

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang bisa mengalir, mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk. Hal ini dikarenakan fluida memiliki tahanan yang sangat kecil sehingga dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruangan atau tempat yang membatasinya. Fluida dibedakan menjadi zat cair dan zat gas. Sifat dari zat cair dan gas adalah tidak mengadakan reaksi terhadap gaya geser dan tidak melawan perubahan bentuk. Tabel 2.1 merangkum perbedaan antara zat cair dan zat gas sebagai berikut.

Tabel 2.1 Karakteristik Zat Cair dan Zat Gas

Zat Cair	Zat Gas
Zat cair memiliki muka air bebas, maka massa zat cair hanya akan mengisi volume yang diperlukan dalam suatu ruangan.	Zat gas tidak memiliki permukaan bebas dan massanya akan mengisi seluruh ruangan.
Merupakan zat yang tidak termampatkan.	Merupakan zat yang dapat termampatkan.

#### 2.2 Gas Alam

Gas alam adalah campuran hidrokarbon dan gas *impurities* pengotor ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ) dengan metana sebagai komponen hidrokarbon utama. Gas alam memiliki sifat mudah terbakar. Komposisi gas alam disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Gas Alam

Nama senyawa	Rumus Kimia	Komposisi
Metana	CH <sub>4</sub>	70-90%
Etana	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0-20%
Propana	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	
Butana	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	0-8%
Oksigen	O <sub>2</sub>	0-0,2%
Nitrogen	N <sub>2</sub>	0-5%
Hidrogen	H <sub>2</sub> S	0-5%

Sumber: Andreas04.Wordpress.com

### 2.3 Metana

Metana mudah terbakar dalam fase gas, sedangkan dalam fase cair memiliki sifat tidak mudah terbakar kecuali diberi tekanan yang tinggi (4-5 atmosfer). Karakteristik metana dalam kondisi atmosferik akan disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik Metana (Kondisi Atmosferik)

Titik didih	-161°C
Titik lebur	-182,5°C
Suhu kritis	-82,7°C
Tekanan kritis	45,797 atm
Densitas	1,819 kg/m <sup>3</sup> (1,013 bar at boiling point)

Sumber : [www.scribd.com/doc/46190692/Properties-Data](http://www.scribd.com/doc/46190692/Properties-Data)

## 2.4 Separator

Separator secara umum memisahkan fluida produksi menjadi dua atau tiga fase dengan temperatur dan tekanan tertentu. Prinsip pemisahannya adalah dengan mengubah kecepatan fluida tersebut, sehingga liquid dan gasnya terpisah karena perbedaan densitasnya. Fluida yang lebih berat jatuh ke bawah dan yang lebih ringan berada di atasnya. Desain separator yang tepat sangatlah penting karena separator adalah bagian penting dalam sebuah fasilitas minyak dan gas, jika desain separator tidak tepat akan mengurangi kualitas dari produk yang dihasilkan. Berikut merupakan hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain separator.

1. *Flow rate* gas dan liquid
2. Tekanan dan temperatur saat beroperasi
3. Tekanan dan temperatur desain
4. Properti fluida, seperti densitas fluida dan kompresibilitasnya
5. Kadar *impurities*

Supaya pemisahan fase di dalam separator sempurna, maka sebuah separator harus:

1. Memiliki waktu tinggal yang cukup lama
2. Meminimalkan terjadinya turbulensi gas dan menurunkan kecepatan gas
3. Mencegah terjadinya pencampuran kembali gas, air dan minyak
4. Adanya *pressure control* yang memadai untuk outlet gas
5. Adanya *level control* yang memadai
6. Memiliki peralatan pengaman jika terjadi *overpressure*

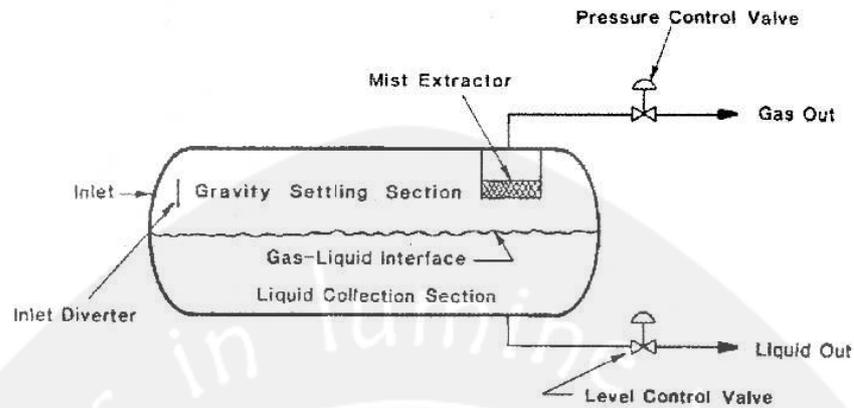
## 7. Memiliki alat-alat visual untuk pemeriksaan kondisi-kondisi operasi

Separator berdasarkan bentuknya dibedakan menjadi 3 jenis yaitu separator horisontal, separator vertikal dan separator *spherical*. Berdasarkan fase pemisahan dibedakan menjadi separator dua fase yang memisahkan gas dan liquid, dan separator tiga fas yang memisahkan gas, liquid, dan minyak.

### 2.5 Slug Catcher

*Slug Catcher* yang terdapat di Stasiun Bojonegoro berfungsi sebagai separator horisontal seperti pada Gambar 2.1. Fluida yang masuk ke separator akan melewati *inlet diverter*, karena perbedaan momentum maka terjadilah pemisahan liquid dari gas. Liquid akan jatuh terkumpul ke dasar tangki karena pengaruh gaya gravitasi. Kemudian gas akan melewati *gas settling section*, liquid yang masih terbawa oleh gas akan dipisahkan di area ini. Sedangkan diameter liquid yang sangat kecil yang tidak dapat dilepaskan pada inlet diverter maupun pada *gas settling section*, akan dilepaskan pada *mist extractor* sebelum gas akan keluar. Sehingga gas yang keluar dari separator nantinya sudah tidak membawa fraksi berat liquid dan liquid yang terlepas dari gas tidak membawa fraksi ringan gas.

Separator juga dilengkapi dengan *level controller*. Hal tersebut digunakan untuk mengontrol ketinggian liquid yang terdapat di dalam separator. Normalnya, *level liquid* pada separator horisontal dioperasikan setengah penuh tangki dengan maksud memaksimalkan bidang kontak antara gas dan liquid.

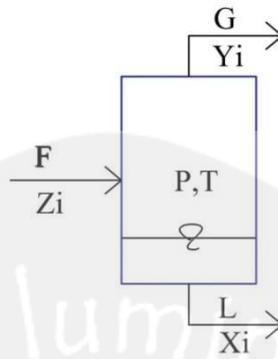


Gambar 2.1 Separator Horisontal

*Slug Catcher* ini selain berfungsi sebagai separator, juga berfungsi sebagai tampungan pertama lumpur, pasir maupun liquid dalam proses *pigging*. Proses *pigging* dilakukan untuk perawatan pipa, sehingga hanya dilakukan paling tidak sekali dalam setahun. Apabila *pigging* dilakukan, maka semua proses distribusi gas harus dihentikan atau tetap dialirkan tetapi melalui *by pass*.

## 2.6 Kesetimbangan Uap-Cair

Adanya perubahan temperatur dan perubahan tekanan saat gas dialirkan, akan menyebabkan gas mengalami kondensasi. Oleh sebab itu disediakan *drum* untuk memberikan ruang bagi uap untuk memisahkan antara fase gas dan fase cair. Perhitungan kesetimbangan uap-cair digunakan untuk mengetahui berapa jumlah mol fase gas dan fase cair yang terbentuk pada temperatur dan tekanan tertentu. Diagram Kesetimbangan Uap-Cair pada Gambar 2.2 akan memberikan gambaran mengenai kesetimbangan uap-cair sesuai dengan Persamaan (2.1).



Gambar 2.2 Diagram Kesetimbangan Uap-Cair dalam Drum

Keterangan:

- $F$  : jumlah mol sistem keseluruhan
- $L$  : jumlah mol sistem dalam fase cair
- $G$  : jumlah mol sistem dalam fase gas
- $Z_i$  : fraksi mol  $i$  dalam sistem keseluruhan
- $X_i$  : fraksi mol  $i$  dalam fase cair
- $Y_i$  : fraksi mol  $i$  dalam fase gas

$$Z_i.F = Y_i.G + X_i.L \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana  $\sum X_i$  dan  $\sum Y_i$  pada Persamaan (2.1) harus sama dengan satu, seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.2) dan (2.3).

$$\sum X_i = \sum \frac{Z_i.F}{L + \left(\frac{P_i}{P_{tot}}\right).G} = 1 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\sum Y_i = \sum \frac{Z_i.F}{G + \left(\frac{P_i}{P_i}\right).L} = 1 \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Tekanan masing-masing komponen dapat dicari menggunakan persamaan Antoine sesuai dengan Persamaan (2.4).

$$\ln P_i = A - \frac{B}{T+C} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

- dengan:  $A, B, C$  : bilangan Antoine (Tabel 4.3)
- $T$  : temperature ( $^{\circ}K$ )
- $P_i$  : tekanan masing-masing komponen (mmHg)
- $P_{tot}$  : tekanan sistem (mmHg)

Untuk mendapatkan jumlah mol fase cair dan fase gas, dilakukan trial nilai  $L$  dan  $G$  sehingga jumlah total fraksi mol fase cair ( $\sum X_i$ ) dan fase gas ( $\sum Y_i$ ) mendekati satu.

## 2.7 Desain Separator Horizontal

Untuk mendesain separator horizontal sangat penting untuk memilih perbandingan yang sesuai antara diameter tangki dan panjang tangki. Pemilihan dimensi ini harus mempertimbangkan kapasitas gas dan kapasitas liquid yang akan lepas dari fase gas basah. Kecepatan gas maksimum sangat mempengaruhi panjang tangki tersebut. Tangki harus didesain sedemikian rupa, sehingga gas basah yang masuk ke dalam tangki dapat melepaskan liquid secara maksimum, dan gas yang keluar nantinya sudah tidak mengandung liquid lagi.

1. Mencari nilai *Drag Coefficient*. ( $C_D$ ) sesuai dengan Persamaan (2.5)

Mengasumsikan nilai  $C_D$ .

Mencari kecepatan gas, dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{gas} = 0,0199 \left[ \left( \frac{\rho_{liquid} - \rho_{gas}}{\rho_{gas}} \right) \frac{dm}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.5)$$

2. Mencari angka *Reynold* dengan Persamaan (2.6)

$$Re = 0,0049 \left[ \frac{\rho_{gas} \times dm \times Vt}{\mu g} \right] \dots\dots\dots(2.6)$$

3. Mencari nilai  $C_D$  dengan Persamaan (2.7)

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{\frac{1}{2}}} + 0.34 \dots\dots\dots(2.7)$$

Apabila nilai  $C_D$  pada persamaan 3 sama dengan yang diasumsikan, maka nilai  $C_D$  tersebut yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Jika nilai  $C_D$  pada persamaan ini berbeda dengan yang diasumsikan, maka harus dilakukan perhitungan ulang hingga mendapat nilai  $C_D$  yang sama.

4. Menghitung Area Gas yang dibutuhkan dengan Persamaan (2.9)

Mengasumsikan diameter tangki ( $Dt$ )

$$V_{gas} = 0,0199 \left[ \left( \frac{\rho_{liquid} - \rho_{gas}}{\rho_{gas}} \right) \frac{dm}{C_D} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Q_{gas} = \frac{\omega_{gas}}{\rho_{gas}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$A_{gas} = \frac{Q_{gas}}{V_{gas}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$h_{gas} = \frac{A_{gas}}{A_{total}} \times Dt \dots\dots\dots(2.10)$$

5. Menghitung Area Liquid yang dibutuhkan dengan Persamaan(2.11)

Liquid diasumsikan  $\frac{1}{2}$  penuh.

$$h_{liquid} = \frac{1/2 A_{total}}{A_{total}} \times Dt \dots\dots\dots(2.11)$$

Jadi, total h yang dibutuhkan dihitung dengan Persamaan (2.12)

$$h_{total} = h_{gas} + h_{liquid} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

$\omega_{gas}$  = berat jenis gas (kg/jam)  
 $V_{gas}$  = kecepatan gas (m/s)  
 $\rho_{liquid}$  = massa jenis liquid (lbm/cuft)  
 $\rho_{gas}$  = massa jenis gas (lbm/cuft)  
 $dm$  = drop diameter (micron)  
 $Dt$  = diameter tangki (m)

$Re$  = angka Reynold  
 $\mu_g$  = viskositas gas (cp)  
 $Q_{gas}$  = debit gas (m<sup>3</sup>/s)  
 $C_D$  = drag coefficient  
 $A_{gas}$  = luas area gas (m<sup>2</sup>)

Sesuai dengan pengalaman dari para *chemical engineer* range ratio perbandingan  $L/D$  diambil antara 3-5.

## 2.8 Tebal Shell dan Head

Perhitungan tebal *shell* dan *head* berdasarkan ASME Code UG 27 sesuai dengan Persamaan (2.13), (2.14), (2.15).

$$t = \frac{P \times R_t}{S_s \times E - 0,6 \times P} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$t = \frac{P \times R_t}{2.S_s.E + 0,4 \times P} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dari Persamaan (2.13) dan (2.14) dipilih nilai untuk tebal minimum shell yang terbesar.

Perhitungan tebal minimum *head* sesuai dengan Persamaan (2.15).

$$t = \frac{P \times R_t}{2.S_s.E - 0,2 \times P} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

- $P$  = tekanan (psi)
- $R_t$  = jari-jari tangki (in)
- $S_s$  = kekuatan ijin baja (psi)
- $E$  = koefisien efisiensi

## 2.9 Analisis Pembebanan

Pada perencanaan struktur *case* ini, beban-beban akan ditinjau dan dihitung berdasarkan ASCE 7-05. Kombinasi beban untuk *soil bearing pressure* seperti tercantum di bawah ini.

1.  $D + El + Pl$
2.  $D + WT + SP + El + Pl + Ll$

3.  $D + WT + SP + El + Pl + w(OR 0,7V)$
4.  $D + WT + SP + El + Pl + 0,75Ll + 0,75Il + 0,75Tl$
5.  $D + WT + SP + El + Pl + 0,75Ll + 0,75Il + 0,75Tl + 0,75W$   
(or 0,525V)
6.  $D + WT + SP + El + 0,75Ll + 0,75Il + 0,75B$
7.  $D + WT + SP + El + 0,75Ll + 0,75Il + 0,75B + 0,75W$ (or 0,525V)

Sedangkan untuk kombinasi beban untuk struktur beton sebagai berikut.

1.  $1,4 (D+El+Pl)$
2.  $1,2 (D+El+Pl) + 1,6 (SP+WT) + 1,3 W$ (or 1V)
3.  $0,9 (D+El+Pl) + 1,6 (SP+WT) + 1,3 W$ (or 1V)
4.  $1,2 (D+El+Pl) + 1,6 (Ll+Il+Tl+SP+WT)$
5.  $1,2 (D+El+Pl) + 1,6 (Ll+Il+Tl+SP+WT) + 1(Ll) + 1,3W$ (or 1V)
6.  $0,9 (D+El+Pl) + 1,6 (SP+Tl+WT) + 1,3W$ (or 1V)
7.  $1,2 (D+El+Pl) + 1,6 (SP+WT+Ll+B+Il)$
8.  $1,2 (D+El+Pl) + 1,6 (SP+WT+B+Il) + 1(Ll) + 1,3W$ (or 1V)
9.  $0,9 (D+El+Pl) + 1,6 (SP+WT+B) + 1,3W$ (or 1V)

dimana,

$D$	= beban mati	$WT$	= tekanan air bawah tanah
$El$	= beban alat	$W$	= beban angin
$Ll$	= beban hidup	$V$	= beban gempa
$Il$	= beban <i>impact</i>	$Tl$	= beban thermal
$SP$	= tekanan tanah	$B$	= beban bundle
$Pl$	= beban dari pipa saat beroperasi		

## 2.10 Analisis Pembebanan Gempa

Berdasarkan *UBC 97 sec.1634.5* untuk bangunan bukan gedung, persamaan total gaya lateral sesuai Persamaan (2.16).

$$V=0,56 \times Ca \times I \times Wt \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana,  $V$  = total gaya lateral  
 $Ca$  = koefisien gempa (tabel 16Q-16T UBC 97)  
 $I$  = faktor keutamaan ( tabel 16K UBC 97)  
 $Wt$  = total berat sendiri struktur

## 2.11 Perencanaan Balok

Balok adalah komponen struktur yang menahan gaya-gaya dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya lendutan (Dipohusodo, 1994). SNI 03-2847-2002 memberikan kriteria tebal balok yang dikaitkan dengan panjang bentangnya dalam rangka membatasi lendutan besar. Perkiraan tebal minimum balok ditentukan sesuai Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Tebal Minimum Balok

Komponen Struktur	Tebal Minimum, h			
	Dua Tumpuan	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Balok atau pelat jalur satu arah	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18,5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

dengan,

1. bentang  $l$  dalam mm,
2. nilai yang digunakan untuk komponen struktur beton normal  $Wc = 2400 \text{ kg/m}^3$  dan tulangan dengan mutu baja BJTD 40 atau  $fy = 400 \text{ MPa}$ ,
3. apabila  $fy \neq 400 \text{ MPa}$ , maka harus dikalikan dengan  $\left(0,4 + \frac{fy}{700}\right)$ .

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.3(1) lebar balok ( $b$ ) harus memenuhi persyaratan yang tercantum sebagai berikut:

1. perbandingan lebar terhadap tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,3,

2. lebar balok tidak kurang dari 250 mm.

### 2.11.1 Tulangan lentur pada balok

Perencanaan tulangan lentur pada balok akan dijelaskan sebagai berikut.

Mencari nilai koefisien tahanan sesuai Persamaan (2.17).

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$Mn = \frac{Mu}{\Phi}, \quad \Phi = 0,8$$

Menentukan nilai ratio tulangan dengan Persamaan (2.18).

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{f'c \cdot 0,85}} \right) \dots\dots\dots(2.18)$$

Ratio tulangan maksimum dipilih yang terkecil diantara dua Persamaan (2.19) dan (2.20).

$$\rho_{max1} = 0,75 \left( \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{fy} \cdot \frac{600}{600 + fy} \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\rho_{max2} = 0,025 \dots\dots\dots(2.20)$$

Sehingga luas tulangan yang digunakan didapat dengan Persamaan (2.21).

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d \dots\dots\dots(2.21)$$

Luas tulangan minimum pada komponen struktur lentur ditentukan dengan Persamaan (2.22).

$$As_{min} = \rho_{min} \times bw \times d \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\text{dengan, } \rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \text{ atau } \rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4fy}$$

$\rho_{min}$  dipilih yang terbesar.

Luas tulangan maksimum pada komponen struktur lentur sesuai dengan Persamaan (2.23).

$$A_{s_{max}} = \rho_{max} \times b \times d \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

Cek luas kebutuhan tulangan:

$$A_{s_{min.}} \leq A_{s_{perlu}} \leq A_{s_{max}}$$

Jika  $A_{s_{perlu}} < A_{s_{min.}}$  yang digunakan dalam hitungan adalah  $A_{s_{min.}}$ , sedangkan jika  $A_{s_{perlu}} > A_{s_{max}}$  maka tulangan direncanakan menggunakan tulangan rangkap.

Keterangan:

- $C_c$  = gaya desak beton
- $T_s$  = gaya tarik baja
- $b$  = lebar penampang
- $d$  = tinggi efektif penampang
- $a$  = kedalaman tegangan beton tekan
- $A_s$  = luas tulangan tarik
- $\rho$  = ratio tulangan
- $f'_c$  = kuat tekan beton
- $f_y$  = tegangan luluh baja
- $R_n$  = koefisien tahanan
- $\beta_1$  = 0,85 untuk  $f'_c \leq 30$  MPa  
 $\beta_1 = 0,85 - 0,007(35 - 30)$  untuk  $f'_c > 30$  Mpa
- $A_{s_{min}}$  = luas tulangan minimum yang dibutuhkan
- $A_{s_{perlu}}$  = luas tulangan yang dibutuhkan
- $A_{s_{max}}$  = luas tulangan maksimum yang dibutuhkan

### 2.11.2 Balok ikat

Balok ikat adalah balok yang mengikat antara dua pondasi/*pile cap* yang berdekatan. Secara umum, perancangan balok ikat sama dengan perancangan balok. Namun ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan balok ikat tersebut. Sebagai balok lentur, balok ikat akan menahan momen lentur maupun geser dari pondasi/*pile cap* (Dipohusodo,1994). Gaya total aksial dari

kolom dan tekanan tanah di bawah pondasi/*pile cap* digunakan untuk mencari gaya geser aksial pada balok ikat.

## 2.12 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari suatu struktur yang memikul beban aksial dan meneruskan beban tersebut ke fondasi hingga akhirnya sampai ke tanah. Kegagalan kolom dapat berakibat runtuhnya struktur tersebut. Karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas. (Nawy,1990)

Klasifikasi kolom berdasarkan panjang kolom:

1. Termasuk kolom pendek jika memenuhi Persamaan (2.24)

$$\frac{k \times lu}{r} \leq 22 \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

2. Termasuk kolom panjang jika memenuhi Persamaan (2.25).

$$\frac{k \times lu}{r} \geq 22 \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

dengan,  $k$  =faktor kekakuan  
 $lu$  = panjang efektif kolom (mm)  
 $r$  = radius girasi kolom (mm)

Untuk kolom panjang, kelangsingan kolom harus diperhatikan dalam perhitungan.

Jika pada kolom pendek, kelangsingan kolom tidak diperhitungkan.

### 2.12.1 Perencanaan tulangan longitudinal kolom

Pada perencanaan kolom, umumnya dimensi penampang kolom ditetapkan kemudian dicari kebutuhan luas tulangan. Luas tulangan diperoleh

dengan cara *trial and adjustment*. Pada *case* ini, perhitungan tulangan longitudinal kolom akan menggunakan diagram interaksi P-M dari program IKOLAT 2000 (Haryanto YW, 2001) yang menunjukkan kapasitas suatu penampang kolom beton bertulang. Diagram tersebut menunjukkan hubungan antara beban aksial dan momen lentur yang bekerja pada kolom tersebut. Berikut merupakan cara untuk merancang tulangan longitudinal pada kolom.

1. Mengasumsikan dimensi kolom yang akan digunakan
2. Mencari nilai  $P_n$ ,  $M_{nx}$  dan  $M_{ny}$ , dengan faktor reduksi ( $\Phi$ ) = 0,65
3. Menetapkan nilai  $f'_c$  dan  $f_y$  yang akan digunakan dalam desain kolom
4. Input data  $P_n$ ,  $M_{nx}$  dan  $M_{ny}$ .

Setelah data yang dibutuhkan diinput, maka akan di dapat diagram interaksi P-M. Suatu kolom dianggap mampu menahan gaya-gaya lateral maupun aksial yang bekerja, apabila *node* berada di dalam garis interaksi P-M. Bila *node* berada di luar garis interaksi, maka bisa di *trial* mengenai jumlah tulangan yang dibutuhkan, dimensi kolom, atau diameter tulangan yang digunakan.

### 2.13 Perencanaan Tulangan Geser pada Balok dan Kolom

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 13.1(1), perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi Persamaan (2.26).

$$\Phi \cdot V_n \geq V_u \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

dengan:  $\Phi$  = faktor reduksi kekuatan  
 $V_n$  = kuat geser nominal  
 $V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

Besar kuat geser nominal dihitung dengan Persamaan (2.27).

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan:  $V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan beton.  
 $V_s$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

SNI 03-2847-2002 menetapkan kuat geser beton untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur sesuai Persamaan (2.28).

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

dengan :  
 $V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton  
 $f'_c$  = kuat tekan beton  
 $V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau  
 $b$  = lebar penampang  
 $d$  = tinggi efektif penampang

Pemasangan tulangan geser diperlukan jika memenuhi Persamaan (2.29).

$$\Phi \cdot V_c \leq V_u \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

Jika pemasangan tulangan geser diperlukan, kuat geser nominal yang harus ditahan oleh tulangan geser dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.30).

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

Tetapi perlu diperhatikan juga bahwa  $V_s$  tidak boleh lebih dari  $V_s$  maksimum, dengan Persamaan (2.31).

$$V_{s \text{ maks.}} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

Batasan spasi maksimum tulangan geser ditentukan dengan SNI 03-2847-2002

Jika  $V_s \leq \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$  ; spasi tulangan geser tidak boleh melebihi  $d/2$ .

Jika  $V_s \geq \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$  ; spasi tulangan geser tidak boleh melebihi  $d/4$ .

## 2.14 Perencanaan Pile Cap

*Pile* disatukan dalam kelompok dengan menggunakan *pile cap*. Untuk menentukan dimensi dari *pile cap* juga perlu dipertimbangkan beberapa hal tentang jumlah kelompok *pile* yang akan digunakan, jarak minimum antar *pile*, jarak minimum antara pusat *pile* dengan tepi *pile cap*.

Untuk kelompok tiang, jarak minimum antar tiang dapat digunakan rumus dan ketentuan berdasarkan Doc.003B-52-S-SP-001, yaitu:

$$S \geq 3Dp$$

Sedangkan jarak minimum pusat tiang ke tepi *pile cap* digunakan rumus dan ketentuan berdasarkan Doc.003B-52-S-SP-001, yaitu:

$$S \geq 1,2 Dp$$

dengan:  $Dp$  = diameter *pile* (m)

$S$  = jarak minimum antar tiang (m)

### 2.14.1 Kontrol terhadap geser satu arah

Kontrol terhadap geser dua arah dengan cara membandingkan antara gaya geser ultimate dengan gaya geser nominal, dimana gaya geser ultimate harus lebih kecil atau sama dengan gaya geser nominal terfaktor.

Perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi Persamaan (2.29).

$$V_u \leq \Phi \cdot V_n \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana,  $\Phi \cdot V_n = \Phi \cdot V_c$

Menentukan kuat geser yang disumbangkan oleh beton menggunakan Persamaan (2.30).

$$V_c = \frac{1}{6} x \sqrt{f'_c} x b_w x d \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

Menentukan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

$V_u = \sum P$  yang menanggung geser

dengan,

$$q = \left(\frac{1}{2} \text{ lebar poer}\right) - \left(\frac{1}{2} \text{ lebar kolom}\right) - d$$

dengan :

$V_u$  = kuat geser total terfaktor

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_c$  = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

$P_u$  = daya dukung tiang

$b_o$  = penampang kritis

$A$  = luas *poer*

$L$  =  $b_w$  = Lebar *poer*

$d$  = tinggi efektif

#### 2.14.2 Kontrol terhadap geser dua arah

Kontrol terhadap geser dua arah dengan cara membandingkan antara gaya geser *ultimate* dengan gaya geser nominal, dimana gaya geser *ultimate* harus lebih kecil atau sama dengan gaya geser nominal terfaktor.

Perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi Persamaan (2.26).

$$V_u \leq \Phi \cdot V_n \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana,  $\Phi \cdot V_n = \Phi \cdot V_c$

Menentukan kuat geser yang disumbangkan oleh beton menggunakan Persamaan (2.27).

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

Menentukan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

$V_u = \sum P$  yang menanggung geser

dengan :

$b_o$  = penampang kritis pada *pile cap*

$d$  = tinggi efektif *pile cap*

$Q_u$  = gaya geser total terfaktor yang bekerja pada penampang kritis

$b$  =  $h$  = dimensi ukuran *pile cap*

$k$  =  $l$  = dimensi ukuran kolom

$P_u$  = daya dukung tiang

$A$  = luas *pile cap*

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_u$  = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

$V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

