

Perencanaan Kolom Komposit Silinder pada Terminal Bandara

MIRARA KHANZA*

Dosen Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email: mirarakhanza@itenas.ac.id

ABSTRAK

Semakin berkembangnya moda transportasi udara, kebutuhan akan infrastruktur bandara pun meningkat. Terminal bandara merupakan bagian penting dari bandara untuk kedatangan dan keberangkatan penumpang. Untuk akses yang baik, terminal membutuhkan ruang terbuka yang luas sehingga penggunaan kolom dibatasi. Dengan berkurangnya kolom, jarak antar bentang pun menjadi panjang dan gaya yang bekerja pada kolom menjadi lebih besar. Kolom harus tetap mampu menahan gaya-gaya yang bekerja walaupun dimensi kolom tidak diperbesar. Pada penelitian ini dilakukan analisis kolom komposit antara beton bertulang dan profil baja untuk mengatasi permasalahan kebutuhan bentang panjang. Kolom komposit yang direncanakan berbentuk silinder karena dinilai lebih efektif dan lebih indah dalam segi estetika. Pada penelitian ini pun juga dipaparkan analisis dari kolom beton bertulang persegi dengan lebar yang sama dengan diameter kolom silinder. Perhitungan analisis mengacu pada SNI beton dan AISC, dan dari hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan diameter yang sama dengan lebar kolom beton bertulang persegi, kolom komposit silinder memiliki kapasitas aksial 17.500 kN dan kapasitas momen 200 kNm lebih besar. Sementara dari segi estetika, kolom silinder juga memiliki bentuk yang lebih indah dan volume elemen 21% lebih kecil.

Kata kunci: kolom komposit silinder, bentang panjang, beton bertulang, profil baja

ABSTRACT

With the development of air transportation modes, the need for airport infrastructure is also increasing. The airport terminal is an important part of the airport for the arrival and departure of passengers. For good access, the terminal needs a large open space so that the use of columns is limited. With reduced columns, the distance between spans becomes longer and the force acting on the columns becomes greater. The column must still be able to withstand the forces acting even though the column dimensions are not enlarged. In this research, the analysis of composite columns between reinforced concrete and steel profiles was carried out to overcome the problem of long span requirements. The planned composite column is cylindrical because it is considered more effective and more beautiful in terms of aesthetics. In this study also presented an analysis of a square reinforced concrete column with the same width as the diameter of a cylindrical column. Analysis calculations refer to SNI concrete and AISC, and the results of the analysis show that with the same diameter as the width of a rectangular reinforced concrete column, a cylindrical composite column has an axial capacity of 17,500 kN and a moment capacity of 200 kNm greater. Meanwhile, in terms of aesthetics, the cylindrical column also has a more beautiful shape and 21% smaller element volume.

Keywords: cylindrical composite column, long span, reinforced concrete, steel profile

1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya moda transportasi udara, kebutuhan akan infrastruktur bandara pun meningkat. Terminal bandara merupakan bagian penting dari bandara untuk kedatangan dan keberangkatan penumpang. Untuk dapat memfasilitasi kebutuhan tersebut, maka diperlukan desain yang optimal dikarenakan terminal bandara menjadi kunci pertumbuhan ekonomi dan keberlangsungan operasional baik untuk bandara maupun maskapai. Desain bandara yang optimal memiliki konfigurasi yang dapat menyesuaikan berbagai macam kebutuhan pergerakan penumpang pada terminal. Bangunan ini memiliki fleksibilitas untuk perluasan dan untuk penyesuaian terhadap fluktuasi perpindahan penumpang dan kebutuhan industri maskapai [6]. Dengan kebutuhan ini, maka terminal bandara membutuhkan ruang terbuka dengan bentang yang panjang.

Semakin panjang bentang, momen dan gaya akibat beban yang bekerja akan semakin besar. Pada bangunan dengan balok sistem menerus, momen terbesar berada pada tumpuannya [5]. Kemudian momen tersebut akan disalurkan kepada kolom. Momen yang besar ini akan berdampak pada kebutuhan akan dimensi kolom yang besar. Namun di satu sisi, penggunaan kolom dengan dimensi yang besar kurang diminati. Selain karena akan mengurangi fungsi ruang, kolom dengan dimensi besar dinilai boros dan tidak estetik. Sehingga, muncul permasalahan dimana dimensi kolom ditekan, namun tetap harus mampu memikul momen dan gaya yang besar akibat bentang panjang.

Kebutuhan akan bentang panjang namun tetap menekan dimensi kolom yang ada, merupakan landasan utama perencanaan kolom komposit. Perencanaan pada kolom komposit pada dasarnya sama dengan kolom beton bertulang, profil baja memikul gaya tarik yang dipikul oleh tulangan baja. Yang membedakan hanyalah tidak ada batasan luas tulangan baja seperti pada kolom beton bertulang [5]. Dengan lebih banyaknya baja, kapasitas momen dan aksialnya diharapkan meningkat. Sehingga, dengan dimensi yang sama, kapasitas kolom komposit akan lebih besar dibanding kolom beton bertulang.

Pada penelitian ini, akan dipaparkan alternatif solusi berupa kolom komposit. Kolom komposit dinilai mampu menambah kapasitas aksial dan kapasitas momen kolom karena merupakan penggabungan antara kolom beton bertulang dengan profil baja. Pada penelitian ini akan dibandingkan desain kolom komposit silinder dengan kolom beton bertulang persegi. Desain kapasitas mencakup kapasitas momen dan aksial masing-masing kolom. Pemilihan kolom silinder selain dikarenakan untuk mengurangi dimensi dan volume kolom, bentuk silinder juga dinilai lebih estetik dibanding dengan kolom persegi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kolom Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan nonprategang minimum yang ditetapkan dalam standar [3]. Kolom beton bertulang merupakan elemen aksial beton bertulang yang menerima gaya-gaya dari balok dan kemudian menyalurkannya ke struktur bawah (fondasi). Selain akibat gaya aksial, kolom juga menerima gaya lentur, sehingga perencanaan mencakup kapasitas aksial dan kapasitas momen. Perencanaan tentang kolom beton bertulang diatur dalam SNI 2847:2019. Mencakup tentang batas luasan minimum dan maksimum tulangan longitudinal ($1\% < A_s < 8\%$), juga jarak minimum dan maksimum jarak antar tulangan (tidak kurang dari nilai terbesar dari 25 mm, diameter tulangan, dan $(4/3)$ diameter agregat).

2.2 Kolom Komposit

Komposit adalah kondisi komponen struktur dimana elemen beton dan baja bekerja sebagai satu kesatuan dalam distribusi gaya-gaya dalam. Sedangkan komponen komposit adalah komponen struktur, elemen penyambung atau rakitan elemen-elemen baja dan beton bekerja sebagai satu kesatuan dalam distribusi gaya-gaya dalam [4]. Sehingga kolom komposit merupakan gabungan antara beton dan profil baja struktur, pipa, atau tube, tanpa atau dengan tulangan memanjang tambahan yang diikat dengan beugel (spiral atau ikat). Kolom komposit terdiri dari dua macam: Inside Steel (Concrete encased column) yaitu kolom komposit yang terbuat dari profil baja yang diberi selubung beton di sekeliling dan Outside Steel (Concrete filled column) yaitu kolom komposit yang terbuat dari penampang baja berongga dan diisi beton didalamnya [2].

Komposit baja dengan beton didasarkan pada pemikiran bahwa beton mempunyai perilaku yang menguntungkan ketika menerima beban tekan dan perilaku yang kurang menguntungkan ketika menerima beban tarik. Sedangkan baja mempunyai kemampuan bahan yang sama baik untuk beban tarik dan tekan tetapi harus diwaspadai terhadap bahaya tekuk ketika menerima beban tekan [7]. Penggabungan antara beton dan baja, menyebabkan perbedaan pada perencanaan kolom komposit. Perencanaan kapasitas aksial dan kapasitas momen pada kolom komposit mengacu pada Design Examples V15.0 AISC tahun 2017 [1].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan pengamatan pada bandara-bandara yang terdapat di Indonesia, terkhusus pada terminal penumpang. Sebagian besar terminal penumpang bandara memiliki ruang terbuka yang luas demi kemudahan akses penumpang dan fluktuasi jumlah penumpang. Ruang terbuka yang luas tersebut berdampak pada pengurangan kolom di tengah ruang, sehingga jarak antar kolom pun menjadi lebih jauh.

Kemudian dilakukan perumusan masalah, dimana bentang panjang memerlukan dimensi kolom yang besar, namun dimensi kolom yang besar akan mengurangi luas ruang dan kebermanfaatan fungsi ruang. Setelah merumuskan masalah tersebut, dilakukan kajian data primer dan sekunder. Data primer berupa layout denah ruang terminal penumpang bandara, sedangkan gaya-gaya yang bekerja pada elemen struktur khususnya kolom menjadi data sekunder yang dapat digunakan untuk analisis data.

Analisis data berfungsi untuk menemukan jawaban pertanyaan penelitian. Hasil analisis dipaparkan untuk membahas penelitian. Dipaparkan beberapa alternatif dan perbandingan dari desain yang dilakukan. Dari pemaparan hasil analisis tersebut ditarik sebuah kesimpulan yang akan menjadi inti dari penelitian yang dilakukan.

4. ANALISIS DATA

4.1 Pengolahan Data

Hasil dari pemodelan gedung terminal penumpang bandara ini didapat gaya yang bekerja pada masing-masing elemen struktur. Data sekunder tersebut lalu diurutkan dan diambil gaya maksimum yang digunakan untuk perencanaan elemen kolom.

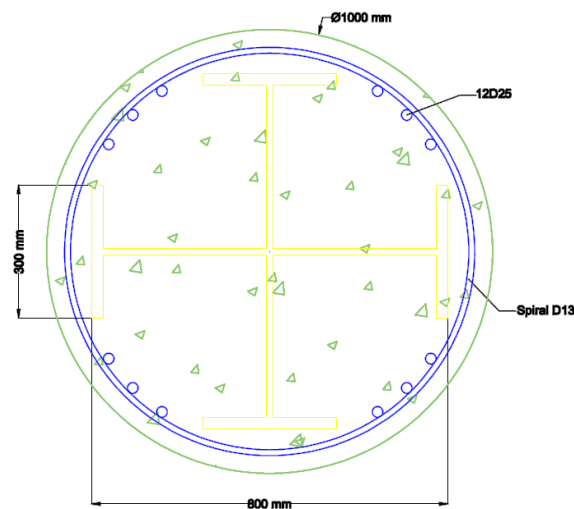
4.2 Hipotesis

Dari literatur tentang kolom komposit yang dibahas pada tinjauan pustaka, maka terdapat beberapa hipotesis yang perlu dibuktikan dengan hitungan perencanaan, yaitu:

1. Kapasitas tekan kolom komposit lebih besar dibandingkan dengan kolom beton bertulang, sehingga mampu menahan gaya aksial lebih besar walaupun dimensi kolom tidak diperbesar
2. Kapasitas momen lentur kolom komposit juga lebih besar, karena terdapat elemen profil baja yang dapat menambah kapasitas lentur elemen
3. Kolom silinder memiliki volume yang lebih kecil dibanding kolom persegi, sehingga selain untuk menghemat ruang juga lebih indah untuk estetika.

4.3 Analisis

Analisis yang dilakukan dalam penulisan terdiri dari beberapa analisis. Tahap pertama adalah perencanaan terhadap kolom komposit silinder berdasarkan Design Examples V15.0 AISC tahun 2017. Kolom merupakan kolom komposit beton bertulang berbentuk silinder diameter 1 m dengan profil baja kingcross dengan spesifikasi terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Kolom komposit silinder

Kolom komposit beton dengan baja berbentuk lingkaran berdiameter 1 m dengan spesifikasi tersaji pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi Beton Kolom Komposit

Beton			
Kuat tekan	f'_c	35.000	kPa
Tebal selimut	d_c	0,04	m
Luas bersih	A_c	0,726027677	m ²

Tulangan longitudinal dengan spesifikasi tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Spesifikasi Tulangan Longitudinal

Tulangan Longitudinal			
Kuat leleh	f_{ybarl}	400.000	kPa
Diameter tulangan	D_{barl}	0,025	m
Luas tulangan	A_{barl}	0,0004909	m ²
Jumlah tulangan	n_{barl}	12	
Luas total tulangan	$A_{bar total l}$	0,0058905	m ²

Baja *King Cross* dengan spesifikasi tersaji pada **Tabel 3**.

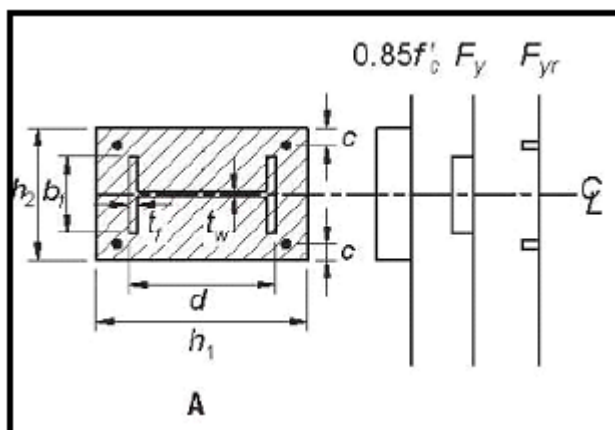
Tabel 3. Spesifikasi Profil Baja King Cross

K 800x300			
Tinggi	d	800	mm
Lebar	b_f	300	mm
Tebal web	t_w	14	mm
Tebal flange	t_f	26	mm
Luas	A_s	534,8	cm ²
Momen inersia arah X	I_x	303,7	cm ⁴
Momen inersia arah Y	I_y	315,027	cm ⁴
Radius girasi arah X	r_x	23,83	cm
Radius girasi arah Y	r_y	24,27	cm
Modulus penampang arah X	Z_x	7.592,5	cm ³
Modulus penampang arah Y	Z_y	7.740,2	cm ³
Kuat leleh	f_y	250	MPa
Kuat tarik	f_u	410	MPa

Berikut perhitungan kapasitas aksial dan momen kolom komposit di titik A (**Gambar 2**), titik B (**Gambar 4**), titik C (**Gambar 5**) dan titik D (**Gambar 3**).

1. Sumbu X

Titik A



Gambar 2. Penampang kolom komposit di titik A

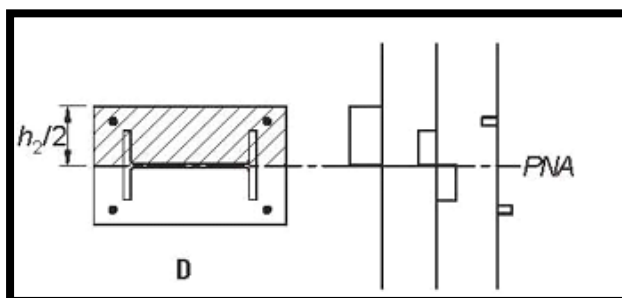
Kapasitas tekan di titik A

$$P_A = A_s \times f_y + A_{bar\ total} \times f_{ybar} + 0,85 \times f'_c \times A_c = 37.325,5179 \text{ kN}$$

Kapasitas momen di titik A

$$M_A = 0 \text{ kNm}$$

Titik D



Gambar 3. Penampang kolom komposit di titik D

Jumlah tulangan pada sumbu netral (N.A.) adalah 0 buah.

Luas tulangan pada sumbu netral (N.A.)

$$A_{barcenter} = n_{barl} \times A_{barl} = 0 \times 0,0004909 = 0 \text{ m}^2$$

Modulus penampang tulangan dihitung dengan **Persamaan 1** berikut.

$$Z_r = (A_{barl} - A_{barcenter}) \left(\frac{h_1}{2} - d_c \right) \quad \dots(1)$$

dengan:

h_1 = luas penampang tulangan.

Maka, $Z_r = 2,3745 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Modulus penampang beton dihitung dengan **Persamaan 2** berikut.

$$Z_c = \frac{h_2 h_1^2}{4} - Z_y - Z_r \quad \dots(2)$$

dengan:

h_2 = luas penampang tulangan.

Maka, $Z_c = 0,1640 \text{ m}^3$.

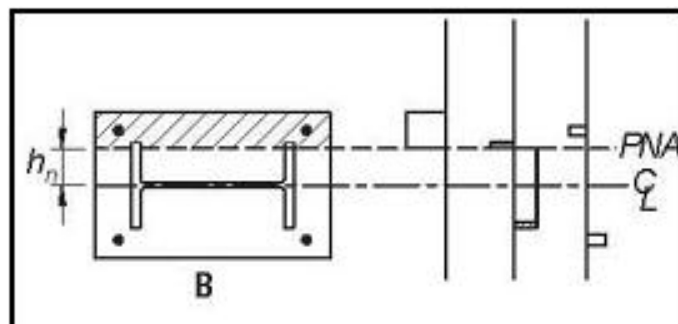
Kapasitas momen di titik D

$$M_D = Z_y f_y + Z_r f_{ybarl} + 0,85 \frac{Z_c}{2} f'_c = 5.288,0816 \text{ kNm}$$

Kapasitas tekan di titik D

$$P_D = \frac{0,85 \times f'_c \times A_c}{2} = 10.799,6617 \text{ kN}$$

Titik B



Gambar 4. Penampang kolom komposit di titik B

Untuk letak sumbu netral h_n di bawah flens ($\frac{t_w}{2} < h_n < \frac{b_f}{2}$) dihitung dengan **Persamaan 3**, sedangkan nilai modulus penampang baja dihitung dengan **Persamaan 4**.

$$h_n = \frac{0,85 f'_c (A_c + A_s - 2t_f b_f) - 2f_y (A_s - 2t_f b_f)}{2[4t_f f_y + (h_1 - 2t_f) 0,85 f'_c]} \quad \dots(3)$$

$$Z_{sn} = Z_s - 2t_f \left(\frac{b_f}{2} + h_n \right) \left(\frac{b_f}{2} - h_n \right) \quad \dots(4)$$

dengan:

$Z_s = Z_x =$ modulus penampang elastis baja di sumbu X.

Untuk letak sumbu netral h_n di atas flens ($h_n > \frac{b_f}{2}$) dihitung dengan **Persamaan 5**, sedangkan nilai modulus penampang baja dihitung dengan **Persamaan 6**.

$$h_n = \frac{0,85 f'_c (A_c + A_s) - 2 f_y A_s}{2 [0,85 f'_c h_1]} \quad \dots(5)$$

$$Z_{sn} = Z_s \quad \dots(6)$$

Maka, $h_n = 0,3278$ meter dan $Z_{sn} = 0,0015 \text{ m}^3$.

Modulus penampang beton dihitung dengan **Persamaan 7** berikut.

$$Z_{cn} = h_2 h_1^2 - Z_{sn} \quad \dots(7)$$

Maka, $Z_{cn} = 0,0937 \text{ m}^3$.

Kapasitas momen di titik B dihitung dengan **Persamaan 8** berikut.

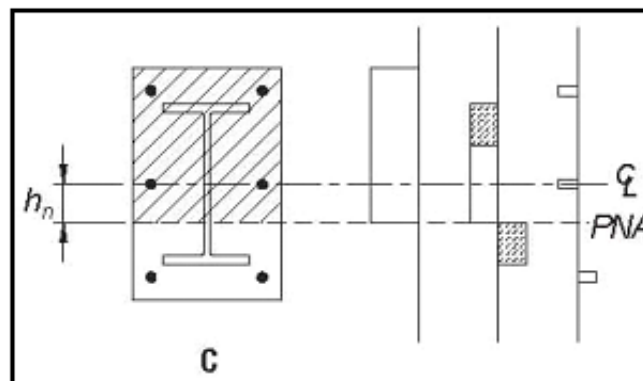
$$M_B = M_D - Z_{sn} f_y + -0,85 \frac{Z_{cn}}{2} f'_c \quad \dots(8)$$

Maka, $M_B = 3.518,1709 \text{ kNm}$.

Kapasitas tekan di titik B

$$P_B = 0 \text{ kN}$$

Titik C



Gambar 5. Penampang kolom komposit di titik C

Kapasitas tekan di titik C

$$P_C = 0,85 \times f'_c \times A_c = 21.599,7374 \text{ kN}$$

Kapasitas momen di titik C

$$M_C = M_B = 3.518,1709 \text{ kNm}$$

Tabel 4 menunjukkan kesimpulan dari hasil perhitungan yang telah dilakukan di atas.

Tabel 4. Kapasitas Tekan dan Momen Kolom pada Sumbu X

Kesimpulan							
Kapasitas Tekan				Kapasitas Momen			
P_A	P_C	P_D	P_B	M_A	M_C	M_D	M_B
kN	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm	kNm
37.325,5179	21.599,3234	10.799,6617	0	0	3.518,1709	5.288,0816	3.518,1709

2. Sumbu X

Perhitungan sama dengan sumbu X, dan berikut hasil perhitungan kapasitas tekan dan kapasitas momen disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Kapasitas Tekan dan Momen Kolom pada Sumbu Y

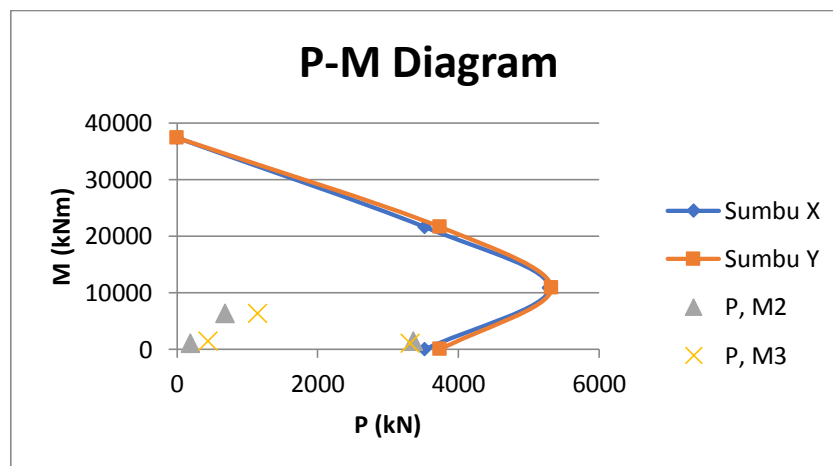
Kesimpulan							
Kapasitas Tekan				Kapasitas Momen			
P_A	P_C	P_D	P_B	M_A	M_C	M_D	M_B
kN	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm	kNm
37.325,5179	21.599,3234	10.799,6617	0	0	3.742,7290	5.322,8095	3.742,7290

Sedangkan dari data sekunder gaya *output* pemodelan terminal penumpang bandara, diperoleh kombinasi gaya aksial (P) dan momen (M2 dan M3) maksimum pada **Tabel 6** berikut.

Tabel 6. Kombinasi Gaya Aksial dan Momen

Kombinasi Maksimum		
P	M2	M3
[kN]	[kNm]	[kNm]
6.315,5560	680,7430	1.149,8953
1.458,0650	3.364,2490	441,6167
1.107,5720	189,7550	3.319,5495

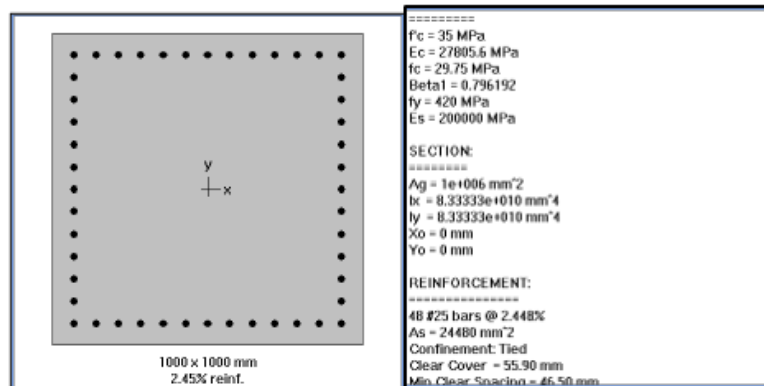
Gambar 6 berikut adalah diagram interaksi antara gaya aksial dan momen.



Gambar 6. Diagram P-M Kolom Silinder

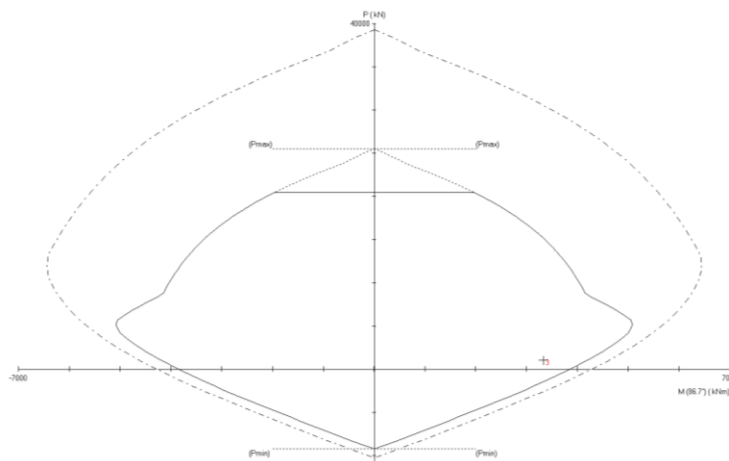
Sedangkan untuk analisis tahap kedua, yaitu kolom beton bertulang persegi berdimensi yang sama dengan diameter kolom komposit, yaitu 1 m. Untuk kolom beton bertulang, dilakukan analisis desain menggunakan software SPCol (**Gambar 7**). Dengan mengacu pada SNI 2874-2019 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, pasal

25.2.3 "Untuk tulangan longitudinal pada kolom, pedestal, strut dan elemen batas pada dinding, spasi bersih antar tulangan harus tidak kurang dari nilai terbesar dari 40 mm; 1,5 db; dan (4/3) dagg" diambil yang terbesar yaitu 40 mm. Jumlah tulangan longitudinal kolom beton bertulang adalah 48 buah diameter 25 mm, dengan jarak antar tulangan 55,9 mm (>40 mm).



Gambar 7. Kolom beton bertulang

Gambar 8 berikut adalah diagram P-M yang dikeluarkan oleh software SPCol.



Gambar 8. Diagram P-M kolom beton bertulang

Sedangkan dari segi volume, berikut adalah perbandingan volume kolom persegi dengan kolom silinder (asumsi tinggi kolom 4m):

Kolom persegi

$$V_{kolom\ persegi} = 1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 4\text{ m} = 4\text{ m}^3$$

Kolom silinder

$$V_{kolom\ silinder} = \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 4\text{ m} = 3,143\text{ m}^3$$

Perbandingan kolom persegi dengan kolom silinder:

$$\frac{V_{kolom\ silinder}}{V_{kolom\ persegi}} = \frac{3,143\text{ m}^3}{4\text{ m}^3} = 0,786$$

4.4 Pembahasan

Dari analisis di atas, didapatkan bahwa kapasitas tekan untuk kolom komposit silinder adalah 37.325 kN, dan untuk kolom beton bertulang sebesar 25.500 kN. Sedangkan untuk kapasitas

momen kolom komposit silinder adalah 5.322 kNm, dan untuk kolom beton bertulang adalah sebesar 5.081 kNm. Perbedaan kapasitas momen (kolom komposit silinder >200 kNm dibanding kolom beton bertulang) tidak sebesar perbedaan kapasitas aksial (kolom komposit silinder >17.500 kN dibanding kolom beton bertulang). Dikarenakan, kolom menyalurkan gaya-gaya dari balok melalui sumbu aksialnya, dibanding sumbu tekuknya (momen lentur). Sedangkan untuk volume, kolom komposit silinder memiliki volume lebih kecil 21% (1-0,79) dibanding kolom beton bertulang persegi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari pengumpulan data dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Kapasitas tekan kolom komposit 17.500 kN lebih besar dibandingkan dengan kolom beton bertulang, sehingga mampu menahan gaya aksial lebih besar walaupun dimensi kolom tidak diperbesar.
2. Kapasitas momen lentur kolom komposit 200 kNm lebih besar dibandingkan dengan kolom beton bertulang, karena terdapat elemen profil baja yang dapat menambah kapasitas lentur elemen.
3. Kolom silinder memiliki volume lebih kecil 21% dibanding kolom persegi, sehingga selain untuk menghemat ruang juga lebih indah untuk estetika.

5.2 Saran

Hasil dari pengumpulan data dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbedaan kapasitas momen antara kolom komposit silinder dan kolom persegi beton bertulang tidak terlalu jauh, dikarenakan cukup banyaknya tulangan longitudinal pada kolom persegi beton bertulang.
2. Pemilihan kolom silinder didasari oleh segi estetik, karena bandara merupakan infrastruktur pendukung kemajuan pariwisata suatu daerah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Institute of Steel Construction. (2017). *Design Examples Companion to the AISC Steel Construction Manual Version 15.0*. USA: American Institute of Steel Construction.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1729-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Dewobroto, W. (2012). *Menyongsong Era Bangunan Tinggi dan Bentang Panjang*. Tangerang: Universitas Pelita Harapan.
- [6] Neufville, R.D. (1995). Designing airport passenger buildings for the 21st century. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Transport* (pp. 97-104). Londo: Telford.
- [7] Propika, J., Fitriyah, D.K. & Septiarsilis, Y. (2020). Analisa Perbandingan Kolom Komposit Inside Steel dan Outside Steel terhadap Kapasitas Tahanan Aksial dan Momen. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 5(2), 159-170.
- [8] Sudarsana, I.K. (2010). Analisis Pengaruh Konfigurasi Tulangan terhadap Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 57-68.