -0.6231 +0.2434
BK2A	 0.8726	 -3.019 +1.75	 -0.6436 +0.2818
BK2B	 1.111	 -3.533 +1.75	 -0.8625 +0.2569
BK3A	 2.122	 -3.494 +1.75	 -0.9291 +0.3302
BK3B	 2.376	 -3.188 +1.75	 -0.9616 +0.2419
BK4A	 2.111	 -3.576 +1.75	 -0.8977 +0.3376
BK4B	 2.485	 -3.822 +1.75	 -0.9939 +0.2522



Gambar 7. Grafik perbandingan kapasitas beban Balok Keraton Uji Laboratorium dan analisis numerik

Dari hasil analisis numerik dapat didapat tegangan T_{yy} sejajar sumbu Balok Keraton tegangan tarik batas ijin spesi cor-an beton 1.75 Mpa tercapai dulu pada posisi bawah balok, sedangkan pada bagian tekan di atas belum mencapai tegangan tekan ijin. Pada segmen Balok Keraton pada bagian tengah belum mencapai tegangan ijin pada bagian tarik dan tekan, sehingga segmen Balok Keraton masih dalam keadaan aman. Sedangkan spesi cor-an beton sudah mengalami tegangan tarik batas yang berarti dimulainya keretakan pada bagian spesi cor-an beton terlebih dahulu, dimana tulangan bawah/tarik masih belum leleh. Fenomena yang sama terjadi pada semua kondisi Balok Keraton.

Lendutan yang terjadi pada semua Balok Keraton masih dalam batas lendutan ijin yang diperbolehkan yaitu $L/300$ bentangan. Lendutan terjadi berkisar antara 0.868-1.111 mm untuk bentang balok 2.160 meter, dan 2.111-2.485 mm untuk balok bentang 3.240 meter. Pada saat mulai terjadi keretakan pada spesi cor-an beton sambungan antar segmen merupakan batas beban yang boleh dipikul oleh Balok Keraton. Kapasitas beban yang boleh dipikul pada bentang yang sama dari balok akan meningkat dengan bertambahnya ukuran diameter besi tulangan yang digunakan dari 8 mm menjadi 10 mm. Beban yang dapat dipikul pada balok bentang 2.160 meter dengan tulangan 8 mm dan 10 mm berkisar 80-110 Kg untuk beban di tengah bentang, 55-80 Kg untuk 2 beban pada tengah bentang, sedangkan untuk bentang 3.240 meter dengan tulangan 8 mm dan 10 mm berkisar 65-85 Kg untuk beban di tengah bentang dan 45-65 Kg untuk 2 beban pada tengah bentang.

7. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik dengan variasi bentang dan tulangan diperoleh hasil sebagai berikut:

- a. Lendutan Balok Keraton yang terjadi dengan menggunakan analisis metode numerik masih lebih kecil dari batas lendutan ijin yang disyaratkan untuk semua kondisi bentang.
- b. Analisis dengan menggunakan metode numerik memberikan hasil lebih kecil dibandingkan dengan uji laboratorium dengan kapasitas pikul balok antara 51 – 81 % dari uji laboratorium. Perbedaan ini dapat dimungkinkan terjadi karena homogenitas cor-an, sambungan dan juga kualitas Bata keraton yang digunakan tidak seragam mutu dan kekuatannya.
- c. Dengan menggunakan analisis numerik memberikan hasil kapasitas pikul Balok Keraton di sisi yang lebih aman.
- d. Pola keruntuhan terjadi pada spesi sambungan antara Balok Keraton yang satu dengan lainnya di tengah bentang pada sisi tarik bagian bawah sama seperti yang terjadi pada uji laboratorium.
- e. Tegangan tarik bagian bawah spesi Balok Keraton tercapai terlebih dahulu sedangkan tegangan tekan pada spesi bagian atas masih jauh dari tegangan yang diijinkan.
- f. Tegangan yang terjadi dalam Balok Keraton (Segmen Bata Keraton) masih jauh di bawah tegangan ijin dari segmen Bata Keraton untuk tegangan tarik dan tegangan tekan.
- g. Dengan menggunakan tulangan 10 mm memberikan kenaikan kapasitas pikul Balok Keraton pada semua tipe bentangan balok.
- h. Dengan menggunakan tulangan yang sama untuk bentang yang lebih besar akan menurunkan kapasitas pikul Balok Keraton.

Saran

Beberapa saran untuk melengkapi penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Analisis dengan metode numerik sebaiknya menggunakan kemampuan perangkat keras dengan performa yang sangat tinggi.
- b. Melanjutkan penelitian untuk model analisis numerik berikutnya dengan bentuk struktur pelat yang terbuat dari segmen-segmen Balok Keraton. (Hazarin, 2013)

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktur Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Tarumanagara yang mendukung pembiayaan penelitian. Dekan Fakultas Teknik, Ketua Program Studi Teknik Sipil, penanggungjawab Laboratorium Beton, teknisi laboratorium yang sangat membantu selama proses pengujian di laboratorium, dan asisten peneliti.

REFERENSI

- Hazarin, Bernardinus Herbudiman dan Mukhammad Abduh Arrasyid, Kajian Perilaku Lentur Pelat Keramik Beton (Keraton), Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 KoNTekS 7, 24-26 Oktober 2013.
- Itang, Fanywati, Tediato, Leo S., Wijaya, Jemy, Perbandingan sifat Mekanik Bata Keraton dengan Beton Konvensional, Penelitian DPPM Untar 2017.
- Itang, Fanywati, Leman, Sunarjo., Wijaya, Jemy, Kajian Kekuatan Balok Rakitan Bata Keraton, Penelitian DPPM Untar 2018.

- Sadhu, Redha Leksono, Data Iranata dan Heppy Kristijanto, Studi Pengaruh kekuatan dan Kekakuan Dinding Bata Pada Bangunan Bertingkat, Jurnal Teknik ITS Vol. 1, ISSN: 2301-9271, September 2012.
- Sehonanda, Olivia, Bonny M. M. Ointu, Winny J. Tamboto, Ronny R. Pandelege, Kajian Uji Laboratorium Nilai Modulus Elastisitas Bata Merah Dalam Sumbangan Kekakuan Pada Struktur Sederhan, Jurnal Sipil Statik Vol. 1, ISSN: 2337-6732, November 2013.
- Leman, Sunarjo, Model Analisis Tegangan pada Segmen Penampang Bata Keraton, Penelitian DPPM Untar 2017.