



**ANALISIS NUMERIK BALOK LANTAI DAN BALOK
T MENGGUNAKAN *SOFTWARE ABAQUS 6.13***

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil**

Oleh

Alfaro Rocky Gautama

NIM 5113414037

**TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (Unnes) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Peneliti.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang 3 Januari 2020
Yang membuat pernyataan



Alfaro Rocky Gautama
NIM.5113414037

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Alfaro Rocky Gautama
NIM : 5113414037
Program Studi : Teknik Sipil, S1
Judul Skripsi : Analisis Numerik Balok Lantai dan Balok T Menggunakan
Software Abaqus 6.13

Skripsi tersebut telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang
panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Teknik Sipil IT, UNNES.

Semarang, 3 Januari 2020
Pembimbing



Dr. Mahmut Kori Effendi S.T., M.T.
NIP.198004022006041001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul ANALISIS NUMERIK BALOK LANTAI DAN BALOK T MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS 6.13 telah dipertahan di Jepang sidang Panitia Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 3...bulan Januari.....tahun 2020.

Oleh:

Nama : Alfaro Rocky Gautama
NIM : 5113414037
Program Studi : Teknik Sipil, S1

Panitia

Ketua

[Signature of Aris Widodo]

Aris Widodo, S.Pd., M.T.
NIP.197102071999031001

Sekretaris

[Signature of Dr. Rini Kusumawardani]

Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.
NIP.197809212005012001

Penguji I

[Signature of Dr. Rini Kusumawardani]

Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.
NIP.197809212005012001

Penguji II

[Signature of Endah Kanti Pangestuti]

Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T.
NIP.197207091998032003

Penguji III / Pembimbing

[Signature of Dr. Mahmud Kori Effendi]

Dr. Mahmud Kori Effendi S.T., M.T.
NIP.198004022006041001

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik Unnes



[Signature of Dr. Nur Qadus]
Dr. Nur Qadus, M.T., IPM
NIP.196911301994031001

MOTTO

*Apa pun juga yang kamu perbuat, perbuatlah dengan segenap hatimu seperti
untuk Tuhan dan bukan untuk manusia.*

(Kolose 3 : 23)

*Tetapi carilah dahulu Kerajaan Allah dan kebenarannya , maka semuanya itu
akan ditambahkan kepadamu*

(Matius 6 : 33)

*Usahakanlah supaya engkau layak di hadapan Allah sebagai seorang pekerja
yang tidak usah malu, yang berterus-terang membeberitakan perkataan
kebenaran itu.*

(2 Timotius 2 : 15)

PERSEMBAHAN

Yang terutama untuk Tuhan Yesus Kristus yang masih mengizinkanku untuk menyelesaikan skripsi ini

Untuk Ayah (Edi Sudharto), Ibu (Yoyok Apriyati) dan Kakak - kakaku tercinta (Nova Editya Sidharta dan Evelyn Etsa Surya)

Dukungan, semangat dan doanya yang membuatku selalu optimis untuk menyelesaikan skripsi ini

Untuk Guru dan Dosenku

Terimakasih atas kesabaranmu yang sudah memberikan ilmumu dengan ikhlas kepadaku dan dengan sabar membimbingku

Untuk teman-teman seperjuanganku

Terimakasih atas semua bantuan moril maupun ilmu yang membuatku dapat menyelesaikan skripsi ini

ABSTRAK

. Beton bertulang merupakan material yang banyak digunakan untuk membuat struktur bangunan karena material pembentuknya yang mudah didapat. Dalam merencanakan sebuah sistem struktur bangunan, perencanaan balok dan kolom didasari pada balok kuat kolom lemah. Sistem struktur beton bertulang seperti lantai dan atap hampir monolitik, kecuali sistem pracetak. Balok-balok dan pelat-pelat pada saat dicor akan menjadi satu kesatuan dan kemudian pada balok-balok tersebut akan ada lebar tambahan di atasnya yang disebut *flensa*. Balok berflensa dapat disebut dengan balok T.

Permodelan analisa balok T ini menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software Abaqus*. Desain balok T mengikuti panduan SNI 2847-2013. Data Material yang digunakan berdasarkan jurnal Internasional penelitian yang dilakukan Katarzyna Ciesielczyk di *Poznan University of Technology, Poland*. Melalui metode elemen hingga dapat mengetahui perilaku balok T dan balok lantai dari hasil analisa simulasi menggunakan *software Abaqus 6.13.*

Hasil analisa menggunakan *software Abaqus CAE* menunjukkan beban ultimate balok T sebesar 622695 N pada lendutan 92 mm sedangkan balok lantai menunjukkan beban ultimate sebesar 652902 N pada lendutan 88 mm. Perilaku balok T dan balok lantai dilihat dari grafik hubungan beban dan lendutan hampir sama dengan rasio beban ultimate balok T terhadap balok lantai sebesar 95 % dan masih bisa menahan beban rencana sebesar 418362 N. Kemudian pengamatan balok T akan dikomparasikan dengan penerapannya pada lantai struktur dengan demikian pendekatan balok T sudah cukup untuk merencanakan balok lantai.

Kata Kunci : Balok T, Balok lantai, Abaqus, lendutan

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus dan mengharapkan berkat yang telah melimpahkan anugrah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Numerik Balok T dan Balok Lantai menggunakan *Software Abaqus 6.13*. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.

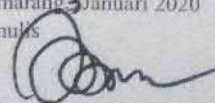
Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih penghargaan kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum. Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus M.T, Dekan Fakultas Teknik, yang telah memberi bimbingan dengan menerima kehadiran penulis setiap saat disertai kesabaran, ketelitian, masukan-masukan yang berharga untuk menyelesaikan karya ini.
3. Aris Widodo, S.Pd., M.T Ketua Jurusan Teknik Sipil, yang telah memberi bimbingan dengan menerima kehadiran penulis setiap saat disertai kesabaran, ketelitian, masukan-masukan yang berharga untuk menyelesaikan karya ini.
4. Dr. Rini Kusumawardani S.T., M.T., M.Sc. Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil dan sebagai Penguji I yang telah memberi bimbingan dengan menerima kehadiran penulis setiap saat disertai kesabaran, ketelitian, masukan-masukan yang berharga untuk menyelesaikan karya ini.
5. Endah Kanti P. S.T., M.T. sebagai Penguji II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
6. Dr. Mahmud Kori Effendi S.T., M.T. pembimbing yang penuh perhatian dan berkenan memberikan bahan, bimbingan, dan menunjukkan sumber-sumber yang relevan sangat membantu penulisan karya ini.
7. Semua dosen Teknik Sipil FT. Unnes yang telah memberi bekal ilmu yang berharga.
8. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk memicu penelitian lain yang relevan di bidang transportasi.

Semarang 3 Januari 2020

Penulis



Alfaro Rocky Gautama

NIM 5113414037

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN.....	iv
<i>MOTTO</i>	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Pembatasan Masalah	2
1.4. Perumusan Masalah.....	3
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penelitian.....	3
1.7. Penegasan Istilah	4
BAB II STUDI PUSTAKA.....	6
2.1. Beton Bertulang.....	6
2.1.1 Material Beton Bertulang.....	6
2.1.2 Hubungan Beton dan Baja	7
2.2. Gaya-Gaya Statis.....	8
2.3. Hubungan Antara Beban dan Lendutan.....	9
2.4. Pola Keretakan	10
2.5. Pengertian Umum Balok T	12
2.5.1. Analisis Penampang Balok dengan Flens T.....	13
2.6. Pengertian Balok Lantai (<i>Floor Beams</i>).....	20
2.7. Permodelan Elemen Hingga	20
2.8. <i>Preprocessing</i>	25

2.9.	Simulasi	27
2.10.	Post Processing.....	27
BAB III METODE PENELITIAN		28
3.1.	Materi Penelitian	28
3.2.	Peralatan Penelitian	29
3.3.	Setup Penelitian.....	29
	3.3.1. Balok-T	29
	3.3.2. Balok Lantai	30
3.4.	Bagan Alir Penelitian	33
3.5.	Metode Analisa	34
	3.5.1. Pembuatan <i>Part 1</i> Bagian Elemen.....	34
	3.5.2. Material	37
	3.5.3. <i>Assembly</i>	48
	3.5.4. <i>Step</i>	49
	3.5.5. <i>Load</i>	50
	3.5.6. <i>Mesh</i>	51
	3.5.7. <i>Job</i>	54
	3.5.8. <i>Post processing</i>	54
	3.5.8.1 Pengambilan Data Beban dari Reaksi Tumpuan	55
	3.5.8.2 Pengambilan Data Lendutan.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		58
4.1.	Hubungan Beban dan Lendutan	58
4.2.	Perhitungan Secara Teoritis	60
	4.2.1. Balok T.....	60
BAB V PENUTUP		65
5.1.	Kesimpulan	65
5.2.	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kedudukan Batang-batang Tulangan dalam Balok Beton Bertulang.	7
Gambar 2.2 Hubungan antara Beban-Lendutan pada Balok (Nawy, 2003).....	10
Gambar 2.3 Retak pada Balok Beton Bertulang (Gilbert, 1990).....	12
Gambar 2.4 Penampang Balok Monolit pada Pelat	13
Gambar 2.5 Balok T dengan $c < hf$	15
Gambar 2.6 Analogi Balok T.....	16
Gambar 2.7 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok T	17
Gambar 2.8 Bagan Alir Analisis Balok T.....	19
Gambar 2.9 Macam-macam Model Elemen . (Hibbitt, 2006)	22
Gambar 2.10 Three Dimensional Solid Element (Hibbitt, 2006)	22
Gambar 2.11 Truss Elemen (Hibbitt, 2006)	24
Gambar 2.12 Konsep Embedded Elemen (Hibbitt, 2006).....	24
Gambar 3.1 Hubungan Tegangan-Regangan Beton.....	28
Gambar 3.2 Hubungan Tegangan-Regangan Baja.....	29
Gambar 3.3 Penampang Memanjang Balok T (Software AutoCAD, 2019)	29
Gambar 3.4 Potongan 1-1 dan 2-2 (Software AutoCAD, 2019).....	30
Gambar 3.5 Pembebanan model balok-T (Software Abaqus 6.13, 2019).....	30
Gambar 3.6 Penampang Balok Lantai (Software Abaqus 6.13, 2019).....	31
Gambar 3.7 Potongan 1-1 (Software AutoCAD, 2019)	31
Gambar 3.8 Potongan 2-2 (Software AutoCAD, 2019)	31
Gambar 3.9 Pembebanan model balok lantai (Software Abaqus 6.13, 2019)	32
Gambar 3.10 Bagan Alir Penelitian	33
Gambar 3.11 Tampilan untuk memilih create part (Software Abaqus 6.13, 2019)	34
Gambar 3.12 Input membuat Part dengan cara Solid Extrusion (Software Abaqus 6.13, 2019).....	35
Gambar 3.13 Menggambar untuk memuat part dari penampang (Software Abaqus 6.13, 2019).....	35

Gambar 3.14 Proses memasukkan extraction dari penampang menjadi bentuk balok solid 3D (Software Abaqus 6.13, 2019)	36
Gambar 3.15 Geometrik part balok beton solid 3D yang selesai di buat (Software Abaqus 6.13, 2019).....	36
Gambar 3.16 Memasukan material (Software Abaqus 6.13, 2019).....	39
Gambar 3.17 Memasukan Data Elastisitas (Software Abaqus 6.13, 2019).....	39
Gambar 3.18 Memasukan Concrete Damaged Plasticity (Software Abaqus 6.13, 2019)	40
Gambar 3.19 Memasukan Compressive Behavior (Software Abaqus 6.13, 2019)	40
Gambar 3.20 Memasukkan Data Elastic (Software Abaqus 6.13, 2019).....	43
Gambar 3.21 Memasukkan Data Plastic (Software Abaqus 6.13, 2019)	43
Gambar 3.22 Perintah <i>Create Section</i> (Software Abaqus 6.13, 2019)	44
Gambar 3.23 Perintah Edit Setion (Software Abaqus 6.13, 2019)	44
Gambar 3.24 Perintah Assign Section (Software Abaqus 6.13, 2019)	45
Gambar 3.25 Cell dari Part yang Dipasangkan Section (Software Abaqus 6.13, 2019)	45
Gambar 3.26 Create Section Truss Element (Software Abaqus 6.13, 2019)	46
Gambar 3.27 Masukkan Baja dan Luasan Penampang Tulangan Dengan Truss Element (Software Abaqus 6.13, 2019).....	46
Gambar 3.28 Perintah Assign Section (Software Abaqus 6.13, 2019)	47
Gambar 3.29 Memasukkan Section Pada Part (Software Abaqus 6.13, 2019) ...	47
Gambar 3.30 Penulangan Model Balok-T (Software Abaqus 6.13, 2019)	48
Gambar 3.31 Pemodelan Balok-T (Software Abaqus 6.13, 2019)	48
Gambar 3.32 Create Step (Software Abaqus 6.13, 2019)	49
Gambar 3.33 Pembuatan Field Output Request (Software Abaqus 6.13, 2019) .	50
Gambar 3.34 Load pada balok (Software Abaqus 6.13, 2019).....	51
Gambar 3.35 Memasukkan Ukuran Mesh (Software Abaqus 6.13, 2019)	52
Gambar 3.36 Menampilkan Mesh yang Dibuat (Software Abaqus 6.13, 2019) .	52
Gambar 3.37 Menu Element Type (Software Abaqus 6.13, 2019).....	53
Gambar 3.38 Input Job (Software Abaqus 6.13, 2019).....	54

Gambar 3.39 Result pada modul job (Software Abaqus 6.13, 2019)	54
Gambar 3.40 Modul Visualization (Software Abaqus 6.13, 2019)	55
Gambar 3.41 ODB Field Output (Software Abaqus 6.13, 2019).....	55
Gambar 3.42 Pemilihan data Reaction force (Software Abaqus 6.13, 2019).....	56
Gambar 3.43 Edit Selection Reaction Force (Software Abaqus 6.13, 2019)	56
Gambar 3.44 ODB Field Output lendutan(Software Abaqus 6.13, 2019)	57
Gambar 3.45 Edit selection lendutan(Software Abaqus 6.13, 2019).....	57
Gambar 4.1 Grafik hubungan beban dan lendutan.....	58
Gambar 4. 2 Lendutan pada balok T	59
Gambar 4. 3 Lendutan pada balok lantai.....	59
Gambar 4. 4 Distribusi regangan pada balok T	60
Gambar 4. 5 Distribusi regangan pada balok lantai	60
Gambar 4. 6 Penampang Balok T	61
Gambar 4. 7 Rumus balok tumpuan jepit beban merata	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data umum yang digunakan dalam penelitian	28
Tabel 3.2 Data Part atau Bagian Elemen.....	34
Tabel 3.3 Data Parameter Plasticity Beton.....	37
Tabel 3.4 Data Konstitutif Desak Beton	37
Tabel 3.5 Data Konstitutif Tarik Beton.....	38
Tabel 3.6 Parameter Elasticity Baja.....	41
Tabel 3.7 Parameter Plasticity Baja	41
Tabel 4. 1 Parameter Beban Ultimate Balok T dan Balok Lantai	58
Tabel 4. 2 Rasio beban ultimate balok T dan balok lantai	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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.

Balok adalah merupakan komponen struktural suatu konstruksi yang memiliki peran untuk memikul beban lentur, geser, dan aksial. Dalam memikul beban struktur balok akan mengalami gaya-gaya dalam berupa momen, geser, dan normal serta juga akan mengalami deformasi. Balok yang menggunakan material beton akan mempunyai kelemahan dalam hal menahan tarik maka untuk menambah kekuatan tarik dari beton digunakanlah tulangan baja yang dipasang didaerah tarik. Penambahan tulangan tarik pada balok beton akan menyebabkan perbedaan pola keruntuhan beton yang terjadi. Dalam desain lentur tulangan tarik harus didesain memenuhi persyaratan daktilitas agar keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik yang bersifat daktil, dan harus dihindari desain tulangan dengan keruntuhan tekan yang bersifat mendadak getas. Sebagian besar struktur beton dapat dibagi menjadi balok dan pelat beton yang berperan utama terkena dampak oleh beban

lentur. *Pelat* dan balok bekerja bersama-sama dalam menahan beban yang diterapkan. Maka dari itu balok akan mempunyai perpanjangan pada bagian atas yang disebut flensa dan pada bagian balok di bawah pelat disebut *web*. Pada balok-T, penting untuk memastikan interaksi antara balok dan pelat terhubung dengan solid.

Penelitian ini akan membandingkan perilaku balok T dalam suatu struktur rangka beton dan balok lantai. Berdasarkan latar belakang diatas maka menarik untuk dikaji peneliitian “Analisis Numerik Balok Lantai dan Balok T Menggunakan *Software Abaqus 6.13*”

1.2. Identifikasi Masalah

Permasalahan perilaku struktur balok-T bisa diidentifikasi sebagai berikut :

1. Perilaku lentur balok-T dan balok lantai.
2. Pendekatan perhitungan balok T pada balok lantai.

1.3. Pembatasan Masalah

Untuk memperjelas pembahasandari identifikasi masalah yang ada, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Benda uji dan material property yang digunakan adalah balok-T dan balok lantai bertulang dengan modulus elastisitas beton 30.000 MPa dan *Poisson's ratio* sebesar 0.2 mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Katarzyna Ciesielczyk di *Poznan University of Technology, Poland*.
2. Permodelan beban pada balok-T sudah termasuk beban sendiri balok.

3. Pengujian balok-T menggunakan Static Pressure Loading pada permukaan atas balok-T untuk mengetahui momen lentur dan melihat model keruntuhannya.
4. Analisis yang dilakukan berupa :
 - a. Hubungan beban dan lendutan pada balok-T dan balok lantai.
5. Penelitian menggunakan *Software Abaqus 6.13*.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah maka diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perilaku lentur balok-T tunggal dan balok lantai dari hasil simulasi menggunakan *software Abaqus 6.13* ?
2. Bagaimana pendekatan perhitungan balok T pada perencanaan balok lantai?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka penelitian bertujuan untuk mengetahui :

1. Untuk mengetahui perilaku lentur balok-T dan balok lantai dari hasil analisa simulasi menggunakan *software Abaqus 6.13*.
2. Untuk mengetahui pendekatan perhitungan balok T pada perencanaan balok lantai.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian adalah :

1. Dapat mengetahui perilaku lentur balok-T dan balok lantai rangka beton dan hasil simulasi menggunakan *software Abaqus 6.13*.
2. Dapat mengetahui pendekatan perhitungan balok T pada perencanaan balok lantai.

1.7. Penegasan Istilah

Tulisan ini membahas mengenai Analisis Numerik Balok Lantai dan Balok-T Menggunakan *Software Abaqus 6.13*, untuk itu penulis perlu memberikan penegasan dan penjelasan seperlunya sebagai berikut :

1. Analisis

Pengertian analisis adalah penguraian suatu pokok atas berbagai bagiannya dan penelaahan bagian itu sendiri serta hubungan antar bagian untuk memperoleh pengertian yang tepat dan pemahaman arti keseluruhan.(KBBI, 2002).

2. Balok-T

Pada umumnya pelat-pelat lantai dan balok-balok merupakan satu kesatuan secara otomatis balok-balok dilengkapi dengan suatu tambahan lebar dibagian atasnya yang disebut flens. Balok-balok seperti itu dikenal sebagai balok-balok T. Bagian balok dibawah flens disebut badan. Tegangan lentur flens tidak sama untuk tiap balok tegangan ini terbesar pada badan dan cenderung untuk turun sesuai dengan jarak dari badan. (Ferguson dkk, 1994).

3. *Software Abaqus*

Software Abaqus adalah paket program simulasi rekayasa, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relatif sederhana sampai simulasi non-linier yang paling kompleks. Program *Abaqus* berisi perpustakaan yang luas dari unsur-unsur yang dapat memodelkan hampir semua geometri apapun. Program *Abaqus* memiliki daftar yang sangat luas dari model material yang dapat mensimulasikan perilaku sebagian besar bahan rekayasa, termasuk logam, karet, polimer, komposit, beton

bertulang, dan bahan geoteknik seperti tanah dan batuan. Pengembangan bahasa program dalam *Abaqus* memungkinkan para desainer lebih mudah dalam memilih metode yang digunakan dalam melakukan proses simulasi dan analisis (*ABAQUS CAE User manual*, 2003).

BAB II

STUDI PUSTAKA

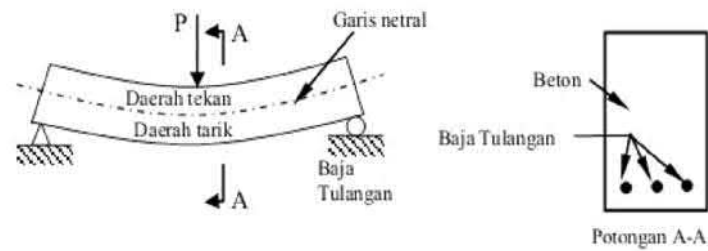
2.1. Beton Bertulang

2.1.1 Material Beton Bertulang

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang terdapat bahan aditif yang ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), *durabilitas*, dan waktu pengerjaan. (Nawy, 1996)

Seperti halnya pada material mirip batuan lainnya, beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat rendah. Agar bisa digunakan dengan baik dalam suatu struktur, beton harus dikombinasikan dengan bahan yang memiliki kuat tarik bagus seperti baja tulangan, sehingga jadilah suatu bahan struktur yang disebut dengan beton bertulang. Dengan kata lain, beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja, dimana tulangan baja berfungsi untuk menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton.

Gambar 2.1 memperlihatkan kekuatan balok yang secara nyata dapat ditingkatkan dengan menambahkan baja tulangan di daerah tarik.



Gambar 2.1 Kedudukan Batang-batang Tulangan dalam Balok Beton Bertulang.

Selain untuk meningkatkan kuat tarik pada balok, baja tulangan yang mampu menerima tekan dan tarik juga dimanfaatkan untuk menyediakan sebagian dari daya dukung kolom beton dan kadang-kadang didalam daerah tekan balok.

2.1.2 Hubungan Beton dan Baja

Beton dan tulangan baja bekerjasama dengan baik dalam struktur beton bertulang. Kelebihan masing-masing material tampaknya saling menutupi kelemahannya masing-masing. Sebagai contoh, kelemahan utama beton adalah kuat tariknya yang rendah, tetapi kuat tarik adalah kelebihan utama pada baja. Tulangan baja memiliki kuat tarik hampir 100 kali lebih besar daripada kuat tarik beton biasa.

Kedua bahan tersebut saling berikatan dengan sangat baik sehingga tidak terjadi gelincir diantara keduanya, dan oleh karenanya dapat bekerja sama sebagai suatu kesatuan dalam menahan gaya-gaya yang terjadi. Ikatan yang baik ini dapat terjadi karena adhesi kimia yang baik antara kedua bahan, kekasaran alami yang dimiliki tulangan, dan ulir berjarak dekat yang ada pada permukaan tulangan.

(Nawy, 1996)

2.2. Gaya-Gaya Statis

Perilaku statis suatu struktur adalah respon struktur akibat beban statis. Beban statis adalah beban yang mempunyai arah yang tetap. Respon struktur akibat gaya statis ini ditunjukkan dengan deformasi yang terjadi pada struktur. Jika deformasi yang terjadi sudah mencapai regangan retak, maka respon struktur akan menunjukkan fenomena retak. Dari pengamatan respon struktur akibat gaya statis dapat diketahui kekuatan struktur, yang dimaksud dengan kekuatan struktur adalah kemampuan struktur menerima beban luar yang besarnya makin meningkat hingga struktur mencapai keruntuhan. Kemampuan struktur ditunjukkan dengan kekakuan struktur yang diperoleh dari hubungan antara gaya dan lendutan. Selain itu dapat diketahui perilaku statis lainnya yaitu pola retak struktur hingga mencapai keruntuhan (Riyanto, 2010).

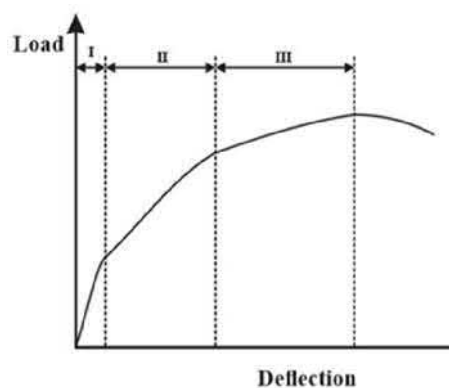
Gaya-gaya statis pada umumnya dapat dibagi lagi menjadi beban mati, beban hidup, dan beban akibat penurunan atau efek termal. Beban mati, adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, partisi yang dapat dipindahkan, adalah beban mati. Berat eksak elemen-elemen ini pada umumnya diketahui atau dapat dengan mudah ditentukan dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur

2.3. Hubungan Antara Beban dan Lendutan

Hubungan antara beban dan lendutan balok beton bertulang seperti pada gambar 2.2. Hubungan antara beban dan lendutan terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya runtuh (Nawy, 2003) sebagai berikut:

- a. Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batangnya strukturalnya bebas retak. Segmen praretak dari kurva beban - defleksi 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.
- b. Daerah II : Taraf beban pascaretak, 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 tumpuan 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.
- c. Daerah III : Taraf retak pasca-*serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban defleksi daerah III jauh lebih datar dibanding daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekuatan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang. Jika beban terus ditambah, maka regangan s pada

tulangan sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya 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*.



Gambar 2.2 Hubungan antara Beban-Lendutan pada Balok (Nawy, 2003)

2.4. Pola Keretakan

Retak adalah jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada struktur beton, yang secara visual tampak seperti garis. Retak yang terjadi pada saat beton mulai mengeras (beton belum mampu menahan beban layan) antara lain terjadi karena pembekuan udara dingin (pada daerah dengan musim dingin), susut (*shrinkage*), serta penurunan (*settlement*). Retak yang terjadi saat beton mengeras salah satunya adalah retak structural. Retak ini terjadi karena adanya pembebanan

yang mengakibatkan timbulnya tegangan lentur, tegangan geser, dan tegangan tarik (Aziz, 2014).

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert, 1990):

1. Retak Lentur (*flexural crack*)

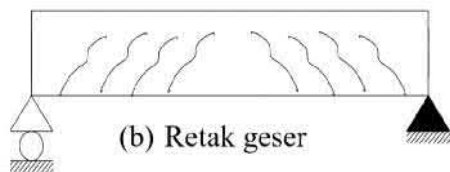
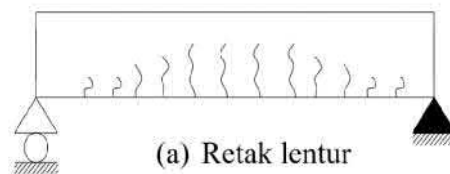
Retak yang terjadi akibat beban lentur yang jauh lebih besar dari beban geser. Terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok.

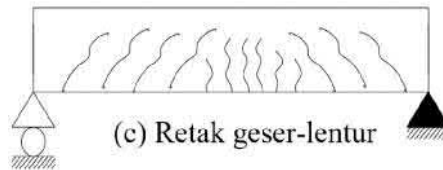
2. Retak Geser (*shear crack*)

Retak yang terjadi akibat gaya geser, dan bentuk dari retak ini akan membentuk sudut 45° terhadap gaya yang bekerja pada komponen tersebut. Retak ini terjadi pada lokasi yang belum mengalami retak lentur, dan hal ini terjadi karena gaya geser yang ada lebih besar dari momen yang terjadi.

3. Retak geser-lentur (*flexural shear crack*)

Retak yang terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.





Gambar 2.3 Retak pada Balok Beton Bertulang (Gilbert, 1990)

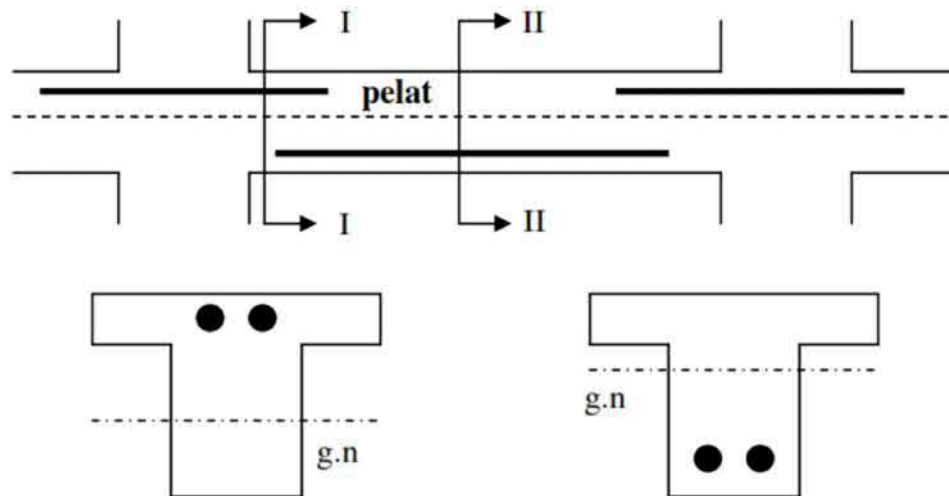
2.5. Pengertian Umum Balok T

Pada umumnya pelat-pelat lantai dan balok-balok merupakan satu kesatuan secara otomatis balok-balok dilengkapi dengan suatu tambahan lebar dibagian atasnya yang disebut flens. Balok-balok seperti itu dikenal sebagai balok-balok T. Bagian balok dibawah flens disebut badan. Tegangan lentur flens tidak sama untuk tiap balok tegangan ini terbesar pada badan dan cenderung untuk turun sesuai dengan jarak dar badan. (Ferguson dkk, 1994).

Balok berflens terutama digunakan pada penampang-penampang pada lapangan. Hal ini adalah karena dilapangan *flens* mengalami tekan, artinya *flens* mempunyai kontribusi terhadap kekuatan momen pada lapangan. Pada tumpuan, *flens* mengalami tarik; dengan demikian bagian tumpuan diabaikan dalam perhitungan kekuatan momen penampang tumpuan. Dengan perkataan lain, penampang balok adalah penampang terbalik, bertulang rangkap yang mempunyai tekan A_s' di bagian bawah dan tulangan A_s di bagian atas. Prinsip-prinsip dasar yang digunakan dalam desain balok segiempat juga berlaku untuk balok-T. Perbedaan utama antar penampang segiempat dengan penampang balok-T adalah dalam perhitungan gaya tekan C_c Bergantung pada tinggi garis netral c . (Nawy, 1990).

2.5.1. Analisis Penampang Balok dengan Flens T

Penampang balok T dan L terutama digunakan pada daerah lapangan seperti diperlihatkan pada gambar 2.4. Hal ini dikarenakan pada penampang yang terletak di daerah lapangan flens mengalami tekan, artinya flens mempunyai pengaruh terhadap kapasitas momen internal di daerah lapangan. Sebaliknya di daerah tumpuan, flens mengalami tarik, dengan demikian diabaikan dalam perhitungan kekuatan penampang.



Gambar 2.4 Penampang Balok Monolit pada Pelat

Lebar bagian pelat yang diperhitungkan dapat bekerjasama dengan balok (lebar flens) harus ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 2847-2013.

Peraturan SNI 2847-2013

Dalam pemodelan balok-T mengacu pada SNI 2847-2013 pasal 8.12 tentang Konstruksi balok-T :

-) **8.12** Konstruksi balok-T
-) **8.12.1** Pada konstruksi balok-T, sayap dan badan balok harus dibangun menyatu bila tidak harus dilekatkan bersama secara efektif.

-) **8.12.2** Lebar pelat efektif sebagai sayap balok-T tidak boleh melebihi seperempat panjang bentang balok, dan lebar efektif sayap yang menggantung pada masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi :
- (a) Delapan kali tebal pelat; dan
 - (b) Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya.
-) **8.12.3.** Untuk balok dengan pelat pada satu sisi saja, lebar sayap efektif yang menggantung tidak boleh melebihi:
- (a) Seperduabelas panjang bentang balok;
 - (b) Enam kali tebal pelat; dan
 - (c) Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya
-) **8.12.4** Balok yang terpisah, dimana bentuk-T digunakan untuk memberikan sayap untuk luasan tekan tambahan, harus mempunyai ketebalan sayap tidak kurang dari setengah lebar badan dan lebar efektif sayap tidak lebih dari empat kali lebar badan.
-) **8.12.5** Bila tulangan lentur utama pada pelat yang dianggap sebagai sayap balok-T (tidak termasuk konstruksi balok usuk) paralel dengan balok, tulangan tegak lurus terhadap balok harus disediakan pada sisi teratas pelat sesuai dengan berikut ini:
-) **8.12.5.1** Tulangan transversal harus didesain untuk memikul beban terfaktor pada lebar pelat yang menggantung yang diasumsikan bekerja sebagai kantilever, untuk balok yang terpisah, seluruh lebar sayap yang

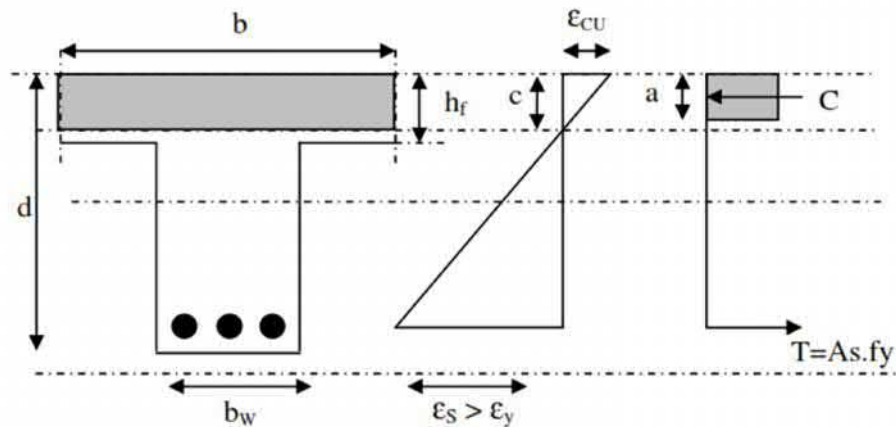
menggantung harus diperhitungkan. Untuk balok-T lainnya, hanya lebar efektif pelat yang menggantung perlu diperhitungkan.

-) **8.12.5.2** Tulangan transversal harus dispasikan tidak lebih jauh dari lima kali tebal pelat, atau juga tidak melebihi 450 mm.

Balok T adalah balok pada bagian interior sedangkan balok L terletak pada bagian eksterior. Prinsip-prinsip dasar yang digunakan dalam perhitungan balok persegi juga berlaku untuk balok T maupun balok L. Perbedaan pokok terletak pada perhitungan gaya tekan blok beton (C) yang tergantung dari tinggi garis netral (c), sebagai berikut:

- a. Balok T “Palsu”

Kasus pada balok T atau L dimana garis netral berada di dalam flens ($c < h_f$), seperti ditunjukkan pada Gambar 4-8. Kasus ini juga berlaku jika $c > h_f$ dan $a < h_f$ sehingga parameter desain yang diuraikan juga masih dapat digunakan.



Gambar 2.5 Balok T dengan $c < h_f$

Agar kondisi $c < h_f$ dapat terjadi maka luasan tulangan Tarik A_s harus memenuhi:

$$A_s \geq \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot h_f}{f_y}$$

Dalam kondisi keseimbangan gaya-gaya dalam:

$$C = T$$

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

Sehingga diperoleh

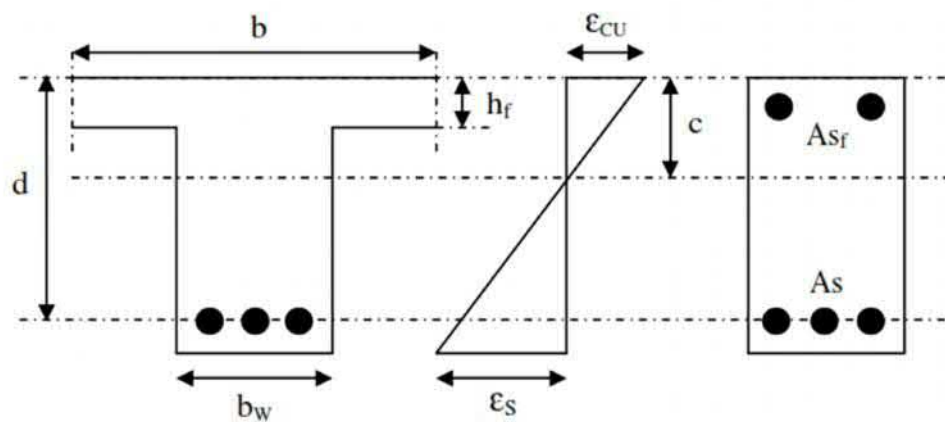
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

sedangkan kekuatan lentur nominal dapat dihitung dengan:

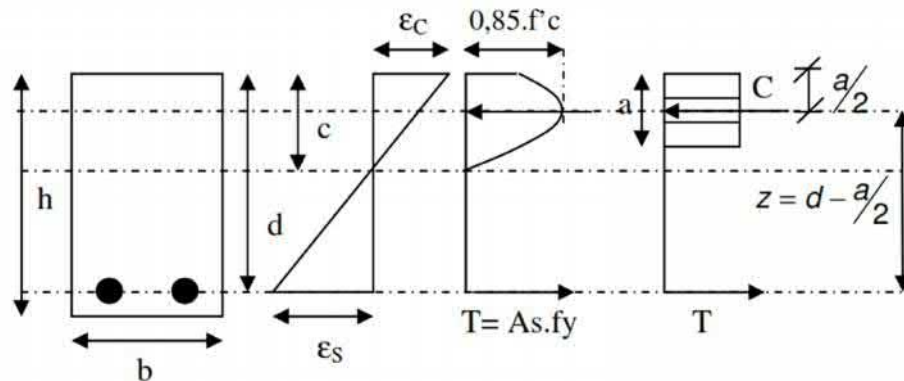
$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot d \cdot Z \frac{a}{2}$$

b. Balok T “Murni”

Balok T yang dimana garis netral berada di dalam flens ($c > h_f$) dan tinggi balok tegangan segi-empat ekuivalen juga lebih besar dari tinggi flens ($a > h_f$).



Gambar 2.6 Analogi Balok T



Gambar 2.7 Distribusi Tegangan dan Regangan Balok T

Untuk balok-T dapat diberlakukan serupa dengan balok persegi bertulangan rangkap, dengan menggantikan bagian pelat dari “flens” menjadi suatu penulangan imajiner yang luasnya:

$$A_{s_f} \times \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_f}{f_y}$$

Untuk balok yang diasumsikan sebagai balok T “murni”, gaya Tarik sebesar $A_s \cdot f_y$ dari tulangan harus lebih besar daripada kapasitas gaya luas flens total sebesar $0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot h_f$ sehingga:

$$a \times \frac{A_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \geq h_f$$

Untuk menjamin perilaku duktail maka diberikan batasan penulangan:

$$\rho \geq \rho_{min}$$

dimana:

$$\rho_{min} \geq \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \rho_1 \cdot \frac{600}{600 - \Gamma f_y}$$

$$\rho_f \geq 0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot \frac{h_f}{f_y \cdot b_w \cdot d}$$

Sedangkan untuk persyaratan tulangan minimum:

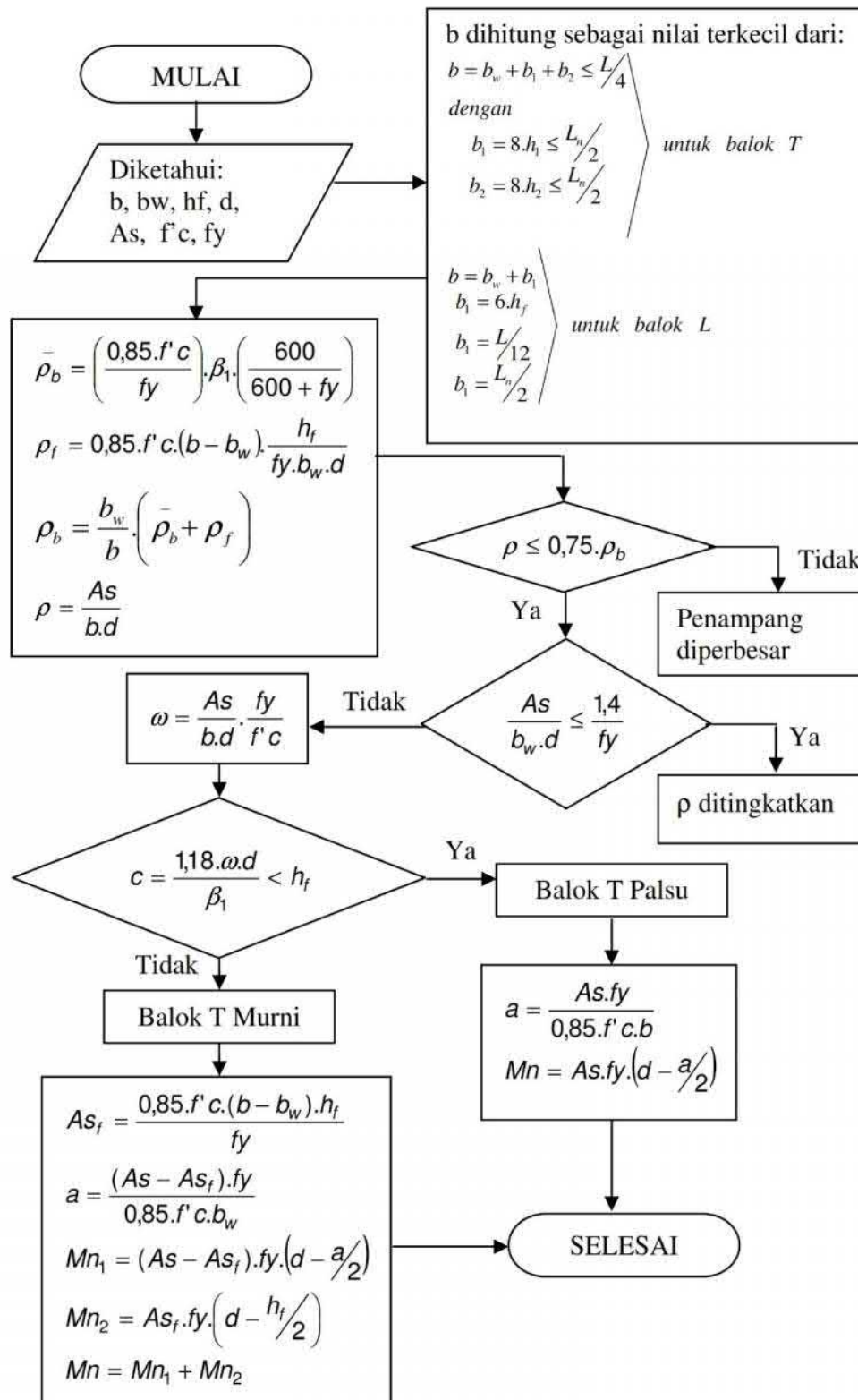
$$\rho_w \times \frac{As}{b_w \cdot d} \geq \frac{1,4}{f_y}$$

Tulangan Tarik beton bertulang rangkap dipandang menjadi dua bagian yaitu As_1 yang mengimbangi gaya tekan segi-empat seluas $b_w \cdot a$ dan As_2 untuk mengimbangi luas tulangan imajiner As_f , sehingga momen nominal dapat dihitung:

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$Mn_1 = As_1 \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + (As - As_f) \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn_2 = As_2 \cdot f_y \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + (As_f - As_y) \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

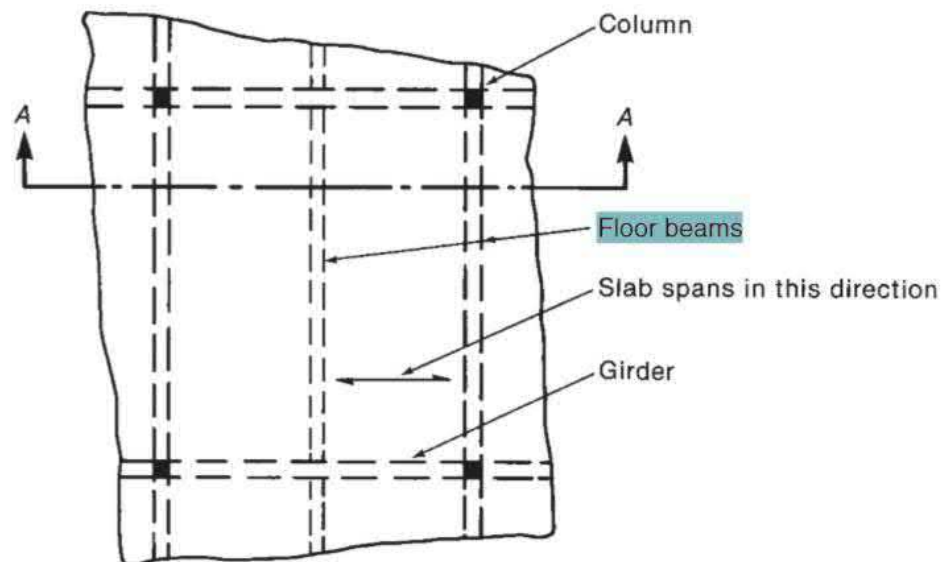


Gambar 2.8 Bagan Alir Analisis Balok T

2.6. Pengertian Balok Lantai (*Floor Beams*)

Balok lantai (*floor beams*) adalah balok yang menopang langsung beban lantai suatu bangunan dan mentransfer beban ke balok atau kolom yang berdekatan.

(Mac Gregor, 2012)



Gambar 2.9 Balok Lantai atau *Floor Beams* (Mac Gregor, 2012)

2.7. Permodelan Elemen Hingga

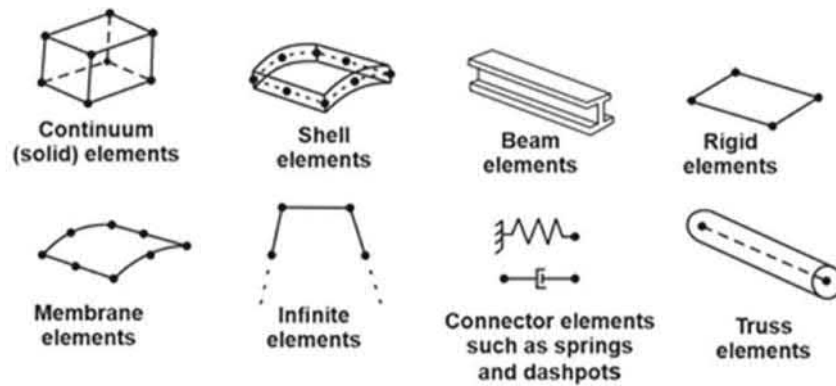
Metode elemen hingga merupakan prosedur numerik yang dapat diterapkan untuk memperoleh solusi dari berbagai macam masalah dalam bidang keteknikan (Saed Moaveni, 1999)

Kurniawan (2014) menjelaskan bahwa *Abaqus* merupakan program komputer berbasis elemen hingga untuk menganalisis berbagai macam permasalahan nonlinier termasuk beton bertulang. Kemampuan program tidak lagi diragukan karena mampu untuk melakukan meshing dengan akurat dengan berbagai pilihan model elemen agar dapat semakin mendekati dengan kondisi

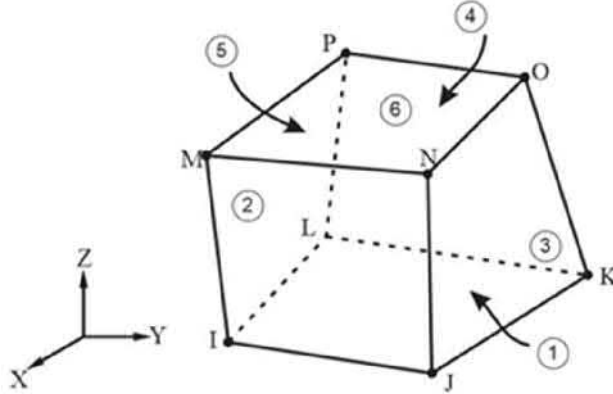
sebenarnya serta mampu melakukan analisis dinamik dan siklik loading. *Abaqus* memberikan solusi berbagai persamaan konstitutif untuk menyelesaikan permasalahan nonlinier sehingga memudahkan pengguna untuk memilih solusi yang tepat untuk model yang akan dianalisis. Beberapa parameter awal yang merupakan sifat material, geometri yang tepat dan pemilihan solusi untuk memecahkan masalah menjadi bagian yang penting. Konsistensi *Abaqus* dalam pengembangan software memberikan kemajuan dalam ketepatan permodelan material, geometri dan model pembebanan sehingga dapat memperoleh hasil yang eksak dan mendekati kondisi nyata. Dalam permodelan, *Abaqus* memberikan banyak pilihan model yang dapat digunakan. Pengguna dapat memilih model sesuai dengan geometri, material, perilaku benda uji yang akan dimodelkan. Gambar 3.13 menunjukkan beberapa bentuk model yang dapat dipilih secara langsung dengan menggunakan program *Abaqus*.

a. Model beton

Dalam permodelannya, beton dimodelkan sebagai *three-dimensional solid part/ continuum element*. Pertimbangannya adalah penggunaan *three-dimensional model* akan memberikan kemungkinan untuk menggunakan kondisi batas yang kompleks dan diharapkan lebih mendekati kondisi aktual sebenarnya dari benda uji. Tipe elemen ini memiliki delapan titik dengan tiga derajat kebebasan pada tiap titiknya dan translasinya pada arah x, y, z. elemen ini mampu untuk melakukan deformasi, retak pada tiga arah sumbu orthogonal dan kemudian hancur. Geometri dan posisi titik dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Macam-macam Model Elemen . (Hibbitt, 2006)



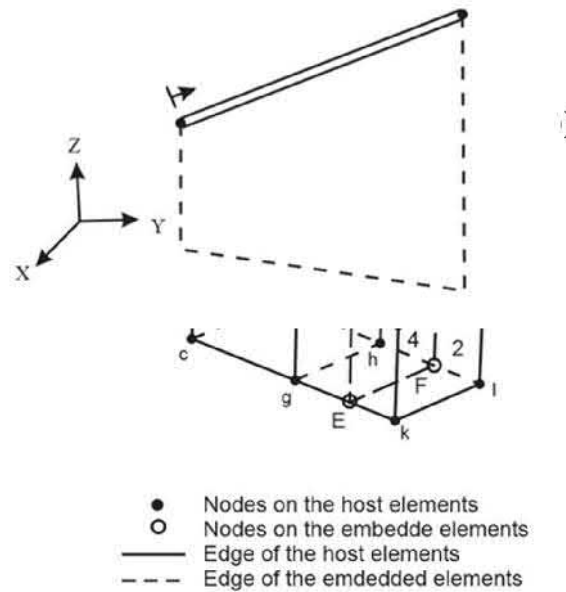
Gambar 2.10 Three Dimensional Solid Element (Hibbitt, 2006)

b. Model baja tulangan dan plat beban

Model truss disediakan *Abaqus* untuk memodelkan baja tulangan. Diperlukan minimal dua titik untuk dapat menggunakan elemen ini. Tiap titiknya memiliki tiga derajat kebebasan dan translasinya pada arah x, y, z. elemen ini memiliki kemampuan untuk mengalami deformasi plastis. Bentuk geometri dan posisi penempatan titik dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Abaqus memberikan dua pilihan untuk mendeskripsikan tulangan diskrit dalam model tiga dimensi. Tulangan dapat didesain sebagai *embedded surface* dengan model rebar layer atau *embedded* dengan menggunakan truss elemen.

Namun umumnya pada pilihan pertama biasanya digunakan dalam permodelan plat, untuk benda uji berupa balok kolom beton atau joint digunakan *embedded of truss element*. Untuk plat sambung digunakan permodelan *embedded* dalam interaksinya dengan elemen beton. Konsep jika interaksi elemen di definisikan sebagai *embedded* maka akan terjadi interaksi yang sama antara elemen *embedded* dengan host elemennya. Translasi derajat kebebasan dari titik *embedded* terkait dengan hasil interpolasi berdasarkan derajat kebebasan dari host elemennya. Jadi host elemen sebagai constrain pada *embedded* elemen, sehingga translasi yang terjadi pada titik *embedded* akan identik dengan host elemennya. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.12 Konsep *Embedded Element* (Hibbitt, 2006)

c. Meshing beton

Permodelan elemen hingga pada penelitian balok-T dan balok lantai dibatasi oleh jenis material yang tersedia dalam *Abaqus* yang dinamakan brick elements sehingga dapat diperoleh distribusi gaya yang paling tepat pada analisis 3 dimensi.

d. Meshing baja tulangan

Tulangan merupakan elemen tarik pada beton bertulang, dapat didefinisikan sebagai elemen truss tiga dimensi baik secara linear ataupun quadratic. Pemilihan elemen ini sebagai truss, terkait dengan sifat tulangan yang meneruskan distribusi gaya sepanjang tulangan. Hal ini sesuai dengan sifat elemen truss pada *Abaqus* yang mendistribusikan gaya sepanjang elemen. Sehingga dapat diperoleh perilaku yang tepat pada baja tulangan.

Analisis *Abaqus* secara lengkap biasanya terdiri dari tiga tingkat tertentu: preprocessing, simulasi, dan postprocessing seperti berikut : (Hibbitt, 2006)

2.8. *Preprocessing*

Pemodelan part dilakukan dalam *Abaqus CAE* dengan memasukkan geometri yang telah di import dari input file. Dalam menggambarkan model yang akan dianalisis, ditentukan terlebih dahulu koordinat sistem yang akan dibuat. Sebelum melakukan simulasi data dimasukkan ke dalam modul *Abaqus CAE* sehingga semua keyword dan parameter yang dimasukkan ke dalam input file bisa diperiksa kebenarannya sebelum dilakukan proses running. Urutan dalam memasukkan data harus diperhatikan dengan benar karena antara satu modul dengan modul lain saling berhubungan.

Secara garis besar urutan memasukkan data ke dalam modul-modul adalah sebagai berikut:

2.7.1. Modul *Part*

Modul *part* adalah bagian dari modul yang akan digunakan untuk menggambar benda uji yang akan disimulasikan didalam *Abaqus CAE*. Modul part menyediakan tool bar yang berfungsi untuk melakukan modifikasi benda maupun bentuk sesuai dengan model yang akan dibuat.

2.7.2. Modul *Property*

Modul *property* berfungsi untuk memasukkan sifat mekanis bahan, jenis material, kekuatan bahan, dan spesifikasi teknis dari material yang akan dianalisis. Modul *property* sangat penting sebelum masuk kelangkah berikutnya, karena *property* dari material harus diberikan sebelum melakukan proses assembly

2.7.3. Modul *Assembly*

Assembly adalah menyusun bagian-bagian komponen (*instance part*) yang dibuat menjadi satu kesatuan model sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis numerik.

2.7.4. Modul *Step*

Step berfungsi untuk menentukan urutan langkah-langkah yang akan didefinisikan sebagai letak pemberian beban atau kecepatan. Modul *step* menyediakan menu *Set* dan *Surface* untuk meletakkan beban yang akan dikerjakan pada benda.

2.7.5. Modul *Interaction*

Interaction berfungsi untuk menentukan bagian material yang akan mengalami kontak. *Interaction* juga berguna untuk memberikan constraint pada benda yang dianalisis untuk mencegah bergesernya benda dari kedudukan awalnya.

2.7.6. Modul *Load*

Load digunakan untuk memberikan beban dan boundary pada benda uji. Modul *load* juga digunakan sebagai sarana untuk memasukkan tipe kondisi batas (*boundary conditions*) yang akan dibuat.

2.7.7. Modul *Mesh*

Mesh berfungsi membagi geometri dari benda yang akan dibuat menjadi node dan elemen. Modul ini bisa digunakan untuk menentukan mesh yang akan diberikan pada benda.

2.7.8. Modul *Job*

Job berfungsi untuk melakukan proses running terhadap model yang telah kita buat. Setelah data yang dimasukkan selesai selanjutnya diserahkan pada job

module untuk melakukan proses penyelesaian secara numerik. Selama proses numerik di dalam software pada message area yang berada dibawah viewport bisa dimonitor apakah submit job berhasil atau tidak, apabila terjadi error message maka harus kembali kepada modul untuk melakukan modifikasi terhadap bagian-bagian yang masih terdapat kesalahan. (Hibbit, 2006)

2.9. Simulasi

Abaqus digunakan untuk melakukan simulasi dari hasil processing didalam software. Pada tingkat ini *Abaqus* memecahkan permasalahan yang diberikan kedalam program dengan melakukan penyelesaian secara numerik.

2.10. Post Processing

Hasil dari simulasi yang telah lengkap (*Completed*), beban, lendutan atau retakan yang telah selesai dihitung bisa dievaluasi. Evaluasi biasanya dilakukan secara interaktif menggunakan visualisasi modul dari *Abaqus* atau post processor yang lain. Modul visualisasi, membaca binary file output database, mempunyai bermacam-macam pilihan untuk ditampilkan meliputi plot kontur warna, animasi, plot perubahan bentuk dan plot grafik X-Y. (Hibbit, 2006)

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan dan analisis data dari permodelan balok T dan balok lantai dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut ;

1. Pemodelan analisis numerik dengan *software Abaqus 6.13* mampu menunjukkan perilaku Numerik dari balok T dan balok lantai. Perilaku balok T dan balok lantai dilihat dari grafik hubungan beban dan lendutan hampir sama dengan rasio beban ultimate balok T terhadap balok lantai sebesar 95%. Pendekatan perhitungan balok T sudah cukup untuk merencanakan balok lantai.
2. Berdasarkan analisis sesuai teoritis hasil beban ultimate pada balok T adalah sebesar 418362 N dan hasil dari analisa menggunakan *software Abaqus 6.13* menunjukkan beban *ultimate* sebesar 622695 N. Dari kedua hasil tersebut menunjukkan bahwa balok T yang dimodelkan menurut SNI 2847-2013 ternyata masih mampu menahan beban lebih dari yang direncanakan (teoritis).

5.2. Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan sebagai pertimbangan dalam penelitian ini maupun dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam melakukan penelitian lain adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian analisa terhadap geser balok yang bisa menghasilkan retakan geser.

2. Perlu dilakukan penelitian menggunakan *software* lain untuk mengetahui keakuratan *software Abaqus*.

DAFTAR PUSTAKA

- ABAQUS user's manual, volumes I, II, and III, version 6.1* : Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. 2006.
- Asroni A. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Surakarta (ID): Graha Ilmu.
- Aziz, A., 2014, *Perilaku Sambungan Balok Kolom Exterior Tipe Tanpa dan dengan Bekisting Bataton*, Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Brendel, G., “*Strength of the Compression Slab of T-Beams Subject to Simple Bending*”, *ACI Journal, Proceedings* Vol.61, No.1, 57-75, Jan. 1964.
- Ciesielczyk, Katarzyna. 2017. *The numerical analysis of the effective flange width in T-section reinforced concrete beams*. 172: 178-185.
- Ferguson P. M., Breen J. E., Jirsa J. O., 1994, *Reinforced Concrete Fundamentals*, New York : John Wiley and Sons
- Kurniawan, S.C.M., 2014, *Analisis Numerik Perilaku Sambungan Balok-Kolom Beton Pracetak Tipe SRPM-PB2*, Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- I Ketut, Sudarsana., *Analisis Perilaku Hubungan Pelat-Kolom Tepi Struktur Pelat Datar Menggunakan Concrete Damage Plasticity (CDP) Dalam Abaqus*. *Jurnal Spektran* Vol 5, No. 2, 102-110, Jul. 2017.
- Moaveni, Saeed (1999). *Finite Element Analysis Theory and Application with Ansys*. New Jersey : Prentice Hall.
- Nasional, B. S. (2013) ‘SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung’, Badan Standardisasi Nasional.
- Nasional, B. S. (2013) ‘SNI 1727-2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, Badan Standardisasi Nasional.
- Nawy, Edward.1996. *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*. Alih bahasa Bambang.
- Nur OF. 2009. *Kajian eksperimental perilaku balok beton bertulang tunggal berdasarkan tipe keruntuhan balok*. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 5(2): 39-40.
- Ren, W. *et al.* 2015. ‘*Test results and nonlinear analysis of RC T-beams strengthened by bonded steel plates*’, *International Journal of Concrete Structures and Materials*. Springer, 9(2), pp. 133–143.

- Simulia, D. S. 2013. 'ABAQUS 6.13 User's manual', *Dassault Systems, Providence, RI*
- Nawy, Edward G., Tavio, dan Kusuma, Benny. 2010. Beton Bertulang Jilid I. Surabaya: *ITSPress*.
- Wight, James K. and MacGregor, James G., 2012, Reinforced Concrete Sixth Edition, Pearson International Education, United States of America.