

SKRIPSI

**ANALYSIS PERILAKU CASTELLATED BEAM DENGAN
VARIASI SUDUT BUKAAN SECARA SIMULASI
MENGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS**

**OLEH
RAHMAT HIDAYAT
D211 14 315**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



SKRIPSI

**ANALYSIS PERILAKU CASTELLATED BEAM DENGAN
VARIASI SUDUT BUKAAN SECARA SIMULASI
MENGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS**

OLEH :

RAHMAT HIDAYAT

D211 14 315

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**ANALYSIS PERILAKU CASTELLATED BEAM DENGAN VARIASI
SUDUT BUKAAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS**

RAHMAT HIDAYAT

D211 14 315

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT.

Ir. Thomas Tjandinegara, MSME.

NIP. 195206071987021001

NIP.195601091979031001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. Ilyas Renreng, MT.

NIP. 19570914 198703 1 001



Optimization Software:
www.balesio.com

ABSTRAK

Rahmat Hidayat (D211 14 315), Dibimbing oleh **Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT.** dan **Ir. Thomas Tjandinegara, MSME.**

Material baja yang digunakan dalam bangunan memiliki kelebihan dibandingkan dengan material konstruksi lain baik dalam hal durability, fleksibilitas, maupun kualitas. Salah satu strategi optimasi yang digunakan yakni dengan pembuatan *Castellated Beam* (Honeycomb beam) yang dalam optimasi ini membuat ukuran profil lebih tinggi sehingga momen inersia menjadi lebih besar. Jenis profil yang digunakan adalah IWF 200x100 yang dimodifikasi menjadi *Castellated Beam* dengan variasi sudut bukaan mulai dari 30°, 45° dan 60°. Penghitungan tegangan dan defleksi sangat penting dimana momen inersia penampang pada *Castellated Beam* berbeda dengan IWF. Pada penelitian ini, Tegangan dan defleksi dihitung pada reaksi batang tumpuan sederhana dengan beban titik yang terjadi pada batang tumpuan tersebut sebesar 2000 kg. Jarak dari titik A ke beban titik sejauh 1.356 mm dengan panjang bentang balok 4.000 mm. Analisis perilaku balok kastela akan dianalisa menggunakan software ABAQUS CAE v 6.14 dan dibandingkan dengan hasil uji teori sehingga bisa diketahui seberapa besar peningkatan ketahanannya terhadap tegangan dan defleksi setelah diubah dari IWF 200 mm menjadi *Castellated Beam* 300 mm dengan beberapa variasi sudut bukaan, lalu dibandingkan berapa selisihnya dengan IWF 300 mm. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa momen inersia setiap variasi (IWF 200 mm, IWF 300 mm, *Castellated Beam* 30°, 45° dan 60°) pasti berbeda karena masing-masing variasi memiliki dimensi yang berbeda. Semakin tinggi ukuran lubang dan semakin besar sudut bukaan maka semakin besar pula tegangan dan defleksinya. Dari hasil perbandingan uji teori dan uji software ABAQUS CAE v 6.14 didapatkan selisih tegangan tidak lebih dari 50 % dan juga selisih defleksi tidak lebih dari 50 %. Jadi didapatkan balok yang paling kuat dan kaku diantara variasi tersebut adalah *Castellated Beam* 30° dengan nilai tegangan dan defleksi paling kecil.



Kata Kunci : *Castellated beam*, IWF, Batang tumpuan sederhana, ABAQUS CAE v 6.14, Tegangan dan Defleksi.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: **ANALYSIS PERILAKU CASTELLATED BEAM DENGAN VARIASI SUDUT BUKAAN SECARA SIMULASI MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS**. Sholawat serta salam semoga tercurah limpahkan dipangkuan Nabiullah Muhammad Shollallahu Alaihi Wasallam, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, Aamiin.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebahagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S-1 di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Ayahanda tercinta Sahbuddin S.E dan Ibunda yang kusayangi Mantasia Yusuf yang telah mencurahkan segenap cinta dan kasih sayang serta perhatian moril maupun materil. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan Rahmat, Kesehatan, Karunia dan keberkahan di dunia dan di akhirat atas budi baik yang telah diberikan kepada penulis.

Penghargaan dan terima kasih penulis berikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT. selaku Dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Thomas Tjandinegara, MSME. selaku Dosen pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini. Serta ucapan terima kasih kepada :

1. Yth. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Yth Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3. Bapak Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT. selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.



4. Yth. Kanda Richard selaku Dosen Universitas Atma Jaya yang banyak membntu dalam hal simulasi Software Abaqus.
5. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2014 (RADIATOR 2014) yang telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
6. Teman-teman seperjuangan Teknik angkatan 2014 yang telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat disebut satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Makassar, 25 Januari 2019

Penulis,



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
NOMENKLATUR	xii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Batasan Masalah.....	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
II. TEORI DASAR	
A. IWF Beam	4
B. <i>Castellated Beam</i>	5
C. Desain Castellated Beam.....	6
D. Pembentukan Bukaan Castellated Beam	7
E. Keuntungan dan kekurangan Castellated Beam	9
F. Kegagalan dalam Castellated Beam	10
G. Tegangan Lentur pada Castellated Beam	12
H. Jenis-Jenis Batang	13
Defleksi	15
Persamaan yang digunakan	20



III. METODOLOGI PENELITIAN

A.	Waktu dan Tempat Penelitian	28
B.	Alat yang Digunakan	28
C.	Metode Penelitian	30
D.	Benda Uji	31
E.	Dimensi Benda Uji	35
F.	Parameter Data Input	36
G.	Langkah Kerja	36
H.	Diagram Alir Penelitian	38
I.	Jadwal Penelitian	39

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A.	Mencari Momen Inersia Penampang	40
B.	Mencari Momen Maksimal	45
C.	Menghitung Tegangan dan Defleksi Uji Teori	46
D.	Hasil Output Tegangan dan Defleksi Uji Software Abaqus CAE v 6.14.....	51
E.	Pembahasan	53

V. PENUTUP

A.	Kesimpulan.....	61
B.	Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA	63
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Dimensi Castellated Beam	35
Tabel 3.2. Jadwal Penelitian	39
Tabel 4.1. Tegangan dan Defleksi dengan Uji Teori	53
Tabel 4.2. Hasil Tegangan dan Defleksi dengan Software	
Abaqus CAE v 6.14	56
Tabel 4.3. Hasil Perbandingan Tegangan uji Teori dan Tegangan	
dengan uji Software Abaqus CAE v 6.14	57
Tabel 4.4. Hasil Perbandingan Defleksi uji Teori dan Tegangan	
dengan uji Software Abaqus CAE v 6.14	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>baja IWF</i>	5
Gambar 2.2. <i>Castellated Beam pada suatu bangunan</i>	6
Gambar 2.3. <i>Proses cutting dan joining dari baja profil I ke Castellated Beam</i>	6
Gambar 2.4. <i>Proses pembuatan Hexagonal Castellated Beam</i>	7
Gambar 2.5. <i>Tata letak bukaan Castellated Beam</i>	8
Gambar 2.6. <i>Plastic Collapse in region of high shear</i>	10
Gambar 2.7. <i>Rupture of Welded Joint</i>	11
Gambar 2.8. <i>Bidang Momen dan geser akibat beban vertikal pada balok baja kastela</i>	12
Gambar 2.9. <i>Tegangan yang terjadi pada Castellated Beam</i>	13
Gambar 2.10. <i>Batang Tumpuan Sederhana</i>	13
Gambar 2.11. <i>Batang Kantilever</i>	14
Gambar 2.12. <i>Batang Overhang</i>	14
Gambar 2.13. <i>Batang Menerus</i>	14
Gambar 2.14. <i>a).Balok sebelum terjadi deformasi,(b).Balok dalam konfigurasi terdeformasi</i>	15
Gambar 2.15. <i>Tumpuan Engsel</i>	17
Gambar 2.16. <i>Tumpuan Rol</i>	18
Gambar 2.17. <i>Tumpuan Jepit</i>	18
Gambar 2.18. <i>Pembebanan Terpusat</i>	19
Gambar 2.19. <i>Pembebanan Terbagi Merata</i>	19
Gambar 2.20. <i>Pembebanan Bervariasi Uniform</i>	19
Gambar 2.21. <i>Tegangan Pada Lentur Murni</i>	20
Gambar 3.1. <i>Komputer</i>	28
Gambar 3.2. <i>Autodesk Inventor</i>	29
Gambar 3.3. <i>Abaqus CAE v 6.14</i>	29
Gambar 3.4. <i>balok IWF 200 mm</i>	32
Gambar 3.5. <i>balok IWF 300 mm</i>	32



Gambar 3.6. Dimensi pemotongan pola Kastela heksagonal dengan sudut 30°	33
Gambar 3.7. Dimensi pemotongan pola Kastela heksagonal dengan sudut 45°	34
Gambar 3.8. Dimensi pemotongan pola Kastela heksagonal dengan sudut 60°	35
Gambar 3.9. Diagram alir penelitian	38
Gambar 4.1. Output IWF 200 dengan analisis software abaqus	51
Gambar 4.2. Output IWF 300 dengan analisis software abaqus	51
Gambar 4.3. Output Castellated Beam 30° dengan analisis software abaqus	52
Gambar 4.4. Output Castellated Beam 30° dengan analisis software abaqus	52
Gambar 4.5. Output Castellated Beam 30° dengan analisis software abaqus	53



NOMENKLATUR

<u>Notasi</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
σ	Tegangan lentur	Kg/mm ²
M	Momen lentur	kg mm
y	Titik berat penampang balok	mm
I	Momen Inersia penampang	mm ⁴
f	Defleksi	mm
P	Besar beban yang diterima balok	kg
a	Panjang dari titik A ke beban terpusat C	mm
b	Panjang dari titik B ke beban terpusat C	mm
V _A	Gaya vertikal pada titik A	kg
V _B	Gaya vertikal pada titik B	kg
E	Modulus elastisitas baja	kg/mm ³
L	Panjang balok	mm
H _A	Gaya Horizontal pada titik A	kg
M _A	Momen pada titik A	kg



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Di Indonesia banyak pekerjaan konstruksi bangunan yang menggunakan konstruksi baja sebagai struktur utama. Di samping kemampuan baja yang cukup besar untuk menahan kekuatan tarik dan tekan walaupun dari bahan baja dengan jenis yang paling rendah kekuatannya, juga mempunyai perbandingan kekuatan per volume yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan bangunan lainnya yang umum dipakai.

Profil baja adalah bahan yang umum digunakan sebagai elemen struktur pada sebuah bangunan. Profil IWF (I Wide Flange) adalah salah satu profil baja struktur yang paling populer digunakan karena kemudahan pemasangan dan kelebihan-kelebihan lainnya. Penggunaan profil baja IWF sebagai elemen balok dapat lebih dioptimalkan kembali dengan diubah menjadi Castellated Beam. Castellated Beam merupakan satu profil baja yang dipotong menjadi 2 bagian yang sama, dengan pola tertentu dan disambungkan kembali menggunakan las dengan maksud meningkatkan seluruh kemampuannya, yaitu meningkatkan tinggi profil sehingga dapat meningkatkan inersia yang dimiliki balok baja. Bentuk badan profil baja kastela tergantung dari teknis pembelahan pelat badan profil yang disesuaikan dengan kebutuhannya.. Ada beberapa macam bentuk belahan yang sering dipergunakan dilapangan, salah satunya adalah bentuk heksagonal. *Bambang, 2000.*

Balok melentur adalah suatu batang yang dikenakan oleh beban-beban yang bekerja secara transversal terhadap sumbu memanjangnya. Beban-beban ini menciptakan aksi internal, atau resultan tegangan dalam bentuk tegangan normal, dan momen lentur. Beban yang bekerja pada sebuah balok menyebabkan balok melentur atau melentur, sehingga dengan demikian mendeformasikan sumbu menjadi suatu garis lengkung. **Defleksi** adalah perubahan bentuk pada balok



dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. (Azwir dkk, 2014).

Maka pada penelitian ini penulis akan menghitung nilai tegangan dan defleksi untuk mengetahui kekuatan Castellated beam heksagonal dengan variasi sudut bukaan yang berbeda mulai dari sudut 30° , 45° , dan 60° serta profil awal balok yang bertujuan untuk mencari tahu beban maksimum pada balok ketika diberikan suatu beban sebesar 2000 kg menggunakan metode simulasi software Abaqus CAE v 6.14 yang awalnya telah kita hitung nilai tegangan dan defleksi secara Teoritis. Oleh karena itu judul tugas akhir ini adalah **“ANALYSIS PERILAKU CASTELLATED BEAM DENGAN VARIASI SUDUT BUKAAN SECARA SIMULASI MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS”**

I.2. Perumusan Masalah

Masalah yang akan diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui tegangan yang terjadi apabila diberi suatu beban titik ditengah bentang dengan memvariasikan sudut bukaan pada Castellated Beam.
2. Bagaimana mengetahui defleksi yang terjadi apabila diberi suatu beban titik ditengah bentang dengan memvariasikan sudut bukaan pada Castellated Beam.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui tegangan yang terjadi apabila diberi suatu beban titik ditengah bentang dengan memvariasikan sudut bukaan pada Castellated beam.



2. Untuk mengetahui defleksi yang terjadi apabila diberi suatu beban titik ditengah bentang dengan memvariasikan sudut bukaan pada Castellated Beam.

I.4. Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Hanya menghitung beban terpusat.
2. Variasi sudut bukaan yang diberikan yakni 30° , 45° dan 60° .
3. Diambil berat beban titik sebesar 2000 kg.
4. Tidak menghitung tegangan geser.
5. Jenis batang yang digunakan adalah batang tumpuan sederhana.

I.5. Manfaat Penelitian

1. Dapat menambah wawasan dan pengetahuan dalam memahami berbagai permasalahan dalam struktur baja khususnya Castellated Beam atau balok kastela.
2. Mendapatkan pedoman penentuan kriteria dasar perancangan bentuk dan ukuran sudut bukaan Castellated Beam.
3. Mendapatkan model perancangan sistem struktur balok baja dengan lebih ringan, yang akan menghemat biaya dan juga meningkatkan segi estetika.
4. Menambah wawasan mengenai Software Engineering khususnya ABAQUS



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 IWF (I Wide Flange)

Profil IWF (I Wide Flange) adalah salah satu profil baja struktural yang paling populer digunakan untuk konstruksi baja. Bentuk profil dari balok ini sama persis dengan Castellated Beam, bedanya terletak pada lubang heksagonal yang terdapat pada Castellated Beam. Profil baja ini biasa digunakan untuk membuat sebuah kolom, ring balk, tiang pancang, top & bottom chord member pada truss, komposit beam atau coloum, kanti liver kanopi, dan lain sebagainya.

Sistem konstruksi Besi Baja IWF bangunan merupakan kombinasi dari elemen struktur yang cukup rumit. Dalam sistem struktur Baja IWF sistem seperti tujuan ini dapat membawa beban dengan aman dan efektif semua gaya yang bekerja pada bangunan, kemudian dikirim ke pondasi. Berbagai beban dan gaya yang bekerja pada bangunan termasuk beban vertikal, horisontal, perbedaan suhu, getaran dan sebagainya. Dalam sebuah bangunanbaja, selalu ada unsur-unsur yang berfungsi untuk menahan gaya gravitasi dan gaya lateral. Sistem Konstruksi Baja IWF merupakan material yang memiliki sifat struktural yang sangat baik sehingga pada akhir tahun 1900, mulai menggunakan Baja IWF sebagai bahan struktural (Konstruksi), saat itu metode pengolahan Baja IWF yang murah dikembangkan dalam skala besar. Sifat Baja IWF memiliki kekuatan tinggi dan kuat pada kekuatan tarik mauoun tekan dan oleh karena itu Baja IWF menjadi elemen struktur yang memiliki batas yang sempurna akan menahan jenis beban tarik aksial, tekan aksial, dan lentur dengan fasilitas serupa dalam pembangunan strukturnya. Kepadatan tinggi Baja IWF, tetapi rasio berat antara kekuatan komponen Baja IWF juga

sehingga tidak terlalu berat dalam kaitannya dengan kapasitas muat beban, dan selama bentuk struktur (konstruksi) yang digunakan yang bahan yang efisien.





Gambar 2.1 baja IWF

2.2 Castellated Beam

Castellated Beam adalah suatu spesifikasi profil yang ditingkatkan kekuatan komponen strukturnya dengan memperpanjang kearah satu sama lain dan di las sepanjang pola. Castellated Beam ini mempunyai tinggi (h) kurang lebih 50% lebih tinggi dari profil awal sehingga meningkatkan nilai lentur axial, momen inersia (I_x), dan modulus section (S_x) (Johan. 2011)

Castellation adalah proses memotong badan profil dengan pola zig-zag yang dicetak menggunakan hot-rolled (cetakan panas) berbentuk H, I, atau U. Setengah bagian profil baja yang telah dipotong disambung dengan cara digeser atau dibalik (ujung kanan di las dengan ujung kiri, dan sebaliknya) sehingga membentuk lubang berbentuk polygonal. Hal ini mengakibatkan bertambahnya tinggi (h) dan tinggi daerah pemotongan (d) (Amayreh dan Saka 2005)

Castellated Beam biasa disebut juga honey comb beam, karena bentuk lubang segi enamnya yang menyerupai sarang lebah (honey comb). Profil tersebut dilubangi juga guna untuk memperkecil berat profil itu sendiri dan agar sambungan

lapat lebih efektif dan efisien. Besarnya sudut kemiringn θ antara 30° dan 60° .

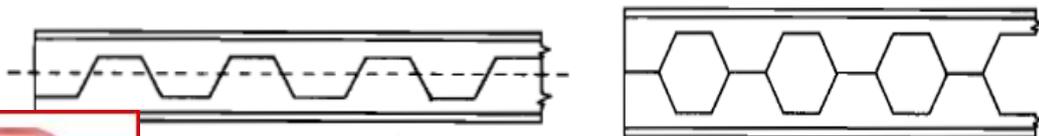




Gambar 2.2 *Castellated Beam pada suatu bangunan*

2.3 Desain Castellated Beam

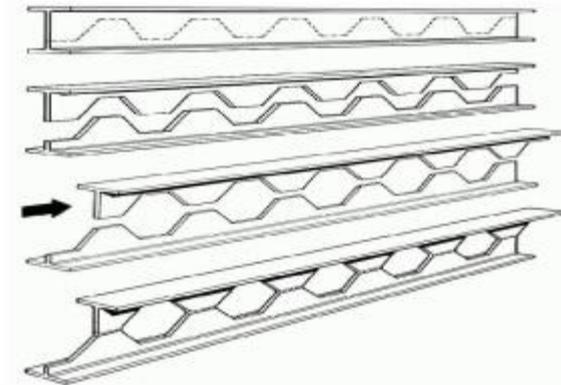
Profil Castellated Beam ini dibuat secara ekonomis dengan menggunakan suatu profil baja yang dipotong secara simetris arah zig-zag sepanjang garis tengah profil. Dimulai pemotongan secara mendatar, pada bagian bawah dengan panjang tertentu kemudian naik dengan sudut dan ketinggian tertentu, kembali memotong secara mendatar, turun lagi dengan sudut dan ketinggian tertentu, kembali pemotongan secara mendatar dengan panjang yang sama. Pemotongan dilakukan secara terus menerus dengan cara yang sama sehingga mencapai panjang batang (L) yang diinginkan. Selanjutnya sisi potongan terluar ditemukan dan disatukan dengan teknik pengelasan, sehingga akan didapatkan profil yang lebih tinggi dari sebelumnya, dan berlubang pada bagian badan (*open-web expanded beam*), Proses *cutting* dan *joining* dari baja profil I ke Castellated Beam bisa terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Proses cutting dan joining dari baja profil I ke Castellated Beam*

Sumber: Johan. 2011

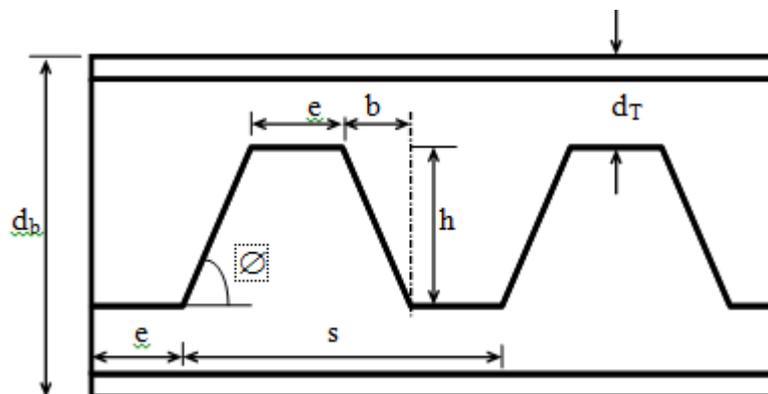


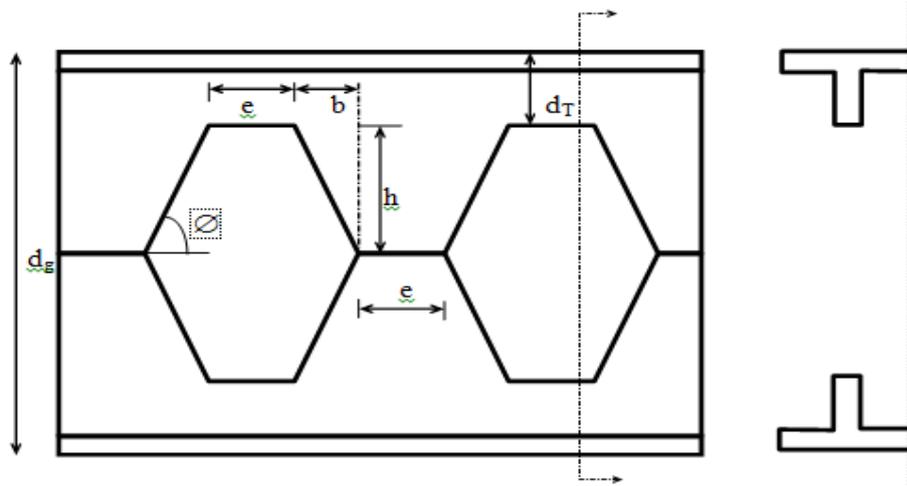


Gambar 2.4 Proses pembuatan Hexagonal Castellated Beam (Grunbauer 2011)

2.4 Pembentukan Bukaan Badan Castellated Beam

Dalam metode kastela tidak diperlukan penambahan elemen pada baja profil. Secara umum sudut yang digunakan minimum sebesar 45° dan maksimum sebesar 70° . Pada penelitian ini dipakai profil dengan ukuran yang bervariasi, dengan menggunakan sudut 30° , 45° dan 60° , dengan anggapan sudut yang lebih besar akan lebih memperkuat daerah sepanjang $(e + 2b)$, seperti terlihat pada Gambar 2.5.





Gambar 2.5 Tata letak bukaan Castellated Beam

Dari gambar 2.5 diperoleh persamaan untuk menentukan dimensi Castellated Beam sesuai dengan pola garis zig-zag sebagai berikut:

$$\tan \phi = \frac{h}{b} \text{ atau } b = \frac{h}{\tan \phi} \dots\dots\dots(1)$$

$$d_g = d_b + h \text{ atau } d_T = \frac{d_b - h}{2} \dots\dots\dots(2)$$

$$s = 2.(b + e) \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

b : panjang kemiringan Castellated Beam (mm)

h : tinggi pemotongan profil (mm)

d_g : tinggi profil Castellated Beam (mm)

d_b : tinggi profil balok awal (mm)

s : lebar segmen panel (mm)

t : lebar Web post (mm)

ϕ : sudut potong pada badan profil Castellated Beam ($^{\circ}$)



Seperti pada Gambar 2.5 terlihat ada penambahan tinggi pada profil dari d_b menjadi d_g , sehingga inersia profil juga mengalami kenaikan, yaitu : $I = 1/12 bh^3$; dan $M = \sigma I/y$; jadi kalau nilai h naik maka nilai I juga akan bertambah besar dan jika nilai I bertambah besar berarti nilai M (kapasitas momen) juga akan bertambah besar.

Jarak e mungkin akan bervariasi sesuai kebutuhan akan penempatan pipa dan kabel, dan/atau untuk jarak yang dibutuhkan untuk mengelas akibat adanya sudut lubang. Akibat dari jarak e dibesarkan, maka kemampuan layanan terhadap gaya normal (N) sepanjang $T_{section}$ akan meningkat. Akan tetapi, ada batasan sepanjang apa jarak e dapat digunakan.

2.5 Keuntungan dan Kekurangan dari Castellated Beam

2.5.1 Keuntungan dari Castellated Beam :

1. Dengan lebar profil yang lebih tinggi (d_g), menghasilkan momen inersia dan modulus section yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku bila dibandingkan dengan profil asalnya (Grunbauer 2011).
2. Mampu memikul momen lebih besar dengan tegangan ijin yang lebih kecil (Grunbauer 2011).
3. Bahan ringan, kuat serta mudah dipasang (Grunbauer 2011).
4. Profil Castellated Beam ini juga cocok untuk bentang panjang (untuk penggunaan Castellated Beam pada atap dapat mencapai 10 – 50 m dan bila digunakan sebagai plat 12 – 25 m). Sehingga dapat mengurangi jumlah kolom dan pondasi, serta mengurangi biaya erection (pengangkatan) (Amayreh dan

2005)

digunakan untuk gedung tingkat tinggi, bangunan perindustrian (Amayreh dan
2005)

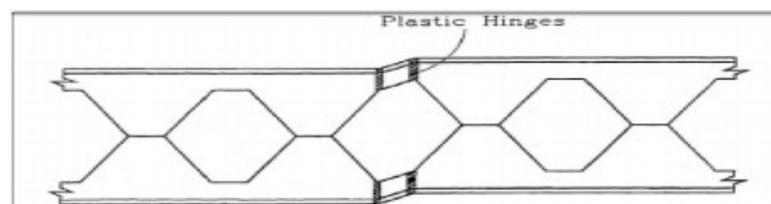


2.5.2 Kekurangan dari Castellated Beams :

1. Castellated Beam kurang tahan api. Sehingga harus ditambah dengan lapisan tahan api (fire proofing) 20% lebih tebal agar mencapai ketahanan yang sama dengan profil awalnya (Grünbauer 2011).
2. Kurang kuat menerima gaya lateral, sehingga perlu diberi satu atau lebih plat pada ujung-ujung (dekat dengan pertemuan balok-kolom) (Grunbauer 2011).
3. Pada ujung-ujung bentang (di sudut-sudut profil) terjadi peningkatan pemusatan tegangan (stress concentrations) (Amayreh dan Saka 2005).
4. Castellated Beam tidak sesuai untuk bentang pendek dengan beban yang cukup berat (Amayreh dan Saka 2005).
5. Analisa dari defleksi lebih rumit daripada balok solid (Amayreh dan Saka 2005)

2.6 Kegagalan dalam Castellated Beam:

1. Vierendeel atau Shear Mechanism Mekanisme ini berbanding lurus dengan tegangan geser yang cukup tinggi pada balok. Sendi plastis terjadi pada ujung balok (reentrant corners) pada lubang dapat merubah bentuk bagian T (tee section) menjadi seperti jajargenjang (parallelogram).



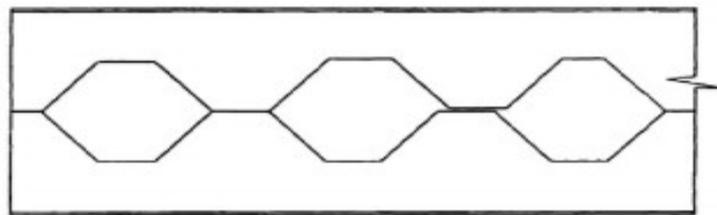
Gambar 2.6 *Plastic Collapse in region of high shear*



al Mechanism Titik leleh yang terjadi pada bagian T (tee section) bagian bawah pada ujung awal (the opening) profil Castellated Beam hampir

sama dengan profil WF solid pada kondisi under pure bending forces. $M_p = Z' \times F_t$; dimana Z' adalah modulus plastis yang diambil melalui garis tengah vertikal pada lubang.

3. Lateral – Torsional – Buckling Pada web opening mempunyai efek yang diabaikan pada lateral torsional buckling pada balok-balok yang telah mereka uji.
4. Rupture of Welded Joint Las pada jarak antara lubang yang satu dengan yang lainnya (e) dapat mengalami rupture (putus) ketika tegangan geser horisontal melebihi kekuatan leleh dari pengelasannya (welded joint).



Gambar 2.7 *Rupture of Welded Joint.*

Panjang horisontal pada lubang (horizontal length of the opening) berbanding lurus dengan panjang pengelasan, dan ketika panjang horisontal berkurang untuk menambah secondary moment (Vierendeel truss), maka las sepanjang badan profil menjadi lebih mudah gagal (failure). Mekanisme Vierendeel biasanya terjadi pada balok-balok yang mempunyai jarak lubang horisontal yang cukup panjang (oleh karena itu mempunyai panjang las lebih panjang).

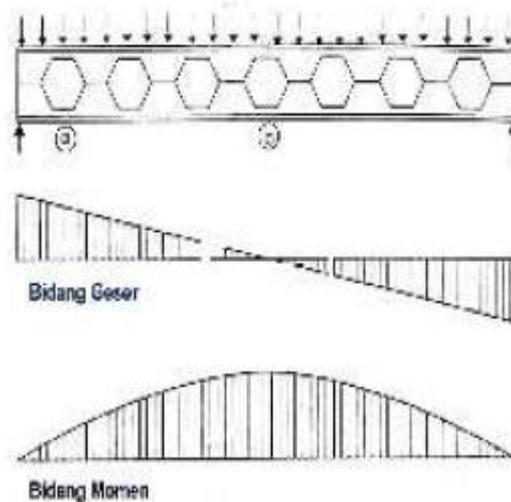
5. Web Post Buckling due to Compression Kegagalan ini disebabkan oleh beban terpusat yang secara langsung dibebankan melebihi web-post. Kegagalan ini dicegah bila penggunaan pengakunya diperkuat untuk menahan gaya t.



2.7 Tegangan lentur pada Castellated Beam

Balok melentur adalah suatu batang yang dikenakan oleh beban-beban yang bekerja secara transversal terhadap sumbu pemanjangannya. Beban-beban ini menciptakan aksi internal, atau resultan tegangan dalam bentuk tegangan normal, dan momen lentur. Beban samping (*lateral loads*) yang bekerja pada sebuah balok menyebabkan balok melengkung atau melentur, sehingga dengan demikian mendeformasikan sumbu balok menjadi suatu garis lengkung (Azwir dkk, 2014).

Oleh karena sayap profil menahan hampir sebagian besar momen lentur akibat beban vertikal, maka hilangnya luasan akibat bukaan pada badan tidak banyak menimbulkan masalah stabilitas akibat momen, tetapi gaya geser (V) yang ditahan oleh badan harus dipertimbangkan. Di tengah bentang dititik **b.**, di Gambar 2.6, gaya geser (V) adalah minimum dan tidak banyak menimbulkan masalah stabilitas di daerah akibat geser bukaan pada badan.

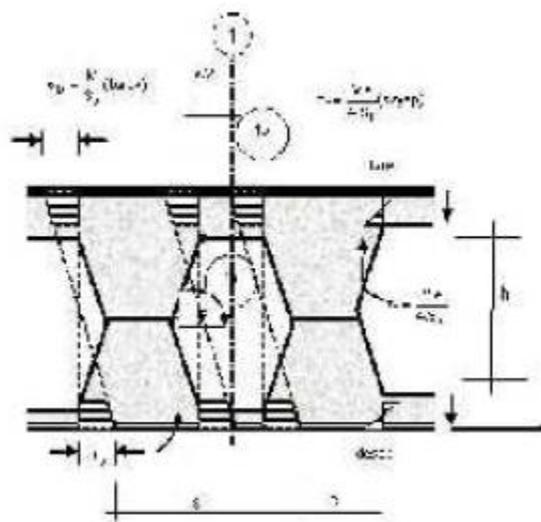


Gambar 2.8 Bidang Momen dan geser akibat beban vertikal pada balok baja kastela.



Analisis dan disain oleh Boyer, JP (1966), Bower (1968), Blodget et. al. (1985), merumuskan dasar-dasar analisis tegangan seperti terlihat pada Gambar 2.6. Castellated Beam adalah sebagai berikut :

1. Bagian tepi atas dan bawah balok mengalami tegangan lentur desak dan tarik, sebesar $\sigma_b = \frac{M}{S_b}$, harus kontinu sepanjang balok, dengan rasio antara lebar dan tebal adalah minimum dan tegangan ijin.
2. Tampang balok pada bagian tumpuan harus merupakan bagian yang utuh



Gambar 2.9 Tegangan yang terjadi pada Castellated Beam

2.8 Jenis-Jenis Batang

1. Batang tumpuan sederhana

Bila tumpuan tersebut berada pada ujung-ujung dan pada pasak atau rol.

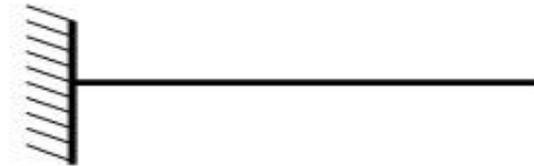


Gambar 2.10 Batang Tumpuan Sederhana



2. Batang kantilever

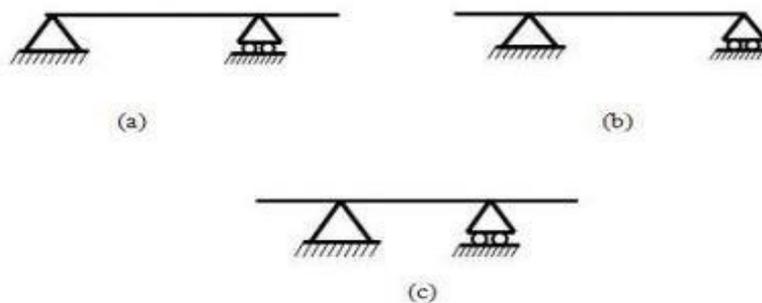
Bila salah satu ujung balok dijepit dan yang lain bebas.



Gambar 2.11 Batang Kantilever

3. Batang Overhang

Bila balok dibangun melewati tumpuan sederhana



Gambar 2.12 Batang Overhang

4. Batang menerus

Bila tumpuan-tumpuan terdapat pada balok *continue* secara fisik.

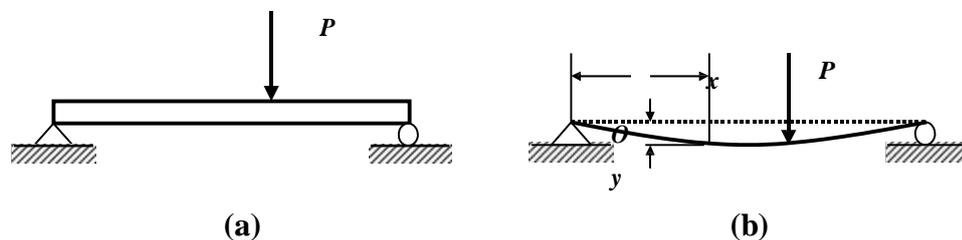


Gambar 2.13 Batang Menerus



2.9 Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. Gambar 2.19(a) memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan Gambar 2.19(b) adalah balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan (Wahyudi dkk, 2011).



Gambar 2.14 (a).Balok sebelum terjadi deformasi, (b).Balok dalam konfigurasi terdeformasi

Sumber : <http://bambangpurwantana.staff.ugm.ac.id/KekuatanBahan>

Jarak perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai x disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (kurva elastis) dari balok.

Sistem struktur yang di letakkan horizontal dan yang terutama di peruntukkan memikul beban lateral, yaitu beban yang bekerja tegak lurus sumbu aksial batang. Beban semacam ini khususnya muncul sebagai beban seperti misalnya bobot sendiri, beban hidup vertikal, beban keran dan lain-lain. Contoh sistem balok dapat di kemukakan antara lain, balok tumpuan, gelagar jembatan, balok penyangga keran, dan sebagainya. Sumbu



sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan transversal baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi. Unsur-unsur dari mesin haruslah cukup kokoh untuk mencegah ketidakbarisan dan mempertahankan ketelitian terhadap pengaruh beban dalam gedung-gedung, balok lantai tidak dapat melentur secara berlebihan untuk meniadakan pengaruh psikologis yang tidak diinginkan para penghuni dan untuk memperkecil atau mencegah dengan bahan-bahan jadi yang rapuh. Begitu pun kekuatan mengenai karakteristik deformasi dari bangunan struktur adalah paling penting untuk mempelajari getaran mesin seperti juga bangunan-bangunan stasioner dan penerbangan. Dalam menjalankan fungsinya, balok meneruskan pengaruh beban gravitasi keperletakan terutama dengan mengandalkan aksi lentur, yang berkaitan dengan gaya berupa momen lentur dan geser. walaupun timbul aksi normal, itu terutama di timbulkan oleh beban luar yang relatif kecil, misalnya akibat gaya gesek rem kendaraan pada gelagar jembatan, atau misalnya akibat perletakan yang di buat miring.

a. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

1. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan yang terjadi pada batang akan semakin kecil.

2. Besar-kecilnya gaya yang diberikan

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin besar.

3. Jenis tumpuan yang diberikan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika semakin banyak reaksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan



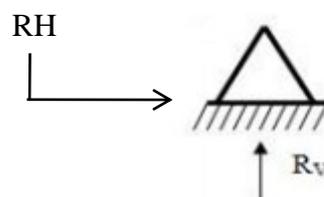
pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

4. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja.

b .Jenis-Jenis Tumpuan

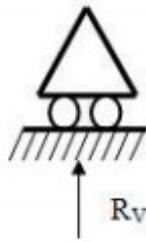
1. Engsel Engsel merupakan tumpuan yang dapat menerima gaya reaksi vertikal dan gaya reaksi horizontal. Tumpuan yang berpasak mampu melawan gaya yang bekerja dalam setiap arah dari bidang. Jadi pada umumnya reaksi pada suatu tumpuan seperti ini mempunyai dua komponen yang satu dalam arah horizontal dan yang lainnya dalam arah vertical. Tidak seperti pada perbandingan tumpuan rol atau penghubung, maka perbandingan antara komponen-komponen reaksi pada tumpuan yang terpasak tidaklah tetap. Untuk menentukan kedua komponen ini, dua buah komponen statika harus digunakan.



Gambar 2.15 *Tumpuan Engsel*

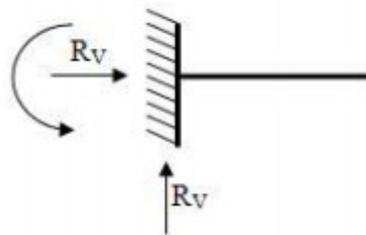
2. Rol Rol merupakan tumpuan yang hanya dapat menerima gaya reaksi vertical. Ini mampu melawan gaya-gaya dalam suatu garis aksi yang spesifik. Penghubung yang terlihat pada gambar dibawah ini dapat melawan gaya hanya dalam arah AB rol. Pada gambar dibawah hanya dapat melawan beban vertical. Sedangkan rol-rol hanya dapat melawan suatu tegak lurus pada bidang cp.





Gambar 2.16 *Tumpuan Rol*

3. Jepit Jepit merupakan tumpuan yang dapat menerima gaya reaksi vertical, gaya reaksi horizontal dan momen akibat jepitan dua penampang. Tumpuan jepit ini mampu melawan gaya dalam setiap arah dan juga mampu melawan suatu kopel atau momen. Secara fisik, tumpuan ini diperoleh dengan membangun sebuah balok ke dalam suatu dinding batu bata. Mengecornya ke dalam beton atau mengelas ke dalam bangunan utama. Suatu komponen gaya dan sebuah momen.



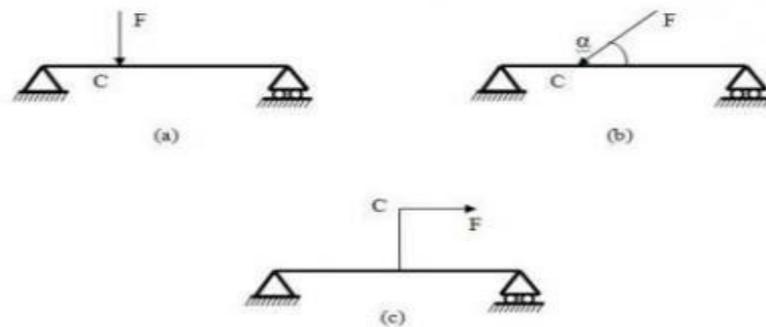
Gambar 2.17 *Tumpuan Jepit*

c .Jenis-Jenis Pembebanan

Salah satu factor yang mempengaruhi besarnya defleksi pada batang adalah jenis beban yang diberikan kepadanya. Adapun jenis pembeban :

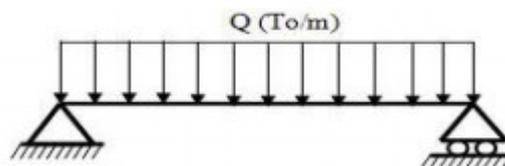
1. Beban terpusat Titik kerja pada batang dapat dianggap berupa titik karena luasnya kecil.





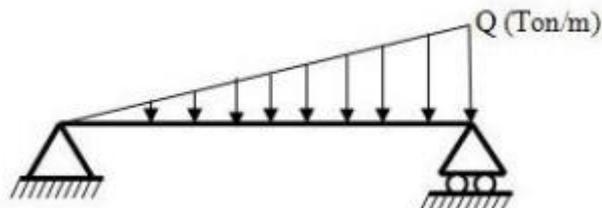
Gambar 2.18 *Pembebanan Terpusat*

2. Beban terbagi merata Disebut beban terbagi merata karena merata sepanjang batang dinyatakan dalam q_m (kg/m atau KN/m).



Gambar 2.19 *Pembebanan Terbagi Merata*

3. Beban bervariasi uniform Disebut beban bervariasi uniform karena beban sepanjang batang besarnya tidak merata.



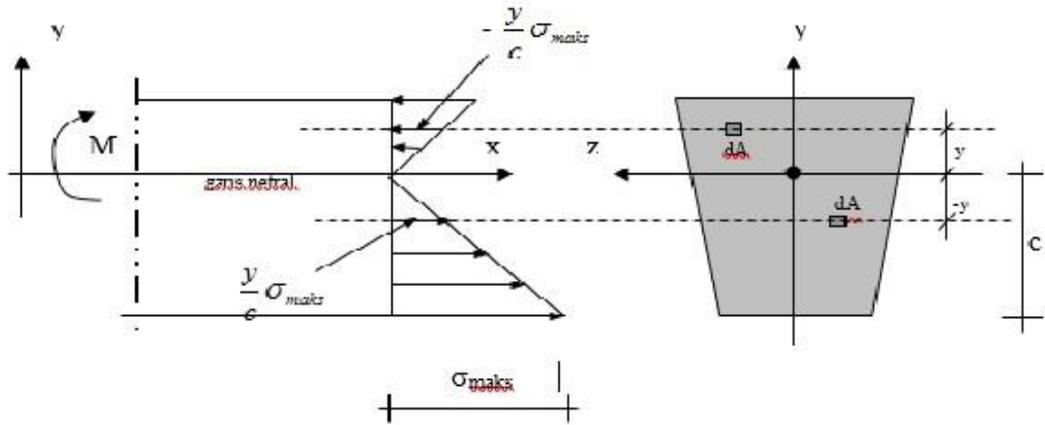
Gambar 2.20 *Pembebanan Bervariasi Uniform*



2.10 Persamaan yang digunakan

2.10.1 Tegangan

Rumus Tegangan Lentur



Gambar 2.21 Tegangan Pada Lentur Murni

Tanda negatif pada $\frac{y}{c} \sigma_{maks}$ merupakan serat tekan, dan tanda positif untuk serat tarik, demikian pula halnya dengan nilai y , pada serat tekan bertanda positif dan pada serat tarik bertanda negatif.

Gaya = Tegangan x Luas penampang

Tegangan = $-\frac{y}{c} \sigma_{maks}$ (dapat juga diambil tanda positif)

Luas penampang = dA

Maka gaya = $-\frac{y}{c} \sigma_{maks} dA$



$\sigma_{maks} \cdot dA = 0$

$$-\frac{\sigma_{maks}}{c} \int_A y dA = 0$$

$$\int_A y dA = \bar{y}A = 0 \rightarrow \bar{y} \text{ adalah ordinat titik berat}$$

Karena A tidak nol maka \bar{y} harus nol.

Dengan demikian maka garis netral harus melalui titik berat penampang.

$$\Sigma M = 0$$

$$M_{luar} = M_{dalam}$$

$$M = \int_A \left(-\frac{y}{c} \sigma_{maks} \right) dA \cdot y$$

$$M = -\frac{\sigma_{maks}}{c} \int_A y^2 dA$$

$$M = -\frac{\sigma_{maks}}{c} I_x$$

$$\sigma_{maks} = -\frac{M \cdot c}{I_x}$$

Tanda negatif dapat dihilangkan dan disesuaikan saja dengan tanda momen yang bekerja. Apabila momen yang bekerja positif maka serat bawah tertarik, tegangannya diberi tanda positif, dan serat atas tertekan, tegangannya diberi tanda negatif.

Secara umum untuk tegangan sejauh y dari garis netral:



$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_x}$$

dengan:

σ : tegangan normal akibat lentur

M : momen luar

Y : jarak tegangan yang ditinjau ke garis netral

I_x : momen inersia terhadap sumbu x

2.10.2 Defleksi

Mencari reaksi tumpuan:

$$\sum M_A = 0$$

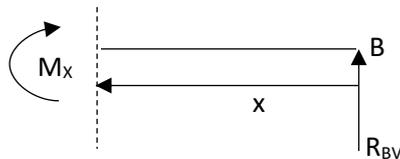
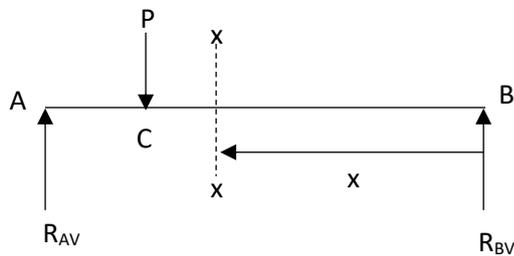
$$-R_{BV} \cdot L + P \cdot a = 0 \quad \rightarrow \quad R_{BV} = \frac{P \cdot a}{L}$$

$$\sum F_V = 0 \quad R_{AV} - P + R_{BV} = 0$$

$$\frac{P \cdot a}{L} - P + R_{AV} = 0$$

$$R_{AV} = P - \frac{P \cdot a}{L} = \frac{P(L-a)}{L} = \frac{P \cdot b}{L}$$

Perhatikan seksi x pada batang CB dengan jarak x di b ($x < b$)



$$R_{BV} \cdot x = \frac{P \cdot a \cdot x}{L}$$



$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_x$$

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{Pax}{L} \dots \dots \dots (a)$$

Integral persamaan diatas

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{Pax^2}{2L} + C_1 \dots \dots \dots (b) \quad C_1 = \text{konstanta integral}$$

Untuk mencari C_1 : pada titik C, yaitu $x = b$, $\frac{dy}{dx} = \theta_C$

$$\therefore EI\theta_C = \frac{Pab^2}{2L} + C_1$$

$$C_1 = EI\theta_C - \frac{Pab^2}{2L}$$

$C_1 \rightarrow (b)$

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{Pax^2}{2L} + EI\theta_C - \frac{Pab^2}{2L} \dots \dots \dots (c)$$

Integral persamaan diatas, sekali lagi

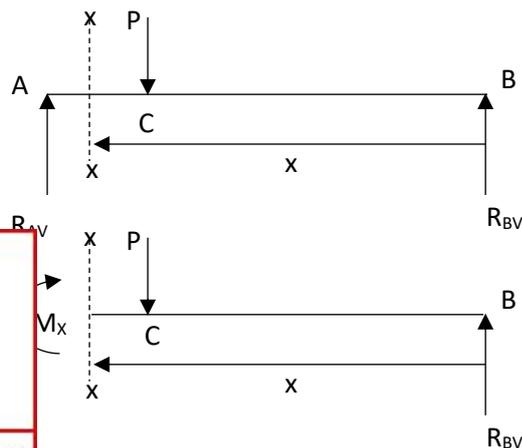
$$EIy = \frac{Pax^3}{6L} + EI\theta_C x - \frac{Pab^2}{2L} x + C_2 \dots \dots \dots (d)$$

Untuk mencari C_2 : pada $x = 0$, $y = 0 \rightarrow (d)$, didapat $C_2 = 0$

$$\therefore EIy = \frac{Pax^3}{6L} + EI\theta_C x - \frac{Pab^2}{2L} x \dots \dots \dots (e)$$

Persamaan (c) dan (e) adalah persamaan yang diperlukan untuk slop dan defleksi pada sembarang seksi pada BC. Persamaan ini hanya berguna apabila θ_C diketahui

Perhatikan seksi x pada batang BA yang berjarak x dari B ($x > b$)



$$M_x = RB_V x - P(x - b)$$

$$= \frac{Pax}{L} - P(x - b)$$

$$\therefore EI \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{Pax}{L} - P(x - b) \dots \dots \dots (f)$$

Integral persamaan diatas

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{Pax^2}{2L} - \frac{P(x - b)^2}{2} + C_3 \dots \dots \dots (g)$$

Untuk mencari C_3 : pada titik C, $x = b$, $\frac{dy}{dx} = \theta_C$

$$EI\theta_C = \frac{Pab^2}{2L} + C_3$$

$$C_3 = EI\theta_C - \frac{Pab^2}{2L}$$

$C_3 = (g)$ didapat

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{Pax^2}{2L} - \frac{P(x - b)^2}{2} + EI\theta_C - \frac{Pab^2}{2L} \dots \dots \dots (h)$$

Integral sekali lagi persamaan diatas

$$EIy = \frac{Pax^3}{6L} - \frac{P(x - b)^3}{6} + EI\theta_C x - \frac{Pab^2 x}{2L} + C_4 \dots \dots \dots (i)$$

Untuk mencari C_4 : pada $x = L$, $y = 0$

$$\therefore EI \cdot 0 = \frac{PaL^3}{6L} - \frac{P(L - b)^3}{6} + EI\theta_C L - \frac{Pab^2 L}{2L} + C_4$$

$$C_4 = \frac{Pab^2}{2} + \frac{Pa^3}{6} - \frac{PaL^3}{6} - EI\theta_C L$$

$$= \frac{Pab^2}{2} + \frac{Pa}{6} (a^2 - L^2) - EI\theta_C L$$

$$= \frac{Pab^2}{2} - \frac{Pa}{6} (L^2 - a^2) - EI\theta_C L$$

$$= \frac{Pab^2}{2} - \frac{Pa}{6} [(L - a)(L + b)] - EI\theta_C L$$

$$\frac{Pab^2}{2} - \frac{Pab}{6} (L + a) - EI\theta_C L$$

$$\frac{Pab}{6} [3b - (L + a)] - EI\theta_C L$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{Pab}{6} [3b - (a + b + a)] - EI\theta_C L \\
&= \frac{Pab}{6} (2b - 2a) - EI\theta_C L \\
&= \frac{Pab}{3} (b - a) - EI\theta_C L
\end{aligned}$$

C₄ → (c) didapat

$$\begin{aligned}
EIy = \frac{Pax^3}{6L} - \frac{P(x-b)^3}{6} + EI\theta_C x - \frac{Pab^2x}{2L} + \frac{Pab}{3}(b-a) \\
- EI\theta_C L \dots \dots \dots (j)
\end{aligned}$$

Persamaan (h) dan (j) adalah persamaan yang dipilih untuk mencari slop dan defleksi pada sembarang titik pada AC. Persamaan ini hanya berguna apabila θ_C diketahui,

Untuk mencari θ_C , pertama kita mencari defleksi pada titik C dari kedua persamaan, yaitu persamaan (e) dan (j) dengan mensubstitusikan $x = b$ pada persamaan (e) dan (j), dan disamakan

$$\begin{aligned}
\frac{Pab^3}{6L} + EI\theta_C b - \frac{Pab^3}{2L} = \frac{Pab^3}{6L} - \frac{P(b-b)^3}{6} + EI\theta_C b - \frac{Pab^3}{2L} + \frac{Pab}{3} \\
(b-a) - EI\theta_C L
\end{aligned}$$

$$EI\theta_C L = \frac{Pab}{3} (b - a)$$

$$EI\theta_C = \frac{Pab}{3L} (b - a)$$

Persamaan diatas → (c)

$$\begin{aligned}
EI \frac{dy}{dx} &= \frac{Pax^2}{2L} + \frac{Pab}{3L} (b - a) - \frac{Pab^2}{2L} \\
&= \frac{Pa}{6L} [3x^2 + 2b(b - a) - 3b^2] \\
&= \frac{Pa}{6L} (3x^2 + b^2 - 2ab) \dots \dots \dots (k)
\end{aligned}$$

Persamaan (k) adalah persamaan yang dipilih untuk mencari slop pada sembarang seksi pada BC,

max terjadi di B, sehigga dengan substitusikan $x = 0$ pada (k), didapat



$$\begin{aligned}
EI\theta_B &= \frac{Pa}{6L}(0^2 - b^2 - 2ab) \\
&= -\frac{Pa}{6L}(b^2 + 2ab) \\
&= -\frac{Pab}{6L}(b + 2a) \\
&= -\frac{Pa}{6L}[(L - a)(L + a)] \\
&= -\frac{Pa}{6L}(L^2 - a^2) \quad \text{tanda } (-) \text{ berarti } \theta_B \text{ berlawanan jarum jam}
\end{aligned}$$

atau $\theta_B = \frac{Pa}{6LEI}(L^2 - a^2) \dots \dots \dots (l)$

Dengan cara yang sama didapat $\theta_A = \frac{Pb}{6LEI}(L^2 - b^2)$

Untuk defleksi pada sembarang titik di BC, substitusikan $EI\theta_C$ ke persamaan (e)

$$\begin{aligned}
EIy &= \frac{Pax^3}{6L} + \frac{Pab}{3L}(b - a) - \frac{Pab^2}{2L}x \\
&= \frac{Pax}{6L}[x^2 + 2b(b - a) - 3b^2] \\
&= \frac{Pax}{6L}[x^2 + 2b^2 - 2ab - 3b^2] \\
&= \frac{Pax}{6L}(x^2 - b^2 - 2ab) \\
&= -\frac{Pax}{6L}[b(b + 2a) - x^2] \\
&= -\frac{Pax}{6L}[(L - a)(L + a) - x^2] \\
&= -\frac{Pax}{6L}(L^2 - a^2 - x^2)
\end{aligned}$$

$$y = -\frac{Pax}{6EIL}(L^2 - a^2 - x^2) \quad (-) \text{ defleksi arah ke bawah}$$

Defleksi di C, $x = b$

$$y_C = \frac{Pab}{6EIL}(L^2 - a^2 - b^2) \dots \dots \dots (m)$$

ksi max akan terjadi pada CB karena $b > a$, untuk defleksi max adalah

0



∴ samakan persamaan (k) = 0

$$\frac{Pa}{6L}(3x^2 + b^2 - 2ab) = 0$$

$$3x^2 - b(b + 2a) = 0$$

$$3x^2 - (L - a)(L + a) = 0$$

$$3x^2 - (L^2 - a^2) = 0$$

$$3x^2 = L^2 - a^2 \rightarrow x = \sqrt{\frac{L^2 - a^2}{3}}$$

Untuk defleksi max, substitusi nilai x diatas ke persamaan (m)

$$f_{\max} = \frac{Pa}{6EIL} \cdot \sqrt{\frac{L^2 - a^2}{3}} \cdot \left[L^2 - a^2 - \left(\frac{L^2 - a^2}{3} \right) \right]$$

$$= \frac{Pa}{6EIL} \cdot \sqrt{\frac{L^2 - a^2}{3}} \cdot \left[\frac{2}{3}(L^2 - a^2) \right]$$

$$= \frac{Pa}{9\sqrt{3}EI} (L^2 - a^2)^{3/2}$$

Sehingga;

$$f = \frac{Pa}{9\sqrt{3}LEI} (L^2 - a^2)^{3/2} \quad (\text{mm})$$

dimana;

f : Defleksi (mm)

P : Besar beban yang diterima balok (kg)

a : Panjang dari titik A ke beban terpusat C (mm)

E : Modulus elastisitas baja ($\frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$)

I : Momen Inersia penampang (mm^4)

L : Panjang balok (mm)

