

**ANALISA LENDUTAN BALOK *WIDE FLANGE* DENGAN
METODE ANALITIS DAN FEM**

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar Strata 1

(S1) Sarjana Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik

Universitas hasanuddin



OLEH

ACHMAD ZUL FIQIH

D32114301

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2019





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
Kampus Unhas Tamalanrea, Jl. Perintis Kemerdekaan KM 10 Makassar
Telp/Fax : +62-411-585637, E-Mail: kapal@uh@indosat.net.id

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi

"Analisa Lendutan Balok Wide Flange Dengan Metode Analitis dan FEM"

OLEH:

ACHMAD ZUL FIQIH

D321 14 301

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Tanggal : 6 Januari 2020

Di : Gowa

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Juswan, MT.

NIP. 196212311989031031

Muh. Zubair Muis Alle, ST., MT., Ph.D.

NIP. 197506082005011003

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan

Dr. Taufiqur Rachmen, ST., MT.

NIP. 196908021997021001





ABSTRAK

Achmad Zul Fiqih. Analisa Lendutan Balok *Wide Flange* Dengan Metode Analitis dan FEM (dibimbing oleh **Juswan** dan **Muhammad Zubair Muis Alie**)

Analisis dan perancangan adalah dua pekerjaan yang dilakukan pada struktur baja. Proses analisis dan perancangan membutuhkan cara untuk mempercepat dan atau mempermudah. Proyek akhir ini bertujuan untuk mempercepat dan mempermudah pekerjaan analisis utamanya untuk baja *wide flange*. Analisis struktur baja khususnya balok baja *wide flange* bisa dilakukan dengan 2 metode, kedua metode tersebut adalah metode analisis integrasi langsung dan metode analisis dengan *software* SAP2000. Jenis profil baja *wide flange* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah WF 400x200x8x13. dan juga terdapat 6 model balok dengan 2 kondisi tumpuan untuk struktur baja dalam penelitian ini. Kondisi pertama adalah dengan tumpuan sendi-roll dan kondisi kedua dengan tumpuan jepit-bebas. Serta untuk pembebanan menggunakan distribusi beban merata dengan masing-masing nilainya sebesar 1 ton, 2 ton, dan 3 ton. Dari contoh hasil perhitungan analisis lendutan profil WF 400x200x8x13, untuk tumpuan sendi-roll hasil yang didapatkan dengan metode integrasi sebesar 18,24 mm dan untuk metode dengan SAP2000 didapatkan nilai sebesar 14,96 mm. Dan rasio perbandingan dari kedua metode tersebut adalah sebesar 17,98 %. Dan untuk tumpuan jepit-bebas didapatkan dengan metode integrasi nilai sebesar 175,15 mm dan untuk metode SAP2000 didapatkan nilai sebesar 143,18 mm. Dan untuk rasio perbandingan kedua metode tersebut adalah 18 %.

Kata Kunci: Analisis, Baja *Wide Flange*, Metode Integrasi Langsung, Metode SAP2000, Lendutan



ABSTRACT

Achmad Zul Fiqih. Analysis of *Wide Flange* Deformation with Analytical and FEM Methods (supervised **Juswan** and **Muhammad Zubair Muis Alie**)

Analysis and design are the two works carried out on steel structures. The analysis and design process requires a way to accelerate and / or facilitate. This final project aims to speed up and simplify the main analytical work for wide flange steels. Analysis of steel structures especially wide flange steel beams can be done by 2 methods, both methods are the method of direct integration analysis and the method of analysis with SAP2000 software. The type of wide flange steel profile that will be used in this study is WF 400x200x8x13. and there are also 6 beam models with 2 support conditions for steel structures in this study. The first condition is the roll-joint support and the second condition is the free-fixing support. And for loading uses a uniform load distribution with each value of 1 ton, 2 ton and 3 ton. From the sample calculation results of the deflection analysis WF 400x200x8x13, for the joint-roll support the results obtained by the integration method of 18.24 mm and for the method with SAP2000 obtained a value of 14.96 mm. And the ratio of the ratio of the two methods is 17.98%. And for the free-pin support, the integration method is 175.15 mm and for the SAP2000 method is 143.18 mm. And the ratio of the two methods is 18%.

Keywords: Analysis, Steel Wide Flange, Direct Integration Method, SAP2000 Method, Deflection



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji hanya milik Allah subbhanallahu wa Ta'ala. Tuhan semesta alam. Hanya dengan limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan penelitian akhir ini. Sholawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu'Alaihi Wassalam beserta keluarga, sahabat, dan umat yang senantiasa mengikutinya.

Penulis menyadari terselesaikannya penulisan laporan ini tidak lepas dari dukungan semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas laporan ini:

1. Bapak dan Ibu tercinta terima kasih atas segala nasehat, do'a kasih sayang diberikan kepada penulis dan pengorbanan yang telah dilakukan.
2. **Ir. Juswan S.T.,M.T.** dan **Muhammad Zubair Muis Alie S.T.,M.T.,Ph.D.** Selaku dosen pembimbing 1 dan 2 tugas akhir, terima kasih kepada bapak. beliau berdua karena tetap sabar dalam membimbing penulis sampai menyelesaikan tugas akhirnya.
3. Semua teman-teman di Departemen Teknik Kelautan angkatan 2014
4. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Pepatah mengatakan "Tak Ada Gading Yang Tak Retak". Begitu pula dengan tugas laporan ini yang jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya, semoga laporan ini dapat bermanfaat. Amin.

Gowa, 26 November 2019

Penulis

(Achmad Zul Fiqih)



DAFTAR ISI

ABSTRAK	2
Kata Pengantar	4
Daftar Isi	5
Daftar Gambar	7
Daftar Tabel	9
Daftar Notasi	10
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	11
1.2 Rumusan Masalah	13
1.3 Batasan Masalah	13
1.4 Tujuan Penelitian	14
1.5 Manfaat Penelitian	14
1.6 Sistematika Penulisan	14
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Kolom dan Balok	16
2.2 Teori Balok-Kolom Baja	17
2.3 Defenisi Defleksi pada Balok	19
1) Faktor-faktor yang mempengaruhi defleksi	20
2) Titik berat	21
3) Jenis-jenis tumpuan	22
4) Jenis-jenis pembebanan	24
2.4 Pentingnya Defleksi Balok	25
2.5 Metode-metode penentuan defleksi balok	26
2.6 Syarat-syarat tumpuan	31
2.7 Jenis peletakan pelat pada balok	31
2.8 Hubungan tegangan dan regangan	32
2.8.1 Tegangan normal	32
2.8.2 Regangan	34



2.8.3 Tegangan tarik (<i>Tensile Stress</i>)	36
2.8.4 Tegangan tekan (<i>Compressive Stress</i>)	37
2.8.5 Tegangan Geser (<i>Shear</i>)	38
2.8.6 Tegangan lentur (<i>Bending Stress</i>)	38
2.8.7 Tegangan Luluh (<i>Crushing/Bearing Stress</i>)	39
2.8.8 Tegangan izin dasar	39
2.9 Modulus Elastisitas (<i>Modulus Young</i>)	39
2.10 Analisa Dalam Penentuan Lendutan pada baja <i>wide flange</i> ..	41
2.11 Gambaran umum SAP2000	43
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Penelitian	45
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	46
3.3 Bentuk dan Spesifikasi	47
3.4 Jenis Data	49
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Manual	50
4.1.1 Perhitungan Luas Area	51
4.1.2 Perhitungan Area Geser	52
4.1.3 Perhitungan Momen Inersia	52
4.1.4 Perhitungan Modulus Penampang	52
4.1.5 Perhitungan Modulus Penampang Plastis	52
4.1.6 Perhitungan Lendutan	53
4.2 Analisa SAP2000	58
4.3 Perbandingan Analisa Manual dengan SAP2000	63
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	67
PUSTAKA	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Profil Baja <i>Wide Flange</i>	18
Gambar 2.2 Balok sebelum dan sesudah terjadi deformasi	19
Gambar 2.3 Titik berat dari beberapa bidang	22
Gambar 2.4 Tumpuan engsel	23
Gambar 2.5 Tumpuan rol	23
Gambar 2.6 Tumpuan Jepit	24
Gambar 2.7 Pembebanan terpusat	24
Gambar 2.8 Pembebanan merata	25
Gambar 2.9 Pembebanan bervariasi <i>uniform</i>	25
Gambar 2.10 Kurva elastis	26
Gambar 2.11 Hubungan beban-lendutan pada balok	29
Gambar 2.12 Faktor pengali untuk lendutan jangka panjang	30
Gambar 2.13 Tumpuan pelat	31
Gambar 2.14 Peletakan pelat pada balok	32
Gambar 2.15 Jenis-jenis tegangan	33
Gambar 2.16 Diagram tegangan-regangan baja	34
Gambar 2.17 Tegangan tarik	37
Gambar 2.18 Tegangan tekan	37
Gambar 2.19 Tampilan layar SAP2000 versi 15	43
Gambar 2.20 Kotak <i>dialog new model</i> pada SAP2000 versi 15	44
Gambar 3.1 Alur proses penelitian	46
Gambar 3.2 Model 1	47
Gambar 3.3 Model 2	47
Gambar 3.4 Model 3	48
Gambar 3.5 Model 4	48
Gambar 3.6 Model 5	48
Gambar 3.7 Model 6	49
Gambar 4.1 Baja WF 400x200x8x13	51



Gambar 4.2 Defleksi baja *wide flange* untuk tumpuan sendi-roll59

Gambar 4.3 Defleksi baja *wide flange* untuk tumpuan jepit-bebas61



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Modulus young</i> pada material	36
Tabel 4.1 Hasil analisa defleksi untuk model 1	56
Tabel 4.2 Hasil analisa defleksi untuk model 2	60
Tabel 4.3 Hasil analisa defleksi untuk model 3	60
Tabel 4.4 Hasil analisa defleksi untuk model 4	61
Tabel 4.5 Hasil analisa defleksi untuk model 5	62
Tabel 4.6 Hasil analisa defleksi untuk model 6	62
Tabel 4.7 Lendutan maksimal balok pada kondisi tumpuan sendi-roll	63
Tabel 4.8 Lendutan maksimal balok pada kondisi tumpuan jepit-bebas ..	64



DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
H	Tinggi <i>Wide Flange</i>	mm
B	Lebar <i>Wide Flange</i>	mm
H_w	Tinggi badan	mm
t_w	Tebal badan	mm
t_f	Tebal sayap	mm
ε	Regangan	
σ	Tegangan	N/mm ²
E	Elastisitas	N/mm ²
L	Panjang batang	m
A	Luas penampang	mm ²
F	Gaya aksial	N
ΔL	Pertambahan panjang	mm
M	Momen lentur	Nmm
τ	Tegangan geser	N/mm ²
P	Gaya lintang	N
C_1, C_2	Konstanta	
P	Kapasitas beban aksial	Ton
Q	Berat balok	Ton
ρ	Kerapatan fluida	Kg/m ³
C_D	Koefisien gesek	
C_I	Koefisien inersia	
A_v	Area geser	cm ²
I_x	Momen inersia	cm ⁴
S_x	Modulus penampang	cm ⁴
	Modulus penampang plastis	cm ³
	Lendutan maksimum	mm



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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.

Pada konstruksi teknik, hampir dipastikan semuanya memerlukan perhitungan-perhitungan yang baik agar desain yang dibangun dan saat diaplikasikan benar-benar kuat dan berfungsi. Hal-hal tersebut berkaitan dengan gaya-gaya yang menjadi tanggungan desain konstruksi tersebut. Saat menerima gaya, konstruksi akan mengalami defleksi sesuai dengan gaya yang diterima dan jenis material yang digunakan untuk konstruksi tersebut.

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan kepada balok atau batang tersebut. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi.

Jarak perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi balok. Pada kriteria kekuatan, desain *beam* haruslah cukup kuat untuk menahan gaya geser dan momen lentur, sedangkan pada kriteria kekakuan, desain haruslah cukup kaku untuk menahan defleksi yang terjadi agar batang tidak melendut melebihi batas yang telah diizinkan.

Adapun hal-hal yang dapat mempengaruhi besar kecilnya defleksi

besar dan jenis pembebanan.
jenis tumpuan.



- c) Jenis material.
- d) Kekuatan material.

Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi besar kecilnya defleksi adalah jenis tumpuan, dan berikut adalah beberapa jenis tumpuan yang sering digunakan:

- a) Tumpuan Jepit.

Tumpuan jepitan merupakan tumpuan yang dapat menahan momen dan gaya dalam arah vertikal maupun horizontal.

- b) Tumpuan Engsel.

Tumpuan engsel merupakan tumpuan yang dapat menahan gaya horizontal maupun gaya vertikal yang bekerja padanya.

- c) Tumpuan Rol.

Tumpuan rol merupakan tumpuan yang bias menahan komponen gaya vertikal yang bekerja padanya.

Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya defleksi pada batang adalah jenis beban yang diberikan kepadanya, dan berikut jenis pembebanan :

- a. Beban Terpusat
- b. Beban Terbagi Merata
- c. Beban Bervariasi *Uniform*

Adapun metode-metode yang dapat digunakan dalam perhitungan lendutan/defleksi pada balok yaitu :

- a. Metode integrasi
- b. Metode luas diagram momen
- c. Metode superposisi
- d. Metode energi

Metode konyugat

Metode integrasi dan metode diagram momen digunakan untuk analisis hasil dalam penelitian ini. Untuk menyelesaikan masalah-



masalah perhitungan defleksi, maka diperlukan syarat-syarat batas, antara lain :

- a. Pada tumpuan jepit defleksi dan *slope* adalah sama dengan nol.
- b. Pada tumpuan rol dan engsel, defleksi dan momen sama dengan nol.
- c. Pada ujung bebas, momen lentur dan gaya geser sama dengan nol.

Untuk setiap batang yang ditumpu akan melendut apabila diberikan beban yang cukup besar. Lendutan batang disetiap titik dapat dihitung dengan menggunakan metode diagram atau cara integral ganda dan untuk mengukur gaya yang digunakan. Lendutan sangat penting dalam konstruksi terutama dalam konstruksi mesin. Dimana pada bagian-bagian tertentu seperti poros lendutan sangat tidak diinginkan, karena adanya lendutan maka operasi mesin menjadi tidak normal sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada bagian mesin.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa defleksi (lendutan) pada balok *wide flange* setelah dicari menggunakan metode integrasi langsung?
2. Berapa defleksi (lendutan) pada balok *wide flange* setelah dicari menggunakan metode FEM?
3. Berapa perbandingan dari lendutan balok *wide flange* setelah dicari menggunakan kedua metode tersebut?

1.3. Batasan Masalah

Untuk lebih menyederhanakan dan memudahkan penelitian ini maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Jenis balok baja yang digunakan adalah balok *wide flange*

melakukan analisa lendutan pada balok *wide flange* yang diberi beban yang berbeda serta tumpuan yang berbeda



3. Melakukan komparasi antara hasil analisis integrasi langsung dan FEMSAP

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

1. Mengetahui defleksi (lendutan) pada balok *wide flange* setelah dicari menggunakan metode integrasi langsung.
2. Mengetahui defleksi (lendutan) pada balok *wide flange* setelah dicari menggunakan metode FEM.
3. Mengetahui perbandingan dari lendutan balok *wide flange* setelah dicari menggunakan kedua metode tersebut.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan informasi bagi industri bangunan lepas pantai dalam perencanaan di masa yang akan datang serta untuk pengembangan ilmu pengetahuan mengenai batas dari lendutan pada balok *wide flange* jika diberi beban yang berbeda.

1.6. Sistematika Penulisan

Penyusunan skripsi ini dibagi dalam beberapa bagian untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas dan sistematis sekaligus memungkinkan para pembaca agar dapat menginterpretasikan hasil tulisan ini secara tepat, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, manfaat yang ingin dicapai, tujuan dilakukannya penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan definisi lendutan pada balok utamanya balok *wide flange* dan pentingnya defleksi pada balok. Selain itu pada bab ini juga akan membahas tentang metode-metode defleksi pada balok serta *software* yang digunakan sebagai alat komparasi dari hasil perhitungan manual.



BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan jenis penelitian yang digunakan, lokasi dan waktu penelitian, metode penelitian, teknik analisis dan alur penyelesaian penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini meliputi analisa data serta hasil yang diperoleh setelah melakukan perhitungan manual dari setiap balok *wide flange* yang diberi beban yang berbeda serta menganalisa hasil komparasi perhitungan manual dengan *software* SAP

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi keseluruhan hasil yang akan disimpulkan dan diberikan saran.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Kolom dan Balok

Balok adalah bagian dari struktural sebuah bangunan yang kaku dan dirancang untuk menanggung dan mentransfer beban menuju elemen-elemen kolom penopang. Selain itu *ring* balok juga berfungsi sebagai pengikat kolom-kolom agar apabila terjadi pergerakan kolom-kolom tersebut tetap bersatu padu mempertahankan bentuk dan posisinya semula. *Ring* balok dibuat dari bahan yang sama dengan kolomnya sehingga hubungan ring balok dengan kolom yang bersifat kaku tidak mudah berubah bentuk. Pola gaya yang tidak seragam dapat mengakibatkan balok melengkung atau defleksi yang harus ditahan oleh kekuatan internal material.

Beberapa jenis balok antara lain :

- Balok sederhana bertumpu pada kolom diujung-ujungnya, dengan satu ujung bebas berotasi dan tidak memiliki momen tahan. Seperti struktur statis lainnya, nilai dari semua reaksi, pergeseran dan momen untuk balok sederhana adalah tidak tergantung bentuk penampang dan materialnya.
- Kantilever adalah balok yang diproyeksikan atau struktur kaku lainnya didukung hanya pada satu ujung tetap
- Balok teritisan adalah balok sederhana yang memanjang melewati salah satu kolom tumpuannya.
- Balok dengan ujung-ujung tetap (dikaitkan kuat) menahan translasi dan rotasi

Bentang tersuspensi adalah balok sederhana yang ditopang oleh teritisan dari dua bentang dengan konstruksi sambungan *pin* pada momen nol.



- Balok *kontinu* memanjang secara menerus melewati lebih dari dua kolom tumpuan untuk menghasilkan kekakuan yang lebih besar dan momen yang lebih kecil dari serangkaian balok tidak menerus dengan panjang dan beban yang sama.

Balok terbagi dari beberapa macam, yaitu :

- Balok kayu
Balok kayu menopang papan atau dek struktural. Balok dapat ditopang oleh balok induk, tiang, atau dinding penopang beban.
- Balok baja
Balok baja menopang dek baja atau papan beton pracetak. Balok dapat ditopang oleh balok induk (girder), kolom, atau dinding penopang beban.
- Balok beton
Pelat beton yang dicor di tempat dikategorikan menurut bentangan dan bentuk cetakannya.

BALOK BAJA

Balok induk, balok, kolom baja struktural digunakan untuk membangun rangka bermacam-macam struktur mencakup bangunan satu lantai sampai gedung pencakar langit. Karena baja struktural sulit dikerjakan lokasi (*on-site*) maka biasanya dipotong, dibentuk, dan dilubangi dalam pabrik sesuai spesifikasi desain. Hasilnya berupa konstruksi rangka struktural yang *relative* cepat dan akurat. Baja struktural dapat dibiarkan terekspos pada konstruksi tahan api yang tidak terlindungi, tapi karena baja dapat kehilangan kekuatan secara drastik karena api, pelapis anti api dibutuhkan untuk memenuhi kualifikasi sebagai konstruksi tahan api.

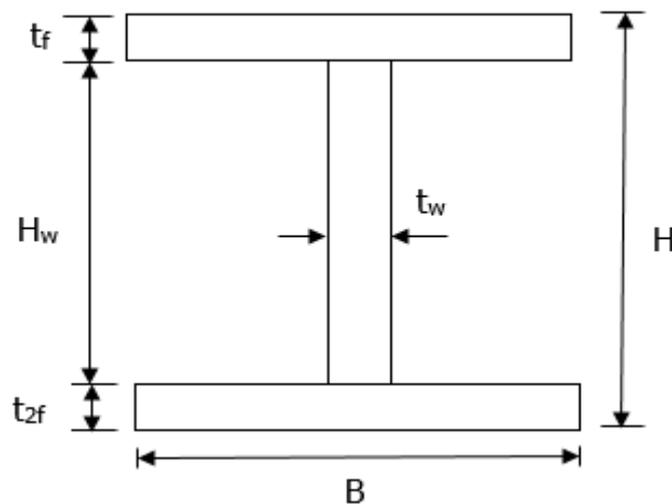
Balok baja berbentuk *wide flange* (W) yang lebih efisien secara struktural menggantikan bentuk klasik *I-beam* (S). Balok juga dapat berbentuk (C), *tube structural*.



2.2. Teori Balok-Kolom Baja

A. Profil *Wide Flange*

Profil *Wide Flange* adalah profil berpenampang H atau I yang dihasilkan dari proses canai panas (*Hot rolling mill*). Baja Profil *WF-beam* memiliki dimensi tinggi (H), lebar (B), tinggi badan (H_w), tebal badan (t_w), tebal sayap (t_f) merata dari ujung hingga pangkal dengan penjelasan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Profil Baja *Wide Flange*.

B. Definisi Balok-Kolom

Suatu komponen struktur harus mampu memikul beban aksial (tarik/tekan) serta momen lentur. Apabila besarnya gaya aksial yang bekerja cukup kecil dibandingkan momen lentur yang bekerja, maka efek dari gaya aksial tersebut dapat diabaikan dan komponen struktur tersebut dapat didesain sebagai komponen balok lentur. Namun apabila komponen struktur memikul gaya aksial dan momen lentur yang tidak dapat diabaikan salah satunya, maka komponen struktur tersebut dinamakan balok-kolom

(*column*) (Agus Setiawan : 2008).

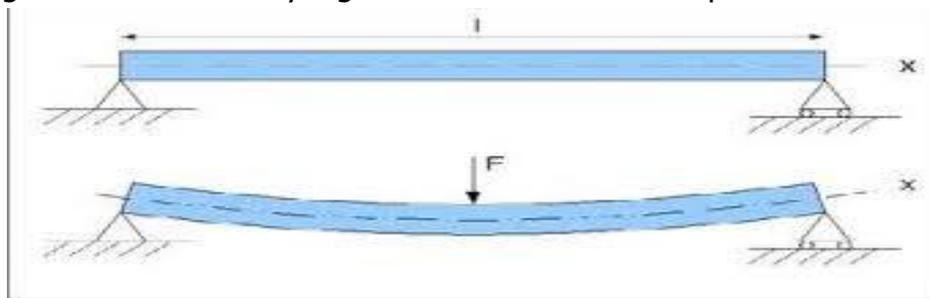
Dikibat kondisi pembebanan yang bekerja, maka batang AB tidak memikul beban merata saja namun juga memikul beban lateral P_1 .



Dalam hal ini efek lentur dan gaya tekan P_1 yang bekerja pada batang AB harus dipertimbangkan dalam proses desain penampang batang AB, maka batang AB harus didesain sebagai suatu elemen balok-kolom. Selain, batang AB yang didesain sebagai elemen balok-kolom, batang AC, BD, CE, DF, juga didesain sebagai elemen balok kolom. Karena selain memikul gaya aksial akibat reaksi dari balok-balok AB dan CD, efek lentur dan efek gaya aksial yang bekerja tidak bisa diabaikan salah satunya. Berbeda dengan batang CD yang hanya didominasi oleh efek lentur, gaya lateral P_2 telah dipikul oleh pengaku-pengaku (*bracing*) bentuk X. Sehingga batang CD dapat didesain sebagai suatu elemen balok tanpa pengaruh gaya aksial (Agus Setiawan:2008).

2.3. Definisi defleksi pada balok

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 2.2 memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



Gambar 2.2 Keadaan balok sebelum dan sesudah terjadi deformasi

Perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam hal ini, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai x sepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan



yang sering disebut persamaan defleksi kurva (atau kurva elastis) dari balok.

Menurut E. P. Papov (1993), pada semua konstruksi teknik, bagian bagian pelengkap suatu bangunan haruslah diberi ukuran-ukuran fisik tertentu yang harus diukur dengan tepat agar dapat menahan gaya-gaya yang akan diberikan padanya. Misalnya bagian dari suatu struktur komposit haruslah cukup tegar untuk tidak melentur melebihi batas yang diizinkan dibawah kondisi pembebanan yang diberikan. Kemampuan untuk menentukan maksimum yang dapat diterima oleh suatu konstruksi sangatlah penting. Dalam aplikasi keteknikan, kebutuhan tersebut haruslah disesuaikan dengan pertimbangan ekonomis dan pertimbangan teknis. Dari segi teknis seperti kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffnes*), dan kestabilan (*stability*).

Pemilihan atau desain suatu batang/struktur sangat tergantung pada segi teknis di atas yaitu kekuatan, kekakuan dan kestabilan. Pada kreteria kekuatan desain *beam*/struktur haruslah cukup kuat untuk menahan gaya geser dan momen lentur, sedangkan pada kriteria kekakuan, desain haruslah cukup kaku untuk menahan lendutan yang terjadi agar batang tidak melendut belebihi batas yang telah diizinkan (E. P. Papov, 1993). Sistem struktur yang diletakkan horizontal dan yang terutama di peruntukan memikul beban lateral, yaitu beban yang bekerja tegak lurus sumbu aksial struktur (*Binsar Hariandjar 1996*). Beban semacam ini khususnya muncul sebagai beban gravitasi, seperti misalnya bobot sendiri, beban hidup vertikal, beban *crane* dan lain-lain. Sumbu sebuah struktur akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh terpakai. Dengan kata lain suatu struktur akan mengalami pembebanan transversal baik itu terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi.



1) Faktor-faktor yang Mempengaruhi Defleksi

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu:

1. Kekakuan struktur

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

2. Besarnya kecil gaya yang diberikan

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

3. Jenis tumpuan yang diberikan

Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Maka karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi akan semakin kecil. Sejalan dengan hal tersebut maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan sendi dan defleksi yang terjadi pada tumpuan sendi lebih besar dari tumpuan jepit.

4. Jenis beban yang diberikan pada struktur

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata *slope* yang terjadi pada bagian struktur 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 (*Binsar Hariandja 1996*).

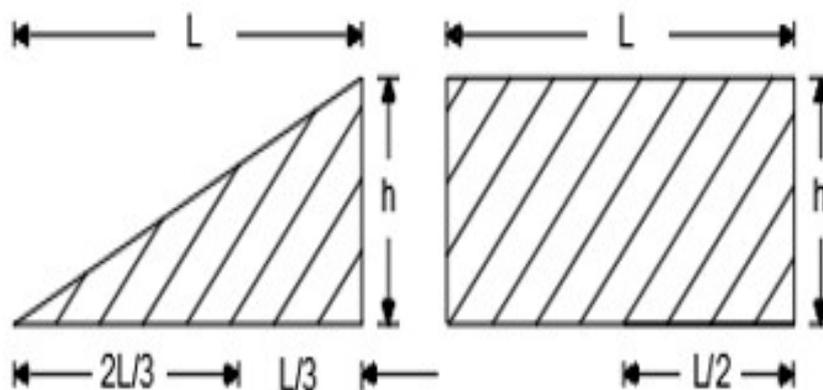
2) Titik Berat

Sebuah benda adalah gaya yang paling sering kita jumpai. Titik berat adalah titik kedudukan dalam suatu benda dimana gaya berat secara



efektif bekerja. Perhatikan titik berat tidak selalu bekerja didalam benda tetapi dapat saja bekerja di luar benda.

Dapat juga dinyatakan bahwa titik berat atau pusat berat benda sebagai titik yang terhadap gaya-gaya berat yang bekerja pada semua partikel benda itu menghasilkan momen resultan nol. Karena itulah benda yang ditumpu pada titik beratnya akan berada dalam kesetimbangan statik.



Gambar 2.3. Titik berat dari beberapa bidang

3) Jenis-jenis Tumpuan

Menurut E. P. Papov (1993), dalam menganalisa batang/struktur digunakan kaidah diagramatik untuk tumpuan balok/struktur tersebut dan pembebanan yang disebabkan oleh macam-macam tumpuan, dan berbagai variasi dari beban.

Adapun jenis-jenis tumpuan yang sering digunakan ada 3 yaitu:

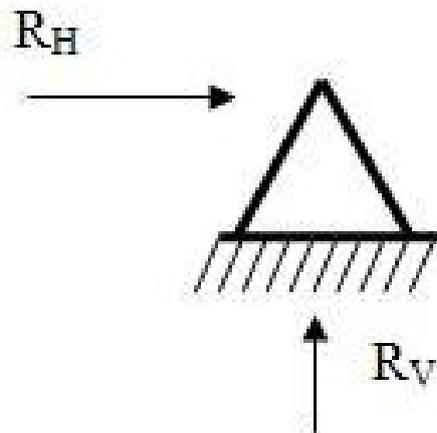
1. Engsel

Engsel merupakan tumpuan yang dapat menerima gaya reaksi vertical dan gaya reaksi horizontal. Tumpuan yang berpasak mampu melawan gaya yang bekerja dalam setiap arah dari bidang. Jadi pada

nya reaksi pada suatu tumpuan seperti ini mempunyai dua komponen yang satu dalam arah horizontal dan yang lainnya dalam arah kal. Tidak seperti pada perbandingan tumpuan roll atau



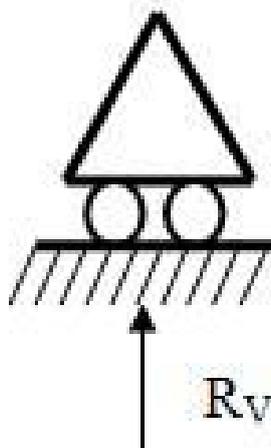
penghubung, maka perbandingan antara komponen-komponen reaksi pada tumpuan yang berpasak tidaklah tetap. Untuk menentukan kedua komponen ini, dua buah komponen statika harus digunakan.



Gambar 2.4. Tumpuan Engsel

2. Rol

Rol merupakan tumpuan yang hanya dapat menerima gaya reaksi vertikal. Tumpuan ini mampu melawan gaya-gaya dalam suatu garis aksi yang spesifik. Pada gambar dibawah terlihat tumpuan hanya dapat melawan beban vertikal.

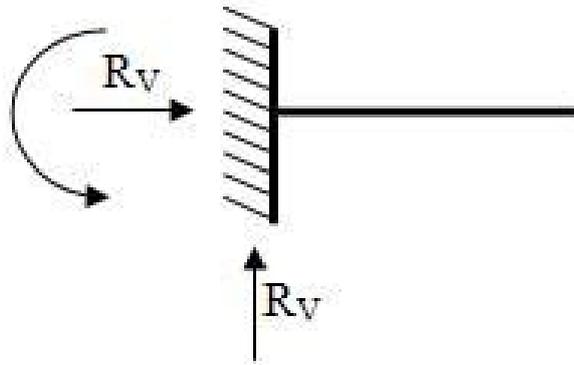


Gambar 2.5. Tumpuan Roll



3. Jepit

Jepit merupakan tumpuan yang dapat menerima gaya reaksi vertikal, gaya reaksi horizontal dan momen akibat jepitan dua penampang. Tumpuan jepit ini mampu melawan gaya dalam setiap arah.



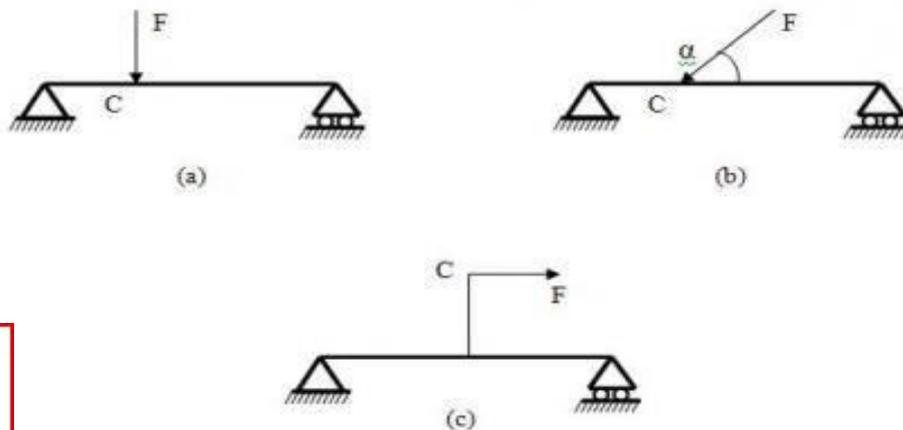
Gambar 2.6. Tumpuan Jepit

4) Jenis-jenis Pembebanan

Salah satu faktor yang mempengaruhi defleksi pada struktur adalah jenis beban yang diberikan kepada struktur. Adapun jenis pembebanan sebagai berikut:

1. Beban terpusat

Titik kerja pada struktur dapat dianggap berupa titik karena luas kontaknya kecil.

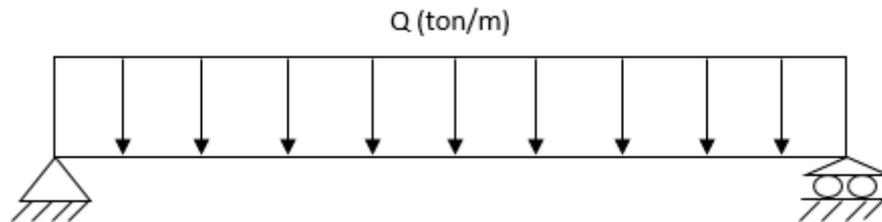


Gambar 2.7. Pembebanan Terpusat



2. Beban terbagi merata

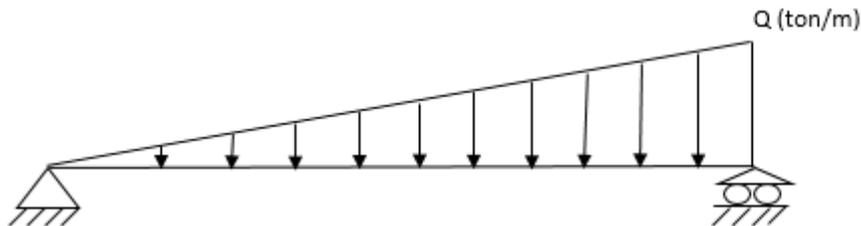
Disebut beban terbagi merata karena sepanjang batang dinyatakan dalam Q (ton/m atau kN/m)



Gambar 2.8. Pembebanan Merata

3. Beban bervariasi *uniform*

Disebut beban bervariasi *uniform* karena beban sepanjang batang besarnya tidak merata.



Gambar 2.9. Pembebanan Bervariasi *Uniform*

2.4. Pentingnya defleksi balok

Disamping faktor tegangan, spesifikasi untuk rancang bangun balok sering ditentukan oleh adanya defleksi. Konsekuensinya, disamping perhitungan tentang tegangan-tegangan, perancang juga harus mampu menentukan defleksi. Sebagai contoh, dalam banyak kode bangunan defleksi maksimum yang diperkenankan dari suatu batang tidak boleh melebihi $1/300$ panjang balok. Dengan demikian, balok yang dirancang dengan baik tidak hanya mampu mendukung beban yang akan diterimanya

juga harus mampu mengatasi terjadinya defleksi sampai batas



2.5. Metode-metode penentuan defleksi balok

Banyak metode yang tersedia untuk menentukan defleksi balok. Metode-metode yang umum digunakan antara lain adalah: (1) Metode integrasi-ganda, (2) Metode momen luas dan (3) Metode energi elastis. Hanya metode pertama dan kedua yang akan diuraikan dalam bab ini. Perlu dicatat bahwa kesemua metode tersebut hanya bisa diterapkan jika seluruh porsi balok bekerja dalam rentang elastis.

Metode Integrasi Ganda

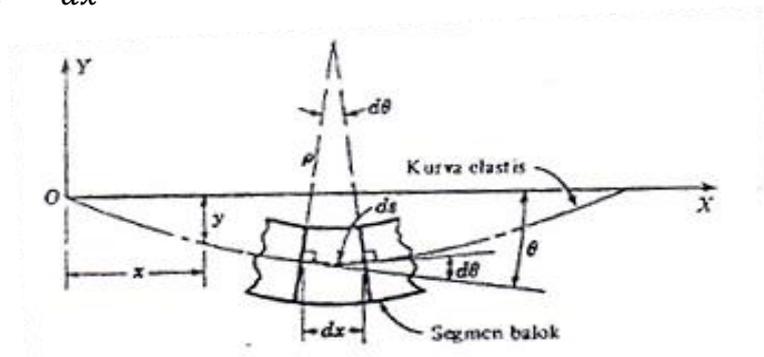
Pandangan samping permukaan netral balok yang melendut disebut kurva elastis balok seperti pada gambar 2.11. Gambar 2.11 memperlihatkan bagaimana menetapkan persamaan kurva ini, yaitu menetapkan lendutan tegak y dari setiap titik dengan koordinat x .

Ujung kiri batang sebagai sumbu asli x searah dengan kedudukan balok original tanpa lendutan, dan sumbu y arah keatas positif. Lendutan dianggap kecil sehingga tidak terdapat perbedaan panjang balok asli dengan proyeksi panjang lendutannya. Konsekuensinya kurva elastis sanga datar dan kemiringannya pada setiap titik sangat kecil. Harga kemiringan, $\tan \theta = dy/dx$, dengan kesalahan sangat kecil bisa dibuat dengan θ , oleh karena itu

$$\theta = dy/dx \dots \dots \dots (2.1)$$

Dan

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{dy}{dx} \dots \dots \dots (2.2)$$



Gambar 2.10. Kurva Elastis



Apabila kita meninjau variasi θ dalam panjang diderensial ds yang disebabkan oleh lenturan pada balok, secara tidak nyata bahwa

$$ds = \rho d\theta \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana ρ adalah jari-jari kurva sepanjang busur ds . Karena kurva elastis sangat datar, ds pada prakteknya sama dengan dx sehingga dari persamaan (2.2) dan (2.3) diperoleh

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} \approx \frac{d\theta}{dx} \quad \text{atau} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana rumus lentur yang terjadi adalah

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan menyamakan harga $\frac{1}{\rho}$ dari persamaan (2.4) dan (2.5), di peroleh

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M \dots \dots \dots (2.6)$$

Persamaan ini di sebut persamaan diferensial kurva defleksi balok. Perkalian EI, kekakuan lentur balok, biasanya tetap sepanjang balok.

Dimana:

- E = Modulus Elastisitas
- I = Momen Inersia Penampang
- M = Momen Lentur
- y = Defleksi Balok
- x = Jarak Sepanjang Balok

Apabila persamaan (2.6) diintegrasikan, andaikan EI dipeoleh

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \dots \dots \dots (2.7)$$

Persamaan ini adalah persamaan kemiringan yang menunjukkan kemiringan atau harga dy/dx pada setiap titik. Dapat dicatat bahwa M

kan persamaan momen yang dinyatakan dalam fungsi x, dan C_1 konstanta yang dievaluasi dari kondisi pembebanan tertentu.

emudian mengintegrasikan persamaan (2.7), sehingga diperoleh



$$EIy = \iint M dx dx + C_1 + C_2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Persamaan ini adalah persamaan lendutan kurva elastis yang dikehendaki guna menunjukkan harga y untuk setiap harga x, C₂ adalah konstanta integrase lain yang harus dievaluasi dari kondisi balok tertentu dan pembebanannya.

Apabila kondisi pembebanan dirubah pada sepanjang balok, maka persamaan momen akan berubah pula. Kasus ini membutuhkan penulisan persamaan momen secara terpisah antara setiap perubahan titik pembebanan dua integrasi dari persamaan (2.8) dibuat untuk setiap persamaan momen seperti itu. Pengevaluasian kontanta integrasi menjadi sangat rumit. Kesulitan ini dapat dihindari dengan menuliskan persamaan momen tunggal sedemikian rupa sehingga menjadi persamaan kontinu untuk seluruh panjang balok meskipu pembebanan tidak seimbang.

Momen lentur yang telah didapatkan dari setiap segmen balok diantara titik-titik pembebanan dimana terjadi perubahan pembebanan, kemudian masing-masing akan diintegalkan untuk setiap segmen balok.

Metode Momen Luas

Metode yang berguna untuk menetapkan kemiringan dan lendutan batang menyangkut luas diagram momen dan momen luas adalah diagram momen. Metode momen luas mempunyai batasan yang sama seperti metode integrasi ganda

Perilaku Beban Lendutan Pada Struktur

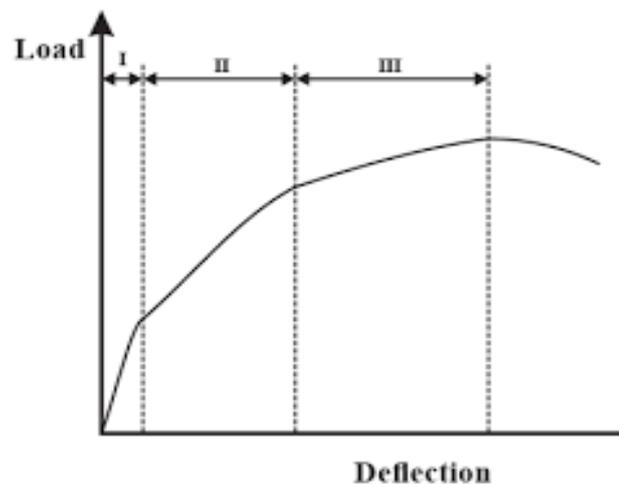
Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat di idealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar dibawah. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya *rupture*.



: Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.

Daerah II: Taraf pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak- retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik dalam distribusinya maupun lebarnya.

Daerah III: Taraf pasca-serviceability, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.



Gambar 2.11. Hubungan beban–lendutan pada balok. Daerah I, Taraf praretak; Daerah II, Taraf pascaretak; Daerah III, Taraf *pasca-serviceability* [Nawy,2003].

Lendutan yang Diizinkan Pada Struktur

Lendutan yang diizinkan pada sistem struktur sangat bergantung pada besarnya lendutan yang masih dapat ditahan oleh komponen-komponen struktur yang berinteraksi tanpa kehilangan penampilan estetik dan tanpa kerusakan pada elemen yang terdefleksi. Akan tetapi struktur-struktur pada masa sekarang dirancang dengan menggunakan prosedur kekuatan batas (*ultimate*), yaitu dengan memanfaatkan kekuatan tinggi baja dengan betonnya. Dengan demikian akan diperoleh elemen-elemen yang semakin langsing dan dalam hal demikian lendutan sesaat jangka panjang sangat perlu dikontrol.

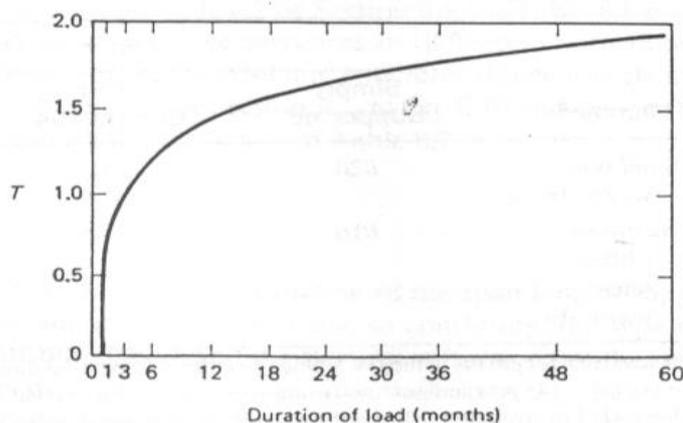


Lendutan Jangka Panjang

Faktor-faktor yang bergantung pada waktu dapat memperbesar lendutan terhadap bertambahnya waktu. Sebagai akibatnya perencana harus mengevaluasi lendutan sesaat (*immediate*) maupun lendutan jangka panjang (*long-term*) agar lendutan ini terjamin tidak akan melebihi suatu kriteria tertentu. Efek-efek yang bergantung pada waktu ini disebabkan oleh rangkakan (*creep*), susut (*shrinkage*) dan regangan-regangan yang bergantung pada waktu. Regangan-regangan tambahan ini menyebabkan perubahan distribusi tegangan pada struktur sehingga kelengkungan pada elemen struktural bertambah untuk suatu beban luar yang tetap. Lendutan tambahan akibat beban *sustained* dan susut jangka panjang yang sesuai dengan prosedur ACI dapat dihitung dengan menggunakan faktor pengali seperti pada persamaan dibawah ini:

$$\lambda = \frac{\xi}{1+50\rho'} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana ρ' adalah rasio tekan yang dihitung pada lapangan untuk struktur ditumpu sederhana dan struktur menerus dan struktur T adalah faktor yang diambil sebesar 1,0 untuk lama pembebanan 3 bulan, 1,2 untuk lama pembebanan 6 bulan, dan 2,0 untuk lama pembebanan 5 tahun atau lebih.

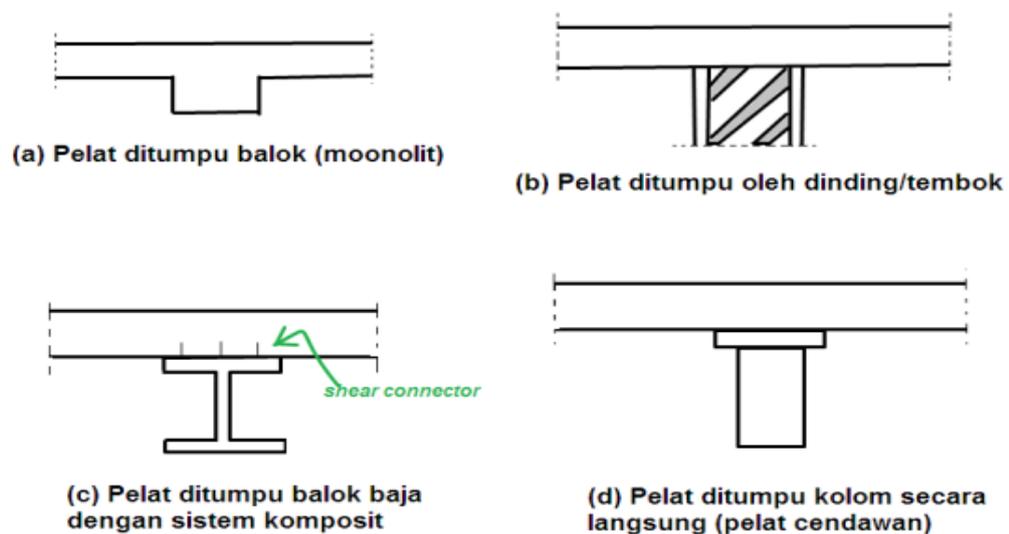


2.12. Faktor Pengali untuk lendutan jangka panjang [Nawy,2003].



2.6. Syarat-syarat Tumpuan

Untuk merencanakan pelat perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan saja, tetapi juga jenis perletakan dan jenis penghubung di tempat tumpuan. Kekakuan hubungan antara pelat dan tumpuan akan menentukan besar momen lentur yang terjadi pada pelat. Untuk bangunan gedung, umumnya pelat tersebut ditumpu oleh balok-balok secara monolit, yaitu pelat dan balok dicor bersama-sama sehingga menjadi satu-kesatuan, seperti pada gambar (a) atau ditumpu oleh dinding-dinding bangunan seperti pada gambar (b). Kemungkinan lainnya, yaitu pelat didukung oleh balok-balok baja dengan sistem komposit seperti pada gambar (c), atau didukung oleh kolom secara langsung tanpa balok, yang dikenal dengan pelat cendawan, seperti gambar (d).



Gambar 2.13. Tumpuan Pelat

2.7. Jenis Peletakan Pelat pada Balok

Kekakuan hubungan antara pelat dan konstruksi pendukungnya (balok) menjadi satu bagian dari perencanaan pelat .

Jenis perletakan pelat pada balok :



1. Terletak bebas

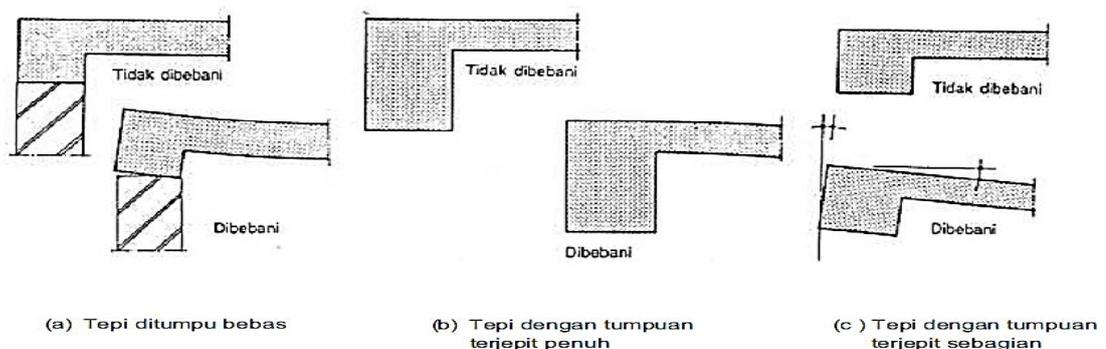
Keadaan ini terjadi jika pelat di letakkan begitu saja di atas balok, atau antara pelat dan balok tidak di cor bersama-sama, sehingga pelat dapat berotasi bebas pada tumpuan tersebut. Pelat yang di tumpu oleh tembok juga termasuk dalam kategori terletak bebas.

2. Terjepit elastis / terjepit sebagian

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok di cor bersama-sama secara monolit tetapi ukuran balok cukup kecil, sehingga balok tidak cukup kuat untuk mencegah terjadinya rotasi pelat.

3. Terjepit Penuh / terjepit sempurna

Keadaan ini terjadi jika pelat dan balok di cor bersama-sama secara monolit, dan ukuran balok cukup besar, sehingga mampu mencegah terjadinya rotasi pelat.



Gambar 2.14. Peletakan Pelat Pada Balok

2.8. Hubungan Tegangan dan Regangan

2.8.1. Tegangan Normal

Pengetahuan dan pengertian tentang bahan dan perilakunya jika mendapat gaya atau beban sangat dibutuhkan di bidang teknik bangunan.

tu batang prismatic, dengan luas penampang seragam di sepanjang menerima beban atau gaya searah dengan panjang batang, maka sebut akan menimbulkan tegangan atau tekanan pada penampang



batang. Tegangan atau tekanan merupakan besaran gaya per satuan luas tampang. Sehingga besar tegangan yang dialami batang prismatik tersebut masing - masing sebesar T/A dan P/A . Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan bentuk dan ukuran benda bergantung pada arah dan letak gaya luar yang diberikan. Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. Secara matematis dituliskan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.10)$$

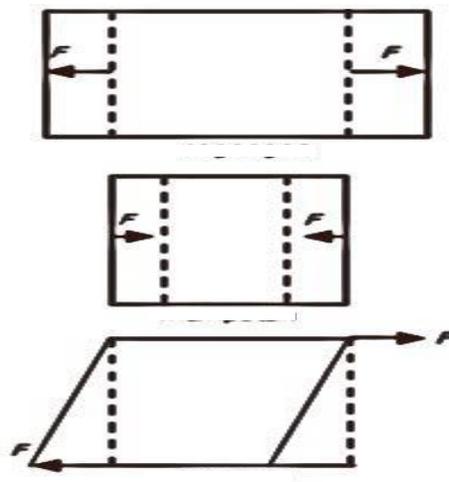
dengan:

σ = tegangan (N/mm^2)

F= gaya (N)

A= luas penampang (mm^2)

Satuan SI untuk tegangan adalah *pascal* (Pa), dengan konversi: 1 Pa = 1 N/mm^2 . Tegangan normal dibedakan menjadi tiga macam, yaitu tegangan tarik, tegangan tekan, dan tegangan geser, seperti ditunjukkan pada gambar :



Gambar 2.15. Jenis-Jenis Tegangan



2.8.2. Regangan

Adapun regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang atau pendek batang dengan ukuran mula-mula dinyatakan:

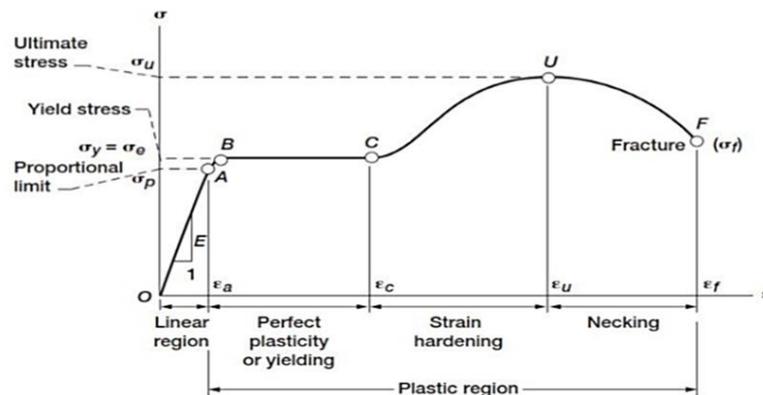
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (2.11)$$

dengan:

ϵ = regangan

ΔL = pertambahan panjang (mm)

L = panjang mula-mula (mm)



Gambar 2.16. Diagram Tegangan – Regangan Baja

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2, batas elastis (*elastic limit*) bahan tercapai (titik B). Setelah batas elastisitas dicapai, tiba-tiba terjadi pemanjangan, sementara beban pada batang sesungguhnya turun. Yaitu bahan secara tiba-tiba mulur (pada titik C) yang disebut titik mulur (*yield point*), tetapi bahan segera memperlihatkan lagi kemampuan menahan kenaikan tegangan, tetapi pemanjangan sekarang naik dengan laju yang lebih cepat dari tegangan sampai mencapai titik F yaitu tegangan maksimum batas kekuatan bahan. Tegangan ini disebut tegangan batas

(*ultimate stress*) yaitu tegangan suatu bahan yang dapat ditahan tanpa mengalami kerusakan. Diluar titik F, pemanjangan akan berlanjut, tetapi mengalami tegangan berkurang, sampai akhirnya batang patah.



Daerah Linear (*elastic limit*)

Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya hampir kembali ke kondisi semula) yaitu regangan "nol" pada titik O. Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan tersebut.

Titik Luluh (batas proporsional)

Titik dimana suatu bahan apabila diberi suatu bahan memasuki fase peralihan deformasi elastis ke plastis. Yaitu titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Dalam prakter, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula, bila bahan di tarik sampai melewati batas proporsional. *Ultimate Tensile Strenght* (UTS) merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

Titik Putus

Merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada material dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan material terhadap tegangan. Pada daerah elastis, besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut disebut modulus elastisitas atau *Modulus Young*. Pengukuran *modulus Young* dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang akustik, karena kecepatan

bergantung pada *modulus Young*. Secara matematis dirumuskan:

$$= \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.11)$$



$$E = \frac{F.L}{A.\Delta L} \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan:

E = modulus Young (N/mm²)

F = gaya (N)

L = panjang mula-mula (mm)

ΔL = pertambahan panjang/pendek (mm)

A = luas penampang (mm²)

Nilai *modulus Young* hanya bergantung pada jenis benda (komposisi benda), tidak bergantung pada ukuran atau bentuk benda. Nilai *modulus Young* beberapa jenis bahan dapat kalian lihat pada Tabel 2.1 Satuan SI untuk E adalah *pascal* (Pa) atau N/mm².

Tabel 2. 1 *Modulus Young* pada Material

Material	Modulus Young (N/mm ²)
Alumunium	70 x 10 ⁹
Baja	200 x 10 ⁹
Beton	20 x 10 ⁹

Sumber : *Safety Regulation Group CAP 437 Edition 2012*

2.8.3. Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Tegangan tarik yaitu tegangan yang timbul akibat gaya tarik. Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya. Tegangan Tarik (σ_{ta}) terjadi akibat bekerjanya gaya Tarik (F_{ta}) pada satuan luas penampang (A) struktur material, sehingga benda mengalami

perubahan panjang. Rasio/Perbandingan antara perpanjangan yang terjadi (ΔL)

terhadap panjang benda semula (L) disebut sebagai regangan Tarik ϵ_{ta}

yang matematik dapat ditulis:

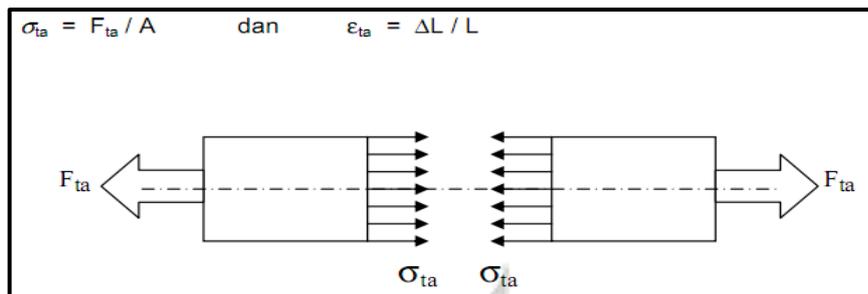


Rumus : σ_{tr} = tegangan tarik (kg/cm² atau kg/mm²)

$$\sigma_{tr} = \frac{F_{tr}}{A} \dots\dots\dots(2.13)$$

F = gaya tarik (N)

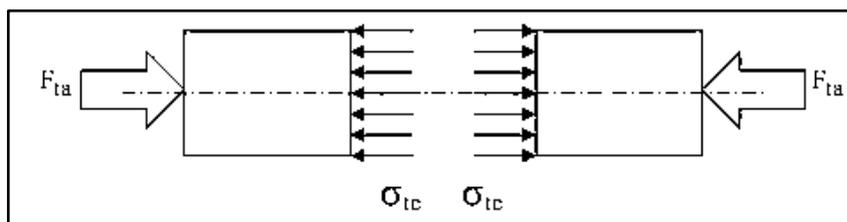
A = Luas penampang (mm²)



Gambar 2.17. Tegangan Tarik

2.8.4. Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Jika batang gaya dikenakan pada ujung-ujung batang dalam arah menuju ke batang, sehingga batang dalam kondisi tertekan, maka terjadi tegangan tekan, batang, Tegangan tekan (σ_{te}) terjadi akibat kerja suatu gaya tekan (F_{ta}) pada satuan luas penampang (A) struktur material, sehinggabendanya mengalami perpendekan. Rasio/Perbandingan antara perpendekan yang terjadi (ΔL) terhadap panjang benda semula (L) disebut sebagai regangan tekan ϵ_{ta} secara matematik dapat ditulis :



Gambar 2.18. Tegangan Tekan

nya dapat dinyatakan dengan rumus:

$$\sigma_{te} = \frac{F_{ta}}{A} \dots\dots\dots(2.14)$$



2.8.5. Tegangan Geser (*Shear*)

Jika gaya normal/tangensial merupakan gaya sejajar arah memanjang batang, gaya geser merupakan gaya yang berarah tegak lurus dengan panjang batang. Besaran tegangan geser dinyatakan dengan simbol (τ) dalam satuan (N/mm^2). Tegangan geser terjadi ketika aksi dari sebuah gaya geser di distribusikan pada sebuah luas penampang melintang yang paralel (tangensial) dengan gaya geser tersebut.

Tegangan geser (τ) timbul akibat kerja dari dua gaya geser (S) yang saling berlawanan arah (aksi – reaksi) terhadap suatu bidang geser, pada satuan luas bidang penampang tahanan elemen struktur (A). Sehingga bidang penampang tersebut mengalami regangan geser searah bekerjanya gaya. Jika besaran gaya geser (S) dikerjakan pada batang akan menimbulkan tegangan geser (τ). Tegangan geser (τ), yaitu tegangan yang timbul akibat gaya geser atau gaya lintang. Ciri dari gaya geser atau gaya lintang adalah melintang batang atau tegak lurus batang.

Rumus :

$$\tau = \frac{P}{F} \dots \dots \dots (2.15)$$

τ = tegangan geser (N/mm^2)

P = gaya geser atau gaya lintang (N)

F = Luas penampang (mm^2)

2.8.6. Tegangan Lentur (*Bending Stress*)

Tegangan lentur memiliki nilai terbesar di atas dan di bawah balok. Tegangan lentur tersebut bekerja secara tegak lurus terhadap penampang melintang dan berada dalam arah longitudinal dari balok. Merupakan gaya kerja pada jarak tertentu (L) dari tumpuan benda dengan arah kerja tegak lurus sumbu benda. Sehingga mengakibatkan benda melengkung di sepanjang sumbunya.



2.8.7. Tegangan Luluh (*Crushing/Bearing Stress*)

Merupakan tegangan yang timbul akibat terkonsentrasi/terpusatnya gaya tekan pada suatu daerah kontak yang sangat kecil, diantara suatu elemen struktur yang sedang bekerja sama dalam meneruskan tegangan. Tegangan jenis ini umumnya terjadi pada elemen/komponen struktur yang berfungsi sebagai penyambung.

2.8.8. Tegangan Izin Dasar

Tegangan izin dasar (selanjutnya disebut tegangan izin) tergantung material jenis yang digunakan. Spesifikasi tersebut bersumber pada AISC [AISC, 1978] dan API [API, RP-2A, 1989]. Untuk jenis struktur dan jenis pembebanan yang tidak dibahas dalam spesifikasi ini, maka harus dilakukan analisa rasional dengan faktor keamanan yang digunakan pada spesifikasi ini. Apabila tegangan yang terjadi diakibatkan oleh gaya lateral dan gaya vertikal akibat kondisi lingkungan, maka tegangan izin dasar di atas dapat dinaikkan dengan sepertiganya. Ukuran struktur yang dihitung dengan kriteria tegangan izin tambah ini harus tidak boleh lebih kecil dari yang dihitung dengan tegangan izin dasar (tanpa kenaikan sepertiganya) apabila beban yang bekerja adalah gabungan bobot mati dan hidup.

2.9. Modulus Elastisitas (*Modulus Young*)

Teori elastisitas merupakan cabang yang penting dari fisika matematis, yang mengkaji hubungan antara gaya, tegangan, dan regangan dalam benda elastis. Elastisitas adalah sifat benda yang mengalami perubahan bentuk atau deformasi secara tidak permanen. Bila suatu pejal dibebani gaya luar, benda tersebut akan berubah bentuk/berdeformasi, sehingga timbul tegangan dan regangan dalam. Perubahan ini tergantung pada konfigurasi geometris benda tersebut dan pada sifat mekanis

a. Dalam pembahasan sifat elastis pada benda perlu diasumsikan benda – benda tersebut mempunyai sifat – sifat berikut:



1. Homogen artinya setiap bagian benda mempunyai kerapatan sama
2. *Isotropic* artinya pada setiap titik pada benda mempunyai sifat–sifat fisis yang sama ke segala arah.

Dalam teori elastisitas pembahasan dibatasi hanya pada bahan yang elastis linier, yaitu keadaan dimana hubungan tegangan dan regangan bersifat linier, dan perubahan bentuk serta tegangan akan hilang apabila gaya luar dihilangkan. Selain itu, teori elastisitas menganggap bahwa bersifat homogen dan isotropis. Dengan demikian, sifat mekanis bahan sama segala arah. Walaupun bahan–bahan structural tidak tepat memenuhi semua anggapan ini, tapi pengujian menunjukkan bahwa teori elastisitas memberikan hasil dengan ketepatan yang tinggi, asalkan tegangan masih dibawah titik leleh (*yield point*). Teori pelat klasik yang merumuskan dan menyelesaikan masalah pelat berdasarkan analisis matematis yang eksak, merupakan penerangan khusus yang penting dari teori elastisitas. Oleh karena itu, pengertian menyeluruh tentang konsep dasarnya, notasi, definisi, dan lainnya, sangat penting.

Besarnya pertambahan panjang yang dialami oleh setiap benda ketika meregang adalah berbeda antara satu dengan yang lainnya, tergantung dari elastisitas bahannya, dan elastisitas yang dimiliki oleh tiap-tiap benda tergantung dari jenis bahan apakah benda itu terbuat. Sebagai suatu contoh, sebuah karet gelang akan lebih mudah teregang daripada besi pegas yang biasanya dipakai untuk melatih otot dada. Sementara untuk meregangkan sebuah besi pegas, maka dibutuhkan ratusan kali lipat dari tenaga yang akan dikeluarkan untuk meregangkan sebuah karet gelang. Ketika diberi gaya tarik, karet ataupun pegas akan meregang, dan mengakibatkan pertambahan panjang baik pada karet gelang ataupun besi

esarnya pertambahan yang terjadi pada setiap keadaan tergantung stisitas bahannya dan seberapa besar gaya yang bekerja padanya. elastis sebuah benda, maka semakin mudah benda tersebut untuk



dipanjangkan atau dipendekan. Semakin besar gaya yang bekerja pada suatu benda, maka semakin besar pula tegangan dan regangan yang terjadi pada benda itu, sehingga semakin besar pula pemanjangan atau pemendekan dari benda tersebut. Jika gaya yang bekerja berupa gaya tekan, maka benda akan mengalami pemendekan, sedangkan jika gaya yang bekerja berupa beban tarik, maka benda akan mengalami perpanjangan.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa regangan (ϵ) yang terjadi pada suatu benda berbanding lurus dengan tegangannya (σ) dan berbanding terbalik terhadap ke-elastisitasnya. Ini dinyatakan dengan rumus :

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ atau}$$

$$\sigma = E \times \epsilon \dots \dots \dots (2.16)$$

rumus ini dikenal sebagai hukum Hooke.

Dalam rumus ini, (E) adalah parameter modulus elastisitas atau *modulus young*. Modulus ini adalah sebuah konstanta bahan yang memiliki nilai tertentu untuk bahan tertentu. Seperti yang diuraikan diatas, tiap bahan mempunyai modulus elastisitas (E) tersendiri yang memberi gambaran mengenai perilaku bahan itu bila mengalami beban tekan atau beban tarik. Bila nilai E semakin kecil, maka akan semakin mudah bagi bahan untuk mengalami perpanjangan atau pemendekan.

2.10. Analisa Dalam Penentuan Lendutan pada Baja *Wide Flange*

Sebelum menghitung lendutan maksimum ada beberapa perhitungan yang harus dilakukan sebagai pertimbangan untuk nilai akhir dari perhitungan lendutan jika ingin membandingkan hasil dari metode perhitungan langsung dan perhitungan dari SAP2000



uas Area (A)

alam perhitungan luas area, rumus yang dipakai :

$$= HB - (B - t_w)(H - 2t_f) \dots \dots \dots (2.17)$$

2. Area Geser (A_v)

Pada buku SAP2000 karangan Pak Wiryanto Dewobroto, Luas efektif geser penampang profil *wide flange* untuk suatu arah sumbu adalah sebagai berikut :

$$A_v = t_w(H) \dots\dots\dots(2.18)$$

3. Momen Inersia (I)

Untuk perhitungan rumus momen inersia adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{1}{2} [BH^3 - (B - t_w)(H - 2t_f)^3] \dots\dots\dots(2.19)$$

4. Modulus Penampang (S_x)

Dalam perhitungan modulus penampang, rumus yang digunakan adalah :

$$S_x = \frac{1}{6H} [BH^3 - (B - t_w)(H - 2t_f)^3] \dots\dots\dots(2.20)$$

5. Modulus Penampang Plastis (Z_x)

Rumus dalam mencari penampang plastis adalah sebagai berikut:

$$Z_x = (Bt_f)(H - t_f) + t_w(\frac{1}{2}H - t_f)(\frac{1}{2}H - t_f) \dots\dots\dots(2.21)$$

6. Lendutan (f_{maks})

Dalam perhitungan lendutan untuk penelitian ini ada 2 rumus yang digunakan karena memiliki tumpuan yang berbeda-beda. Untuk kondisi pertama tumpuan yang digunakan adalah sendi-roll, maka rumus lendutannya adalah:

$$f_{maks} = \frac{5wl^4}{384EI} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dan rumus yang kedua untuk tumpuan jepit-bebas, maka rumusnya sebagai berikut:

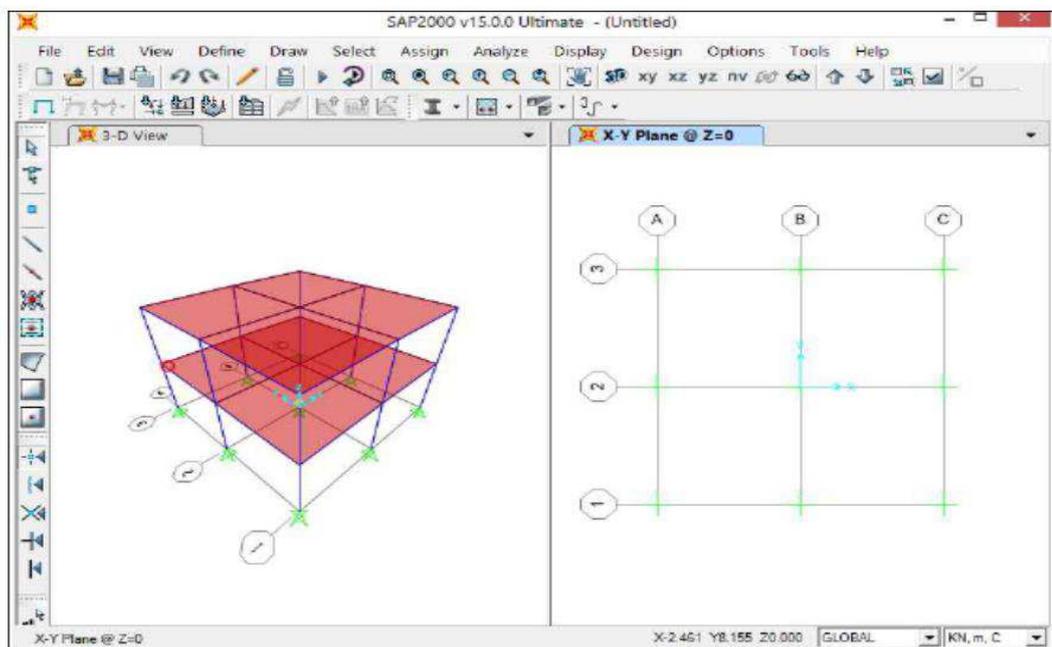
$$f_{maks} = \frac{wl^4}{8EI} \dots\dots\dots(2.23)$$



2.11. Gambaran Umum SAP2000

A. Sekilas Mengenai SAP2000

Seri program SAP merupakan salah satu program analisis dan perancangan struktur yang telah dipakai secara luas di seluruh dunia, program ini merupakan hasil penelitian dan pengembangan oleh tim dari *University of California*, yang dipimpin Prof. Edward L. Wilson selama lebih dari 25 tahun. Program pertama kali diluncurkan pada tahun 1970 dengan berbasis teks (DOS). Setelah versi SAP90, mulai dipasarkan versi SAP2000 yang sudah berbasis grafis dan beroperasi dalam sistem windows. Sistem yang berbasis grafis membuat proses pembuatan model, pemeriksaan, dan penampilan hasil dapat dilakukan secara interaktif pada layar.



Gambar 2.19 Tampilan layar SAP2000 versi 15

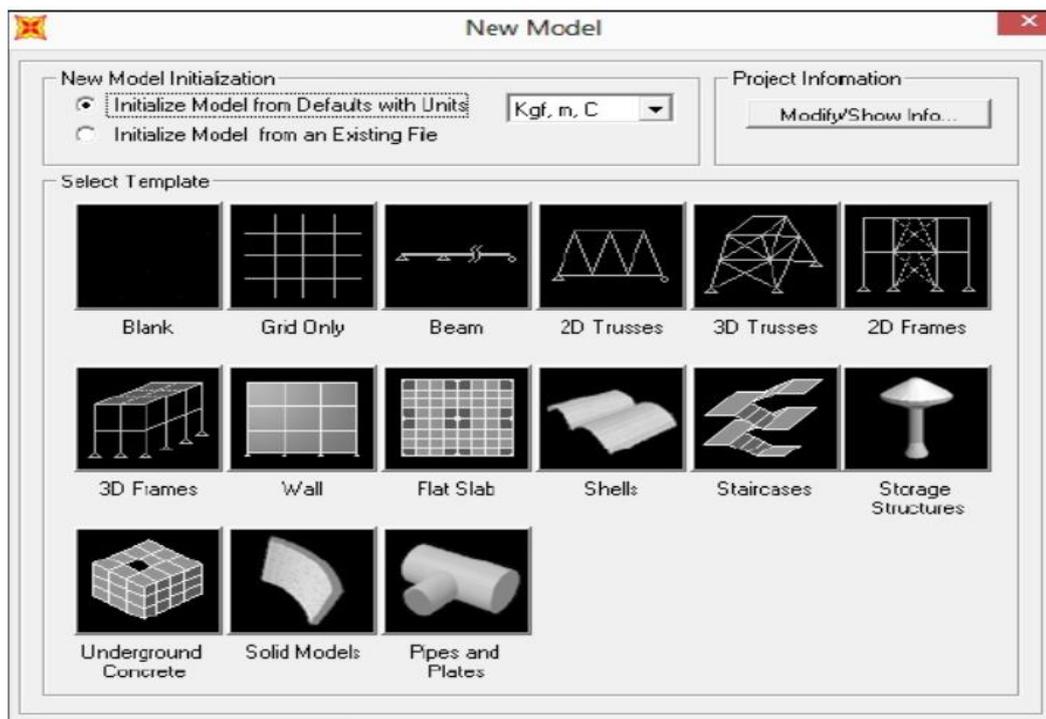
B. Fasilitas SAP2000



, Analisis, & Desain

Untuk memudahkan dalam pemodelan, SAP2000 telah menyediakan variasi *template* (model siap pakai) dari suatu tipe struktur. Untuk

membuat model struktur pengguna cukup memodifikasi seperlunya sehingga proses pemodelan dan analisis menjadi lebih cepat. SAP2000 sudah terintegrasi untuk melakukan proses analisis dan desain. Setelah analisis selesai dilakukan dan didapat hasil yang benar selanjutnya dapat langsung dilakukan desain untuk memperoleh dimensi profil atau tulangan baja yang mencukupi. Analisis ulang dan redesain dapat dilakukan dengan mudah oleh SAP2000.



Gambar 2.20 Kotak *dialog new model* pada SAP2000 versi 15

2) Tampilan Nyata

Model struktur pada SAP2000 dapat diidealisasikan dalam berbagai macam elemen, antara lain elemen *joint* (titik), *frame* (batang), *shell* (pelat), sampai pada elemen *solid*, sebagai aktualisasi elemen sebenarnya. Misalnya balok dan kolom pada bangunan bertingkat di modelkan sebagai elemen *frame*, pelat jembatan, dan lain-lain.

