

## BAB III

### LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan diuraikan beberapa teori yang dijadikan landasan dalam memecahkan permasalahan- permasalahan tugas akhir, yaitu tentang tegangan-regangan pada bahan, simpangan lateral, analisa beban respon spectrum, teorema plastis, jumlah sendi pada mekanisme keruntuhan, pengaku eksentris, dan pendimensionan profil dengan bantuan program SAP 2000

#### 3.1 Umum

Portal dengan sistem pengaku di pergunakan untuk mengurangi perpindahan lateral dan untuk memperoleh stabilitas struktur. Dengan menggunakan sistem pengaku diharapkan dapat meningkatkan kekakuan portal secara keseluruhan sehingga lendutan yang disebabkan oleh beban gempa maupun angin dapat diatasi.

$$[F] = [K][D]$$

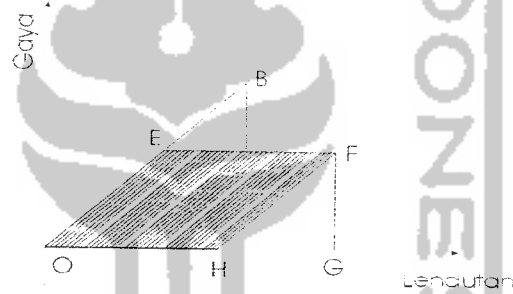
$[F]$  = matrix gaya

$[K]$  = matrix kekakuan

$[D]$  = matrix displacement

Sistem pengaku yang direncanakan hendaknya dapat menyerap energi akibat beban lateral yang terjadi, dengan demikian sistem pengaku ini mengalami luluh terlebih dahulu sebelum portal mengalami kerusakan ( daktilitas struktur ).

Dalam merencanakan struktur tahan gempa ada beberapa hal yang perlu dipelajari secara teliti dan seksama, yaitu pengetahuan tentang perilaku sistem pengaku. Selain itu pengetahuan tentang karakteristik dari angin dan gerakan tanah saat terjadi gempa perlu dipelajari untuk mendesain suatu struktur baja.



**Gambar 3.1** Daktilitas struktur

Dari grafik daktilitas (*Gambar 3.1*) struktur diatas dapat dilihat bahwa pembentukan sendi plastis dari kapasitas momen, dibatasi oleh gaya struktur (*titik E* ). Struktur tersebut tidak memberikan respon dengan menyimpang sampai mencapai simpangan elastik penuh yang ditunjukkan oleh titik *B*, tetapi akan mengikuti garis *E-F* sampai struktur tersebut berhenti pada kedudukan *F*.

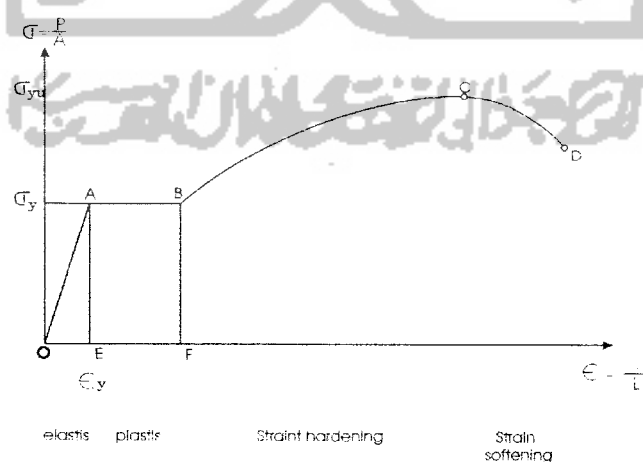
Daktilitas struktur ditunjukkan melalui perbandingan antara simpangan maksimum dititik *F* dengan simpangan pada leleh pertama (*titik E* ), melalui kemampuan struktur untuk menyimpan dan memancarkan energi akibat gaya luar.

Energi total yang disimpan pada kedudukan maksimum adalah  $O E F G$ , tetapi bila struktur kembali pada kedudukan “tanpa gaya” hanya bagian  $H F G$  dari energi yang dikembalikan sebagai energi kinetik, sehingga dapat disimpulkan bahwa daktilitas adalah kemampuan material atau struktur untuk mengalami deformasi inelastik yang besar tanpa mengalami keruntuhan dan penurunan kekuatan.

### 3.2. Tegangan-regangan pada bahan

Bila suatu baja menerima gaya aksial-tarik pada temperatur ruang, hubungan antara tegangan – regangan dapat di gambarkan pada suatu grafik seperti dibawah ini (*Gambar 3.2*).

Regangan (*strain*) yang menyatakan besarnya perubahan panjang dilambangkan oleh  $\epsilon$ , dan tegangan (*stress*)  $\sigma$ , yang menyatakan gaya per luas satuan yang bekerja pada penampang tersebut.



**Gambar 3.2** Grafik hubungan tegangan- regangan bahan

Garis OA merupakan daerah elastis-linier dan menyatakan besarnya modulus elastis baja. OAE merupakan daerah elastis, dan ABFE daerah plastis baja.

A = titik terjadinya tegangan leleh  $\sigma_y$  dan regangan leleh  $\epsilon_y$  sebesar 0.0012

B = titik plastis baja

C = titik patah baja, dengan regangan berkisar 20% dari panjang bahan, dan tegangan mencapai nilai maksimum yang disebut tegangan tarik ultimit

BD= *strain hardening*, yang mana pertambahan regangan akan diikuti oleh sedikit pertambahan tegangan

CD= *strain softening*, daerah dimana material mulai mengalami penyempitan (*necking*) dan tegangan turun, kemudian putus.

Suatu balok dengan tumpuan sederhana, ketika menerima beban akan mengalami tegangan dan regangan. Pada kondisi pembebanan normal dan baja telah mencapai leleh, maka besarnya momen yang terjadi disebut dengan momen leleh  $M_y$ . (Gambar 3.3 b).

$$M_y = F_y \cdot S$$

$M_y$  = momen leleh

$F_y$  = tegangan leleh

S = modulus penampang

Pada tingkat beban yang lebih besar, tidak akan terjadi tegangan yang melampaui tegangan leleh baja, akan tetapi momen dalam akan mengalami peningkatan, sehingga momen yang terjadi lebih besar dari momen lelehnya,  $M > M_y$  (Gambar 3.3.c).

Dengan sedikit penambahan beban, maka akan tercapai keadaan dimana penampang mengalami tegangan leleh (Gambar 3.3.d) dan momen yang terjadi adalah momen plastis  $M_p$ , yang besarnya :

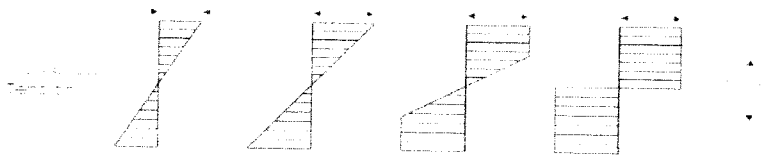
$$M_p = F_y \cdot Z$$

$M_p$  = momen plastis

$F_y$  = tegangan leleh

$Z$  = modulus plastis

Pada kondisi ini, penampang akan mengalami rotasi yang cukup besar tanpa terjadi perubahan momen atau dikenal dengan istilah terjadinya sendi plastis pada balok.



**Gambar 3.3** Distribusi tegangan-regangan

### 3.3 Simpangan Lateral

Suatu portal diasumsikan sebagai suatu kolom, akan mengalami lendutan bila menerima beban lateral. Besarnya lendutan itu tergantung dari beban vertikal dan besarnya beban lateral yang terjadi.

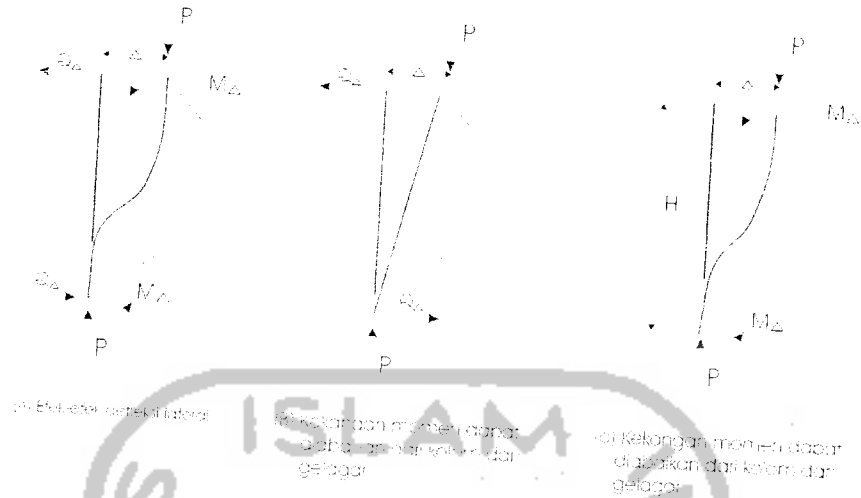
Dalam analisa struktur, pengaruh momen sekunder dikenal dengan istilah efek  $P\Delta$ , yang merupakan pembesaran pengaruh gaya aksial yang bekerja pada kolom-kolom akibat membesarnya eksentrisitas gaya aksial tersebut, karena adanya simpangan (delta) pada struktur.

Pada *gambar 3.4* memperlihatkan gaya-gaya yang timbul pada batang kolom portal akibat lendutan lateral (kearah samping) yang disebabkan oleh gaya horizontal Momen ( $M\Delta$ ) dan gaya geser ( $Q\Delta$ ) adalah bagian dari momen dan gaya geser yang diperlukan untuk mengimbangi momen  $P\Delta$ . Syarat keseimbangan untuk keadaan pada *Gambar 3.4.a* adalah :

$$P\Delta = Q\Delta \cdot h + 2 \cdot M\Delta$$

Pada portal akan terjadi simpangan akibat dari beban lateral tanpa memandang komponen-komponen batangnya. Namun cara mempertahankan keseimbangan terhadap momen  $P\Delta$  adalah berlainan, tergantung pada kondisi pengekangan (*restraint*). Gedung dengan rangka batang vertikal yang bertitik tumpu sendi, pada pembebanan lateral gedung tersebut tidak memiliki kontinuitas ditumpuannya sehingga momen tidak terjadi, lihat *Gambar 3.4.b*, sedangkan batang diagonal dan horizontal harus memikul semua gaya geser  $Q\Delta$ .

Keseimbangan itu adalah :  $Q\Delta = \frac{P\Delta}{h}$



**Gambar. 3.4** Momen lentur sekunder akibat  $P\Delta$  pada portal

Sebaliknya, jika batang-batang disambung secara kaku tanpa batang diagonal, daya tahan terhadap geser akan sangat kecil, Dengan mengabaikan daya tahan geser (*shear resistance*).

$$M_{\Delta} = \frac{P\Delta}{2}$$

Lihat *Gambar 3.4.c* dalam hal ini gelagar dan kolom harus memikul momen  $M_{\Delta}$

### 3.4 Analisa ragam spectrum respons

Mengacu pada buku *Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung 1981*, analisa respons spectrum merupakan suatu cara *analisa dinamik struktur* yang digunakan pada gedung dengan bentuk tidak beraturan/asimetris dan mempunyai ketinggian lebih dari 40 meter, di mana pada suatu model matematika struktur diberlakukan suatu spectrum respons gempa rencana,

dan berdasarkan itu ditentukan respons struktur terhadap gempa rencana tersebut melalui superposisi dari masing-masing ragamnya.

Dalam analisa beban akibat respons spectrum, beban gempa yang didistribusikan pada tiap lantai sangat dipengaruhi oleh massa gedung. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah berdasarkan akibat gerakan tanah oleh gempa.

Penentuan spectrum percepatan respons gempa rencana dipakai diagram koefisien gempa dasar  $C$  menurut pembagian wilayah yang ditentukan

(wilayah 3), dengan periode awal  $T = \frac{0.09 \cdot H}{\sqrt{B}}$ .

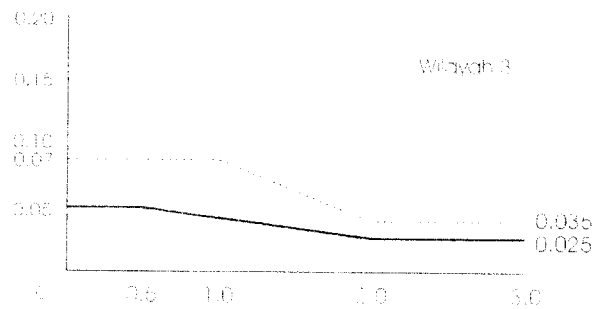
Penambahan massa akan memperbesar beban gempa, sehingga penggunaan struktur yang ringan merupakan penyelesaian yang disarankan pada bangunan yang sering dilanda gempa.

Batasan minimum gaya geser di tingkat dasar pada analisis respon spectrum berdasarkan (PPTGUG, 1981) adalah :

$$V = 0,9 \times C \times I \times K \times W_t$$

Dalam perhitungan beban gempa horizontal atau analisa beban dinamik pada tugas akhir ini, wilayah gempa ditetapkan pada wilayah 3, seperti Gambar 3.5 dengan jenis tanah keras. Sementara berat total struktur portal disesuaikan dengan setiap jenis portal yang ditinjau, dimana berat pengaku diperhitungkan.





**Gambar 3.5** Koefisien gempa dasar wilayah 3

### 3.5 Teorema plastis

Pada analisa struktur secara plastis terdapat 3 kondisi yang harus dipenuhi untuk perhitungan beban ultimit, yaitu: (Beedle, 1958)

a. Kondisi Mekanisme (*mechanism condition*),

Beban ultimit tercapai apabila terbentuk suatu mekanisme keruntuhan. Kondisi ini akan terjadi pada saat jumlah sendi plastis dalam struktur telah cukup untuk mengubah sebagian/seluruh struktur kedalam kondisi keruntuhan.

b. Kondisi Keseimbangan (*equilibrium condition*),

Beban ultimit tercapai jika resultan gaya dan momen yang bekerja pada suatu struktur sama dengan nol/bahwa momen lentur dalam harus seimbang dengan momen dalam yang bekerja.

Momen lentur yang bekerja identik dengan momen elastis, sebab pada keadaan ini momen pada keadaan penampang masih terletak dalam keadaan plastis.

c. Kondisi Momen Plastis (*plastic moment condition*),

Beban ultimit tercapai, momen yang terjadi pada setiap penampang tidak boleh melebihi momen plastis penampang. Kondisi ini merupakan pernyataan dari sifat deformasi plastis.

Tiga kondisi diatas merupakan syarat dasar dari beberapa teorema berikut ini (*Beedle, 1958*) :

a. Teorema batas bawah,

Teorema batas bawah (*lower bound theorem*) menetapkan atau menghitung distribusi momen dalam struktur berdasarkan kondisi keseimbangan dan leleh. Beban (faktor beban  $\lambda$ ) yang dihasilkan-nya akan lebih kecil atau sama dengan harga yang sebenarnya  $\lambda_c$ .

$$\lambda \leq \lambda_c$$

sehingga penyelesaian yang diperoleh dengan cara ini mungkin benar atau akan aman.

b. Teorema batas atas

Kalau distribusi momen yang diperoleh dihitung berdasarkan syarat yang memenuhi kondisi keseimbangan dan mekanisme, dapat kita pastikan bahwa harga faktor bebannya akan lebih besar atau sama dengan harga sebenarnya, maka :

$$\lambda \geq \lambda_c$$

Dengan demikian, hasil dari teorema batas atas (*upper bound theorem*) ini mungkin benar atau mungkin pula tidak aman.

c. Teorema unik

Distribusi momen untuk teorema ini akan memenuhi ketiga kondisi tersebut, sehingga akan diperoleh nilai beban atau faktor beban eksak dari mekanisme struktur yang ditinjau :

$$\lambda = \lambda_c$$

### 3.6 Jumlah sendi pada mekanisme keruntuhan

Jumlah sendi plastis yang diperlukan untuk mengubah suatu struktur ke dalam kondisi mekanisme runtuhnya, sangat berkaitan dengan derajat statis tak-tentu yang ada dalam struktur tersebut. Dalam hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$n = r + 1$$

dengan:  $n$  = jumlah sendi plastis untuk runtuh,

$r$  = derajat statis tak-tentu atau redundan

Ketika sendi plastis terbentuk, besarnya momen di ujung elemen tersebut akan sama dengan kapasitas momen plastisnya. Penambahan beban berikutnya tidak akan mempengaruhi harga momen ini, yaitu tidak terjadi perubahan momen pada titik ujung yang bersangkutan. Ini menyebabkan derajat statis tak-tentunya berkurang satu dan pada saat yang sama satu buah syarat kompatibilitas akan terhapus.

Bila telah terbentuk sejumlah  $r$  sendi plastis, struktur yang ditinjau akan menjadi struktur statis tertentu, dan hanya diperlukan satu buah sendi lagi untuk mencapai keruntuhannya.

### 3.7 Pengaku Eksentris

*Bracing eksentris* digunakan pada portal, yang bertujuan sebagai sistem pengaku rangka lateral dengan kemampuan meredam energi yang sangat baik. Keistimewaan dari *bracing eksentris*, terdiri dari sebuah balok, satu atau dua pengaku, dan kolom. Susunan tersebut adalah sama dengan pengaku biasa dengan pengecualian bahwa sekurangnya satu dari pengaku harus diletakkan eksentris pada rangka (balok).

Dasar dari konsep eksentrisitas *bracing frame* (EBF) adalah dengan membatasi pergerakan inelastik pada *link* dan mendesain daerah sekitar *link* sehingga mencapai batas maximum gaya-gaya yang dapat di transfer pada *link* sehingga *link* harus dirancang menjadi *plastic deformation*.

Perencanaan *bracing eksentris* merupakan fungsi dari ratio panjang *link* ( $e$ ) dengan panjang balok (Gambar 4.3) :

- a. semakin kecil *link* ( $e$ ) maka struktur frame semakin kaku mendekati kekakuan konsentris.
- b. semakin besar *link* ( $e$ ) maka struktur frame tersebut akan semakin flexible mendekati kekakuan momen resisting.

Hubungan eksentris menunjukkan lentur dan geser pada balok yang berdekatan dengan pengaku, bagian pendek dari rangka di mana gayanya adalah terpusat pada hubungan tersebut dan selama pembebanan ekstrim, perlu diantisipasi bahwa *link* (hubungan antara balok dengan *bracing*) akan berubah tidak elastis dengan *ductilitas* dan penyebaran energi.

Ada 3 variabel besar dalam mendesain *bracing eksentris*, yaitu : susunan *bracing*, panjang *link*, dan propertis dari *link*. Sedangkan porsi *link* tersebut terhadap balok itu sendiri haruslah optimal, sehingga *link* haruslah dapat memenuhi syarat: kompak pada sayap dan badan, mempunyai kapasitas yang cukup untuk menahan geser, gaya-gaya aksial, lentur, mempunyai batasan yang memadai terhadap rotasi yang terjadi pada *link* dan simpangan tiap tingkatnya.

Desain *bracing eksentris*, seperti kebanyakan masalah desain, adalah sebuah proses iterasi. Tahap desain dimulai dari konfigurasi pendahuluan panjang bentang dan ukuran *link* dipilih berdasarkan pendekatan kuat geser dengan menggunakan analisis elastis program komputer untuk memperbaiki analisis dari periode gedung, geser dasar, distribusi geser antar gedung, defleksi elastik dari struktur dan distribusi gaya yang terjadi pada portal.

### **3.8 Pendimensian profil**

Pendimensian profil dari struktur portal yang hendak ditinjau dalam tugas akhir ini, dilakukan dengan cara coba-coba (“Trial and Error”), yaitu dengan mencoba dimensi profil dari masing-masing elemen struktur seperti elemen balok, kolom, dan pengaku.

Analisa dan perhitungan gaya-gaya yang bekerja menggunakan program SAP 2000, yang nantinya akan didesain dengan metode plastis berdasarkan peraturan UBC 1997, sehingga mencapai desain yang optimal .