

ANALISIS TEGANGAN TULANGAN TARIK PADA BALOK BETON BERTULANG SKALA MODEL

Rexy Putra¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Ridwan²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : rexy.putra@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Reinforced concrete (RC) beam is one of the structural elements that is often encountered in field applications and is a considerable element of its role in carrying flexural load. The purpose of this research is to analyze the pure bending behavior of RC beam in the form of stress on the reinforcement bars by using finite element method. Finite element analysis is done by using software LUSAS v.16. The load was applied at 2 points at a distance of 1/3 of beam span from each supports and it was gradually increased until the beam cracked. The result of yield tensile strength of reinforcement bar was 358.65 MPa. It was found that the tensile stress of the tension reinforcement bars in the event of first crack was 72.1 MPa, while the tensile stress of these bars in the event of maximum applied load was 379.75 MPa. It can be concluded that the tensile reinforcement bars at the maximum load gained from the finite element analysis has yeilded.

Keywords : Reinforced concrete beam, finite element, LUSAS v.16, tensile stress, first crack, maximum load.

A. PENDAHULUAN

Beton bertulang adalah salah satu elemen struktur yang sering dijumpai dalam aplikasi lapangan dan merupakan elemen yang cukup besar perannya dalam memikul beban terutama beban lentur. Nawy, Tawio, & Kusuma (2010) balok adalah suatu bagian konstruksi dari bangunan yang berfungsi menyalurkan beban-beban dari plat lantai ke kolom penyangga. Sedangkan menurut Dipohusodo (1994), apabila balok bentang sederhana menahan beban gravitasi akan mengakibatkan timbulnya momen lentur dan regangan lentur di dalam balok tersebut. Regangan-regangan yang terjadi akan mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok berupa tegangan tekan di bagian atas dan tegangan tarik di bagian bawah. Oleh karena beton memiliki sifat yang kurang kuat dalam menahan tegangan tarik maka

tulangan baja dipasang di daerah tegangan tarik bekerja yaitu serat terbawah.

Pada umumnya penelitian dengan ukuran skala model menggunakan metode *Buckingham's PI Theorema* untuk memodelkan dari prototipenya. Pengujian skala model ini digunakan dengan tujuan benda uji yang digunakan dapat berukuran lebih kecil dari ukuran sebenarnya (prototype). Widyawati (2010) melakukan penelitian benda uji balok kayu laminasi. Widyawati (2010) membuat benda uji dalam skala model dengan memenuhi prinsip true model dimana benda uji yang dimodelkan sesuai dengan perilaku benda uji prototipe yang sebenarnya. Hasil analisis model benda uji tersebut, bisa digunakan untuk memprediksi beban, lendutan, tegangan dan momen lentur yang mampu ditahan benda uji prototipe yang sebenarnya.

Penelitian ekperimental dan analisis dengan program *finite element*

Response2000 dilakukan oleh Amir (2010) untuk mengkaji mengenai kapasitas lentur dan pola retak balok beton bertulang dengan penampang persegi. Sedangkan Widnyana (2010) melakukan analisis terhadap balok jembatan dengan penampang T yang diperkuat dengan plat baja. Analisis dilakukan dengan program berbasis *finite element* yaitu *LUSAS*. Dari penelitian Widnyana (2010) tersebut didapatkan bahwa program *LUSAS* dapat memberikan hasil yang akurat. Kapasitas lentur balok penampang T tanpa perkuat baja diperoleh hasil analisis adalah 55,762 kN, sementara dari hasil eksperimental didapatkan kuat lenturnya 56 kN. Sedangkan untuk kapasitas lentur balok penampang T dengan diperkuat baja diperoleh hasil analisis dan eksperimental sama yaitu 68 kN.

Adapun fokus penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku lentur balok bertulang 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 LUSAS v.16*.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Beton Bertulang

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Kekuatan beton dipengaruhi oleh bahan penyusun beton itu sendiri, sehingga perlu diketahui karakteristik bahan dasar, cara pembuatan, faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimal agregat dan umur beton.

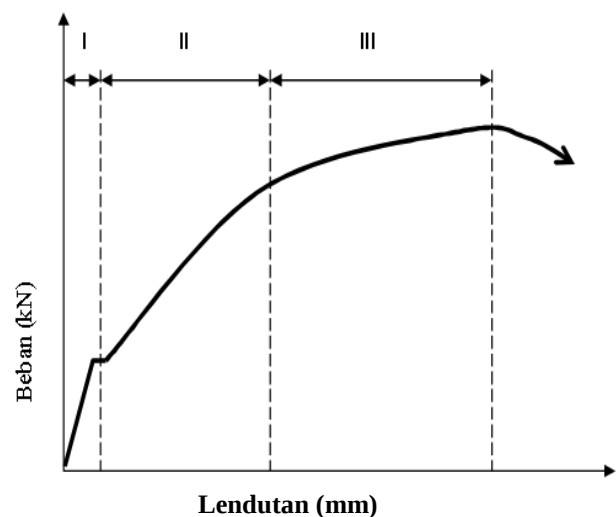
Dari kedua bahan yaitu beton dan baja tulangan dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yaitu beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja

tulangan, sedangkan beban tekan ditahan oleh beton. Selain itu, beton dan tulangan baja dapat dikombinasikan atas dasar beberapa hal, yaitu:

1. Interaksi lekatan (*bond*) antara tulangan baja dengan beton di sekelilingnya, dapat mencegah slip dari baja relatif terhadap beton.
2. Campuran beton yang memadai dapat memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton untuk mencegah karat baja
3. Angka kecepatan muai baja beton yang relatif serupa menyebabkan perbedaan tegangan akibat perubahan temperature antara baja dan beton yang relatif kecil dan

B.2 Lendutan

Nawy (2005) menjelaskan bahwa perilaku balok beton bertulang terkait dengan hubungan beban dan lendutan. Hubungan beban dengan lendutan pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi bentuk *trilinier* sebelum akhirnya balok tersebut runtuh seperti pada (Gambar 1).



Gambar 1 Kurva Hubungan Antara Beban Yang Diberikan Dengan Lendutan Yang Terjadi

Sumber: Nawy (2005)

Daerah I : Tahap praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak. Segmen praretak dari kurva beban-lendutan berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku

elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok lebih kecil dari kekuatan tariknya akibat lentur atau lebih kecil dari *modulus rupture* (f_r) beton.

Daerah II :Tahap beban praretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Balok pada tumpuan sederhana retak akan terjadi semakin lebar pada daerah lapangan, sedangkan pada tumpuannya hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi retak lentur maka kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada lagi. Ini berarti pula kekakuan lentur penampangnya telah berkurang sehingga kurva beban-defleksi didaerah ini akan semakin landai dibanding pada taraf praretak.

Daerah III : Tahap retak pasca-*serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban defleksi daerah III jauh lebih datar dibandingkan daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekuatan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang. Jika beban terus bertambah melebihi regangan lelehnya ϵ_y tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini akan terus mengalami defleksi tanpa adanya penambahan beban dan retaknya semakin terbuka sehingga garis netral terus mendekati tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan sekunder yang mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya *rupture*.

B.3 Jenis Keruntuhan

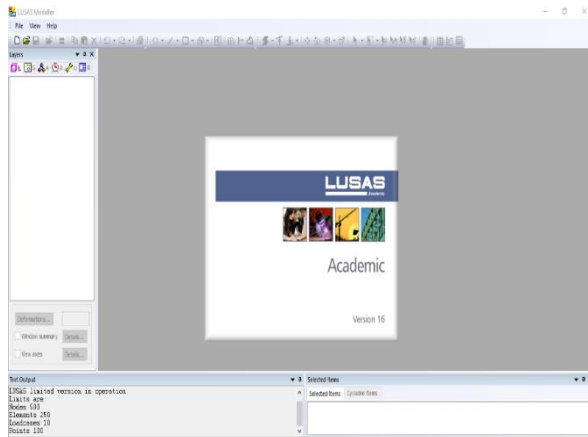
Menurut Nawy, Tawio, & Kusuma (2010) jenis keruntuhan yang dialami akibat lelehnya tulangan tarik atau hancurnya beton yang tertekan balok dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok yaitu:

1. Penampang *balanced* merupakan kondisi tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diizinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0,003 sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya, yaitu $\epsilon_y = f_y/E_s$.
2. Penampang *over-reinforced* keruntuhan balok ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada saat awal keruntuhan, regangan baja ϵ_s yang terjadi masih lebih kecil dari pada regangan lelehnya ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya ϵ_y . Kondisi kerusakan balok dengan tipe *over-reinforced* ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan untuk mencapai keruntuhan dalam keadaan *balanced*.
3. Penampang *under-reinforced* keruntuhan balok ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan diatas ϵ_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.

C.4 Aplikasi Berbasis Elemen Hingga LUSAS

LUSAS v.16 adalah program aplikasi berbasis elemen hingga yang menampilkan berbagai macam elemen geometri seperti titik, garis, bidang dan volume dalam bentuk grafis. Pada LUSAS v.16 ini jenis elemen dikelompokkan sesuai dengan fungsinya yaitu: *bars, beams, 2D continuum elements, 3D continuum elements, plates, shell, membranes, joints, field elements* dan *interface elements*. Menurut Intansari (2012) sistem analisa pada LUSAS terbagi menjadi tiga tahapan utama yang harus dimengerti sebelum

masuk ke dalam pemodelan. Tiga tahapan utama tersebut yaitu *modelling* (permodelan), *running the analysis* (menjalankan pemodelan/analisis) dan *viewing the result* (melihat hasil analisa). Gambar 2 menunjukkan tampilan menu *LUSAS v.16*.



Gambar 2 Tampilan Menu Utama *LUSAS v.16*

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Benda Uji

Ukuran benda uji yang digunakan pada permodelan penelitian ini dengan panjang 125 cm, tinggi 20 cm dan lebar 10 cm. Mutu beton yang digunakan yaitu f_c' 20 MPa.

C.2 Pengujian Kuat Tarik Baja

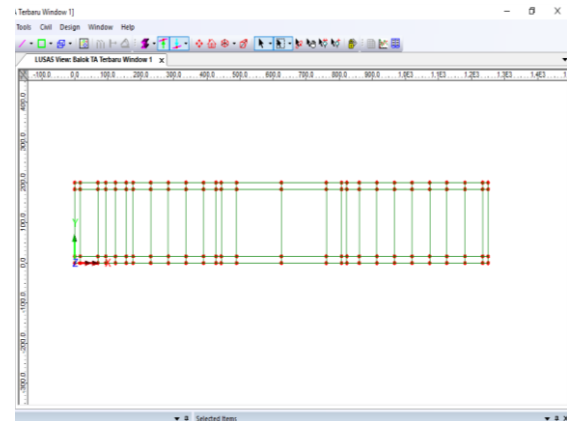
Tujuan dari pengujian kuat tarik baja adalah untuk mengetahui besarnya nilai tegangan leleh dan tegangan *ultimate* dari baja tulangan. Hasil dari kuat tarik baja tersebut dimasukkan kedalam *finite element LUSAS v.16* sebagai data material tulangan.

Tulangan yang digunakan yaitu baja polos ukuran 6, 8, dan 10 buatan PT. Persada Nusantara Steel. Tulangan tarik menggunakan diameter 10 mm, tulangan tekan dengan diameter 8 mm sedangkan tulangan sengkang menggunakan diameter 6 mm.

C.3 Permodelan dengan *Finite Element LUSAS*

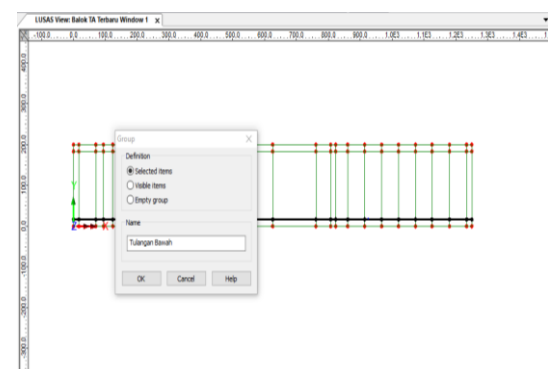
Tahapan permodelan balok beton bertulang dengan menggunakan *finite element LUSAS v.16* adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan data nilai Sumbu X,Y,dan Z balok beton bertulang. Nilai dari sumbu-sumbu tersebut merupakan titik dari letaknya perletakan,senggang dan pembebanan yang akan membentuk menjadi garis-garis yang saling terhubung.



Gambar 3. Input Garis-Garis Permodelan Balok Beton Bertulang

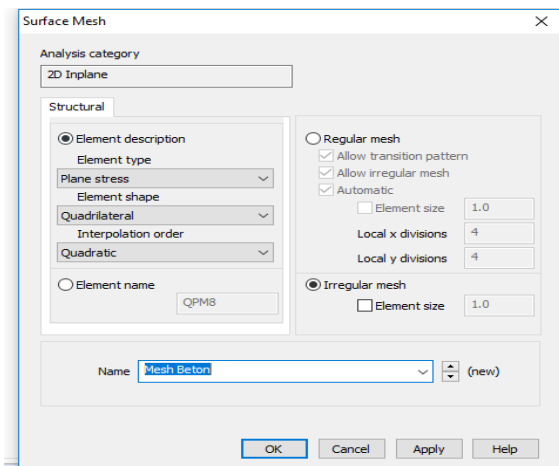
2. Membuat *group* dengan memilih garis-garis sesuai dengan kegunaannya. *Group* garis-garis tersebut terdiri dari *group* tulangan sengkang, tulangan atas, tulangan bawah, perletakan, dan pembebanan. *Group* tersebut dibuat untuk mempermudah ketika memasukkan input data material, data mesh, data pembebanan dan data perletakan pada permodelan menggunakan *finite element LUSAS*.



Gambar 4. Proses Pembuatan *Group*

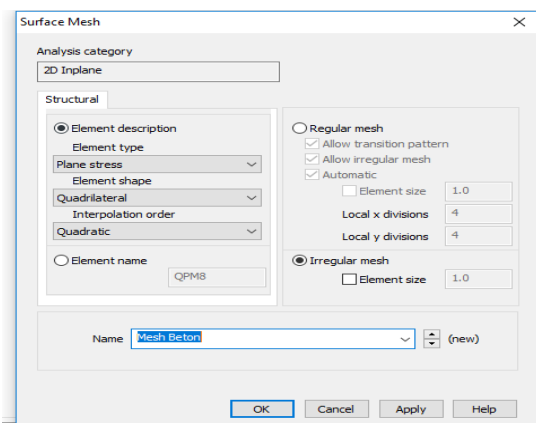
3. Memasukkan data mesh untuk beton dan tulangan. *Mesh* beton menggunakan mesh dengan tipe permukaan (*surface*)

sedangkan mesh tulangan menggunakan tipe mesh garis (*line*).



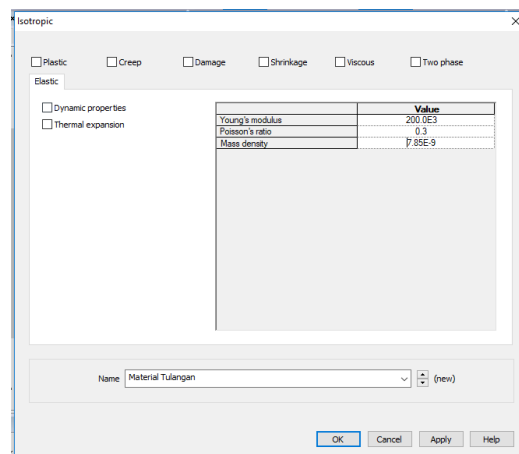
Gambar 5. Proses Memasukkan Data Mesh untuk Beton

- Memasukkan data *attributes* berupa data geometrik untuk tulangan sengkang, tulangan atas dan tulangan bawah. Data yang dimasukkan berupa luas dari masing-masing tulangan.



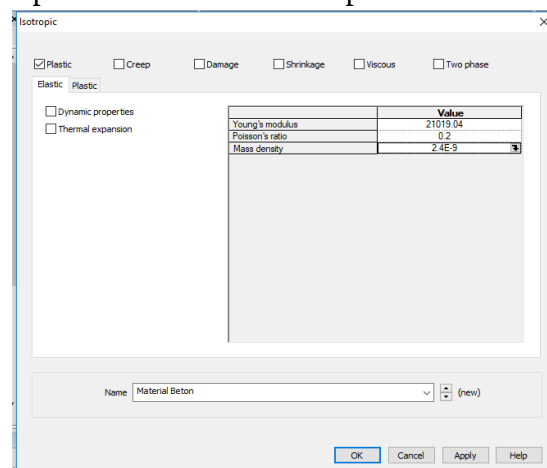
Gambar 6 Proses Memasukkan Data Mesh untuk Beton

- Memasukkan data untuk material beton. Data yang dimasukkan berupa data material pada kondisi elastis dan plastis.



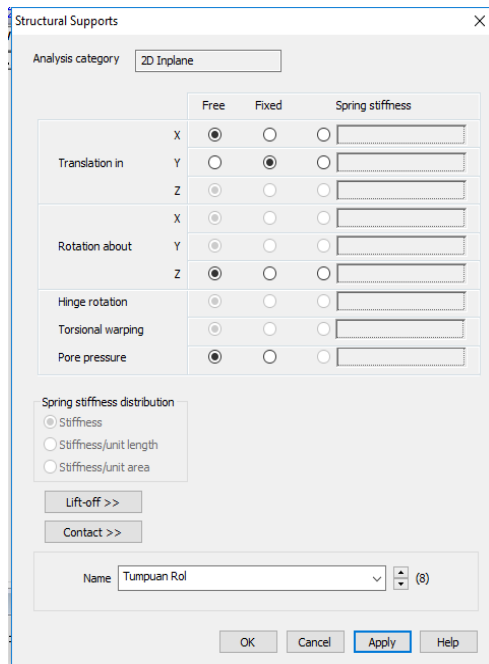
Gambar 7. Proses Memasukkan Data Material Beton pada Kondisi Elastis

- Memasukkan material untuk tulangan sengkang, tulangan atas dan tulangan bawah. Data yang dimasukkan adalah data material masing-masing tulangan pada kondisi elastis dan plastis.



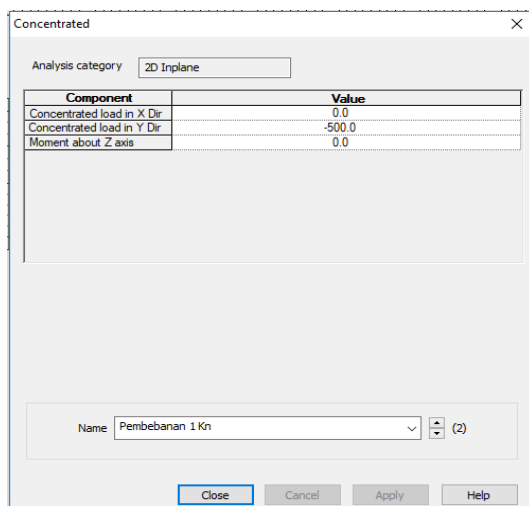
Gambar 8. Proses Memasukkan Data Material Tulangan pada Kondisi Elastis

- Memasukkan *structural support* yaitu perletakan. Perletakan yang digunakan yaitu perletakan sendi dan perletakan rol.



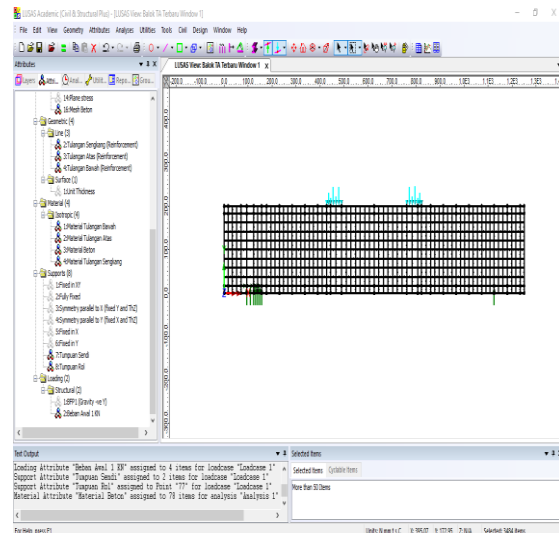
Gambar 9. Memasukkan Data *Structural Support*

8. Memasukkan data pembebanan dengan memilih kondisi global distributed, pembebanan diawali dengan beban 1kN. Beban yang diberikan dalam bentuk beban garis, beban awal 1kN tersebut dibagi menjadi pembebanan 2 sisi. Masing-masing sisi diberikan beban terpusat sebesar 500N.



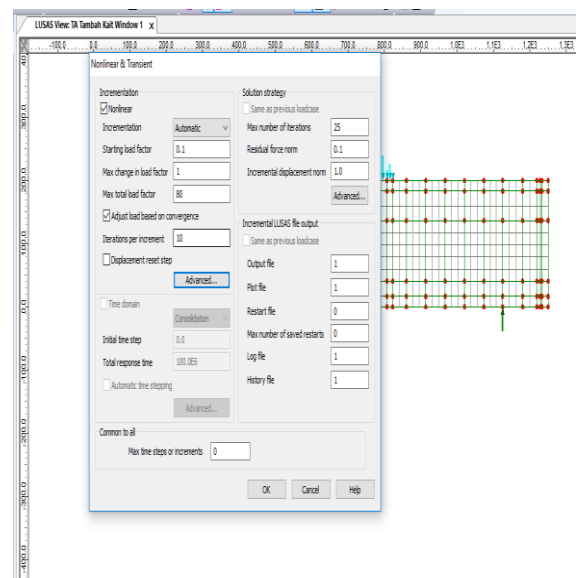
Gambar 10. Memasukkan Data Pembebanan

9. Data-data *mesh*, material beton, material baja, perletakan dan pembebanan yang sebelumnya sudah dimasukkan selanjutnya didrag kedalam model dengan cara mengklik *treeview* masing-masing data tersebut dan menggeser *treeview* data menuju ke model.



Gambar 11. Proses Memasukkan

10. Membuat pengaturan pembebanan *nonlinier* dan literasi yang digunakan untuk menjalankan analisis permodelan balok beton bertulang.



Gambar 12. Pengaturan Pembebanan *Nonlinier* Dan Literasi

11. Melakukan proses *running* model balok beton bertulang dan mengeluarkan hasil analisis setelah proses *running* selesai.

D. Hasil dan Pembahasan

D.1 Hasil Pengujian Uji Tarik Baja

Pengujian uji tarik baja tulangan beton bertulang dilakukan untuk tulangan sengkang yang berdiameter 6 mm, tulangan atas yang berdiameter 8 mm dan tulangan bawah yang berdiameter 10 mm. Pengujian uji tarik baja dilakukan untuk mendapatkan data mutu material tulangan baja yang digunakan sebagai *input* data material pada analisis *finite element* LUSAS. Pengujian tarik baja berdasarkan SNI 07-2529-1991 yang masing-masing tulangan diuji sebanyak 2 sampel. Hasil pengujian uji tarik baja didapatkan untuk tulangan berdiameter 6mm rata-rata tegangan leleh 403,39 MPa dan rata-rata tegangan ultimit 554,78 MPa, sementara tulangan berdiameter 8mm hasil rata-rata tegangan leleh 367,95 MPa dan rata-rata tegangan ultimit 514,36 MPa dan tulangan berdiameter 10mm hasil rata-rata tegangan leleh 358,65 MPa dan rata-rata tegangan ultimit 507,18 MPa. Hasil pengujian uji tarik baja dapat dilihat pada Tabel 1.

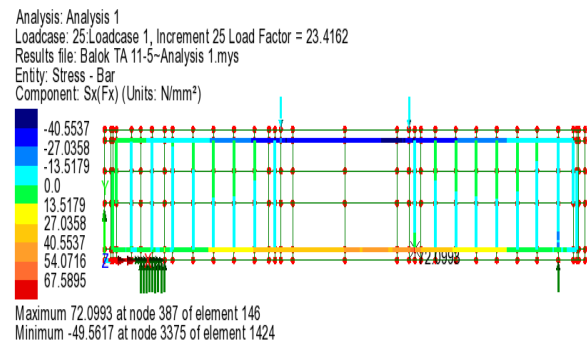
Tabel 1 Hasil Pengujian Uji Tarik Baja

Diameter Baja Tulangan Beton	Tegangan Leleh		Tegangan Ultimit	
mm	MPa		MPa	
6	400,26	403,39	553,47	554,78
6	406,52		556,09	
8	370,65	367,95	513,93	514,36
8	365,24		514,79	
10	355,68		508,81	

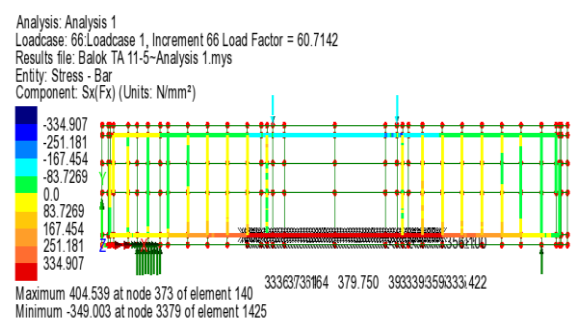
D.2 Hasil Analisis Tegangan Tulangan

Hasil tegangan tulangan tarik yang terjadi pada kondisi retak pertama dengan beban 23,41 kN tulangan pada bentang

tengah mengalami tegangan sebesar 72,1 MPa. Tegangan tulangan tarik yang terjadi pada kondisi beban maksimum sebesar 60,71 kN tulangan pada bentang tengah mengalami tegangan sebesar 379,75 MPa. Hasil analisis tegangan tulangan pada kondisi retak pertama dapat dilihat pada Gambar 13, sementara hasil analisis tegan tulangan tarik pada kondisi beban maksimum dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Tegangan Tulangan pada Kondisi Retak Pertama



Gambar 14. Tegangan Tulangan pada Kondisi Beban Maksimum

E. Kesimpulan dan Saran

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis dengan *finite element* LUSAS v.16 tegangan tulangan tarik yang terjadi pada kondisi retak pertama pada bentang tengah mengalami tegangan sebesar 72,1 MPa. Sementara tegangan tulangan tarik yang terjadi pada kondisi beban maksimum pada bentang tengah mengalami tegangan sebesar 379,75 MPa.

2. Hasil analisis pada kondisi beban maksimum sebesar 60,71 kN tulangan tarik sudah mengalami leleh dengan tegangan sebesar 379,75 MPa.
3. Tegangan pada kondisi beban maksimum yaitu 379,75 MPa lebih besar dibandingkan hasil pengujian uji kuat tarik yang didapatkan bahwa tulangan tarik mengalami tegangan leleh 358,65 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tulangan tarik hasil analisis pada beban maksimum tulangan sudah mengalami leleh.
4. Tegangan tulangan tarik hasil analisis pada kondisi beban maksimum lebih besar 5,88% dibandingkan kondisi leleh hasil pengujian kuat tarik tulangan.

E.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya dalam melakukan analisis *finite element LUSAS* disarankan ketika memasukan material beton dan tulangan baja, data parameter seperti *creep*, *damage*, *shrinkage* dan *viscous* dimasukkan agar hasil analisis bisa lebih akurat.
2. Dalam memasukkan data material pada analisis menggunakan *finite element* harus hati-hati dalam satuan agar hasil analisis yang didapatkan tepat.

F. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian ini, terutama kepada:

1. Orang tua yang selalu tanpa henti memberikan motivasi serta kepercayaan selama penelitian ini.
2. Kemenristek Dikti yang telah mendanai dan mendukung penelitian ini.

G. Daftar Pustaka

Amir, F. (2010). Balok Tampang Persegi Secara Eksperimental di Laboratorium dengan Program Response 2000.
Dipohusodo, I. (1994). Struktur Beton

Bertulang. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Intansari, W. R. O. (2012). Pemanfaatan Program Bantu Analisa Struktur LUSAS Untuk Mengevaluasi Ketahanan Api Elemen Struktur Beton Bertulang Pada Kasus ACI 216R-89.

Nawy,E.G, Tavio, Kusuma,G (2010). *Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar*. Surabaya: ITS Press.

Nawy, E. G. (2005). *Reinforced Concrete A Fundamental Approach* (5th ed.). New Jersey.

SNI 07-2529-1991. (1991). *Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton*. Bandung: Badan Standar Nasional.

Widnyana, I. N. S. (2010). Permodelan Prototipe Balok-T Jembatan Dengan Pelat Baja sebagai Perkuatan Lentur. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4) Sanur-Bali, 2-3 Juni 2010*, (KoNTekS 4).

Widyawati, R. (2010). Pemodelan Benda Uji Balok Kayu Laminasi Komposit Duren-Sengon. *Jurnal Rekayasa Vol. 14 No. 3, Desember 2010*.