

ANALISIS ULANG STRUKTUR BANGUNAN AIR TRAFFIC CONTROL (ATC) DI BANDARA DEPATI AMIR PANGKALPINANG

Vania Oktiani Pariyan¹, Indra Gunawan S.T., M.T.², Ferra Fahriani S.T., M.T.³

¹Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

E-mail : vaniaphung0110@gmail.com

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

³Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

ABSTRAK

Setiap bandar udara memiliki bangunan Air Traffic Control (ATC) yang berperan penting sebagai pusat koordinasi untuk keselamatan dan efisiensi pergerakan pesawat terbang. Hingga tahun 2016, bangunan ATC di Bandara Depati Amir – Pangkalpinang sudah melayani pergerakan pesawat mencapai 28 pesawat per hari. Dalam melakukan pelayanan lalu lintas udara, ketinggian bangunan ATC di Bandara Depati Amir saat ini dinilai kurang tinggi, sehingga pengawasan terhadap pergerakan pesawat tidak optimal. Untuk meningkatkan pelayanan lalu lintas udara, Perusahaan Umum Lembaga Penyelenggara Pelayanan Navigasi Penerbangan Indonesia (Perum LPPNPI) melaksanakan pembangunan menara pengawas yang baru untuk Bandara Depati Amir – Pangkalpinang. Metode kontrak pada proyek pembangunan bangunan ATC Bandara Depati Amir merupakan kontrak rancang bangun, dimana kontraktor dilibatkan dalam proses perencanaan. Sehingga dalam pelaksanaannya, Detail Engineering Design (DED) mengalami perubahan yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap struktur bangunan Air Traffic Control (baru) di Bandara Depati Amir – Pangkalpinang berdasarkan pelaksanaan di lapangan.

Berdasarkan hasil analisis struktur beton bertulang mampu menahan beban yang bekerja. Struktur pelat S1 dan S2 memenuhi syarat rasio penulangan serta memenuhi syarat kekuatan. Struktur balok G2, B3, CG, LB dan CB1A memenuhi syarat rasio penulangan serta syarat kekuatan lentur dan geser, struktur balok G1 dan G3 pada daerah tumpuan memenuhi syarat rasio penulangan serta syarat kekuatan lentur dan geser namun pada daerah lapangan tidak memenuhi syarat rasio penulangan. Pada balok B1 pada daerah tumpuan tidak memenuhi syarat rasio penulangan serta syarat kekuatan lentur dan geser, sedangkan pada daerah lapangan memenuhi syarat rasio penulangan serta syarat kekuatan lentur dan geser. Berdasarkan diagram interaksi kolom, struktur kolom K1, K2 dan K3 memenuhi syarat kekuatan.

Untuk struktur baja, struktur kolom baja (WF 450x200) tidak mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis tidak memenuhi syarat interaksi kuat aksial dan lentur namun memenuhi syarat kekuatan geser. Struktur balok baja (WF 200x100, WF 300x150, WF 300x175 dan WF 400x200) mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis memenuhi syarat interaksi kuat aksial dan lentur serta syarat kekuatan geser.

Sambungan balok mampu menahan beban-beban yang bekerja, ketebalan baseplate mencukupi ketebalan minimum yang dibutuhkan, sedangkan baut angkur tidak memenuhi syarat interaksi kuat tarik dan geser.

Kata kunci : ATC, analisis, struktur

PENDAHULUAN

Setiap bandar udara memiliki bangunan *Air Traffic Control (ATC)* berperan penting sebagai pusat koordinasi untuk keselamatan dan efisiensi pergerakan pesawat terbang. Bangunan ATC atau menara pengawas merupakan sebuah bangunan permanen yang berfungsi memantau area-area di dalam dan sekitar bandar udara yang ditentukan untuk diawasi sehingga dapat di-lakukan pengawasan untuk menjaga keselamatan penerbangan. Menara pengawas merupakan bangunan tertinggi yang berada di sekitar kawasan bandar udara.

Di Bandara Depati Amir Pangkalpinang, bangunan ATC pertama kali dibangun pada tahun 1975 dengan ketinggian ± 15 meter. Dalam melakukan pelayanan lalu lintas udara, ketinggian bangunan ATC di Bandara Depati Amir saat ini dinilai kurang tinggi, sehingga pengawasan terhadap pergerakan pesawat tidak optimal.

Perusahaan Umum Lembaga Penyelenggara Pelayanan Navigasi Penerbangan Indonesia (Perum LPPNPI) melaksanakan pembangunan menara pengawas yang baru untuk Bandara Depati Amir Pangkalpinang. "Proyek Pekerjaan Rancang Bangun (*Design & Build*) Pembangunan Tower ATC Beserta Kelengkapannya di Pangkalpinang" dimulai pada bulan April 2017, dengan lokasi

pekerjaan berada tepat dibelakang tower eksisting. Bangunan ATC ini bersegi 8 dan memiliki ketinggian 34 meter dengan 8 tingkat lantai. Material untuk struktur bangunan adalah beton bertulang dan baja. Struktur beton bertulang digunakan pada pondasi sampai lantai tingkat 7 dan dak atap, sedangkan struktur baja digunakan pada lantai tingkat 8 yang difungsikan sebagai ruang kabin.

Metode kontrak pada proyek pembangunan bangunan ATC Bandara Depati Amir merupakan kontrak rancang bangun. Sehingga dalam pelaksanaannya, *Detail En-geneering Design (DED)* mengalami perubahan yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap struktur bangunan *Air Traffic Control* (baru) di Bandara Depati Amir Pangkalpinang berdasarkan pelaksanaan di lapangan.

Tujuan dari penyusunan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui kemampuan elemen struktur beton bertulang (pelat, balok dan kolom) dalam menahan beban yang bekerja pada Bangunan *Air Traffic Control (ATC)* di Bandara Depati Amir – Pangkalpinang.
2. Untuk mengetahui kemampuan elemen struktur baja (balok, kolom, sambungan, *baseplate* dan baut angkur) dalam menahan beban yang bekerja pada Bangunan *Air*

Traffic Control (ATC) di Bandara Depati Amir – Pangkalpinang.

LANDASAN TEORI

A. Standar Perencanaan

1. Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung Tahun 1987 (PPPURG 1987),
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012),
3. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013),
4. Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015).

B. Pelat Beton Bertulang

Pelat beton bertulang merupakan struktur tipis yang terbuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut (Ali Asroni, 2010).

Rasio penulangan (ρ) harus memenuhi $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$, dengan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \dots\dots\dots (1)$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{atau } \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (3)$$

digunakan nilai ρ_{min} yang paling besar.

$$\rho_{maks} = \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,003 + e_t} \rho_b \dots\dots\dots (4)$$

$$\rho_b = 0,85 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Kapasitas lentur pelat harus memenuhi $M_r \geq M_u$, dengan :

$$M_r = \phi \cdot M_n \dots\dots\dots (6)$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (7)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \dots\dots\dots (8)$$

C. Balok Beton Bertulang

Balok dapat didefinisikan sebagai salah satu dari elemen struktur portal dengan bentang yang arahnya horizontal. Beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen puntir), sehingga perlu baja tulangan untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan ini berupa tulangan memanjang atau tulangan longitudinal (yang menahan beban lentur) serta tulangan geser/begel (Ali Asroni, 2010).

Rasio penulangan balok tulangan rangkap harus memenuhi $\rho_{min} < (\rho_{min}') < \rho_{maks}$, dengan :

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} \dots\dots\dots (9)$$

Kapasitas momen harus memenuhi $M_r \geq M_u$, dengan :

$$M_n = M_{nc} + M_{ns} \dots\dots\dots (10)$$

$$M_{nc} = 0,85 f_c' \cdot b \cdot a \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (11)$$

a. Tulangan tekan sudah luluh

$$M_{ns} = A_s' \cdot f_y (d - d_s') \dots\dots\dots (12)$$

b. Tulangan tekan belum luluh

$$M_{ns} = A_s \cdot f_s' \cdot (d - d_s') \dots\dots\dots (13)$$

D. Kolom Beton Bertulang

Kolom merupakan suatu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur). Batas rasio kelangsingan kolom :

a. Kolom bergoyang

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22 \dots\dots\dots (14)$$

b. Kolom tidak bergoyang

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \dots\dots\dots (15)$$

Jika batas rasio kelangsingan tidak terpenuhi, maka kolom termasuk jenis kolom panjang dan efek kelangsingan harus diperhitungkan dengan pembe-saran momen.

a. Kolom bergoyang

$$M_c = \alpha_{ns} \cdot M_2 \dots\dots\dots (16)$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}} \geq 1,0 \dots\dots\dots (17)$$

b. Kolom tidak bergoyang

$$M_1 = M_{1ns} + \alpha_s \cdot M_{1s} \dots\dots\dots (18)$$

$$M_2 = M_{2ns} + \alpha_s \cdot M_{2s} \dots\dots\dots (19)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1,0 \dots\dots\dots (20)$$

Analisis kolom selanjutnya dilakukan dengan mengaplikasikan kondisi penam-pang kolom akibat pengaruh beban aksial ke dalam diagram interaksi.

E. Struktur Portal Baja

Berikut merupakan keunggulan baja sebagai material konstruksi :

1. Mempunyai kekuatan yang tinggi,
2. Keseragaman dan keawetan yang tinggi,
3. Sifat elastis,
4. Daktilitas cukup tinggi,
5. Kemudahan penyambungan antar-elemen, serta pembuatan baja mudah dibentuk menjadi penampang yang diinginkan.

Interaksi lentur dan gaya aksial pada penampang simetri ganda atau simetri tunggal dengan $0,1 \leq I_{yc}/I_y \leq 0,9$ harus memenuhi :

a. Bila $\frac{P_u}{P_r} \geq 0,2$

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (21)$$

b. Bila $\frac{P_u}{P_r} < 0,2$

$$\frac{P_u}{2P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (22)$$

F. Sambungan Baja

Sambungan merupakan gabungan beberapa komponen batang yang disatukan dengan alat sambung. Jenis-jenis alat sambung yang dapat digunakan adalah las, baut dan paku keling. Pengelasan pada sambungan las merupakan penyambungan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan cara memanasinya dengan atau tanpa menggunakan bahan pengisi. Jenis baut yang umum digunakan pada sambungan baut adalah baut mutu normal (A307) dan baut mutu tinggi (A325 dan A490).

G. Baseplate

Struktur baja umumnya digunakan di bagian atas bangunan, di bagian bawah menggunakan struktur beton. *Baseplate* digunakan untuk menghubungkan kedua bagian tersebut.

H. Baut Angkur

Baut angkur (*Anchor Bolt*) digunakan untuk menyatukan *baseplate* dengan beton bantalan. Dengan baut angkur, pelat dapat menerima beban yang lebih besar dan dapat mencegah kolom terbalik. Analisis kekuatan baut angkur dilakukan berdasarkan batas kekuatan baut angkur terhadap gaya tarik dan gaya geser.

METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Bangunan *Air Traffic Control* (ATC) di Bandara Depati Amir Pangkalpinang (alamat : Jl. Soekarno Hatta, Dul, Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah, Kepulauan Bangka Belitung), Gambar 1.



Sumber : *Google Maps*

Gambar 1. Lokasi Penelitian

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari pihak kontraktor, yang berupa gambar pelaksanaan (*Asbuilt Drawing*) pekerjaan struktur di lapangan. Dimensi struktur beton bertulang yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum ke dalam Tabel 1 sampai Tabel 3, sedangkan material baja struktur yang digunakan dirangkum dalam Tabel 4.

Alat yang digunakan dalam melakukan penelitian berupa perangkat lunak (*software*), terdiri dari :

1. Program SAP 2000, digunakan dalam analisis pembebanan untuk mendapatkan besar gaya dan momen maksimum.
2. Program *Microsoft Office*, terdiri dari *Microsoft Office Word* dan *Microsoft Office Excel*. *Microsoft Office Word* digunakan untuk penulisan laporan penelitian, sedangkan *Microsoft Office Excel* digunakan untuk analisis elemen-elemen struktur secara manual.

Tabel 1. Dimensi Pelat Beton Bertulang

Type	Detail
S1	
S2	

Sumber : *PT. Nindya Karya, 2017*

Tabel 2. Dimensi Balok Beton Bertulang

tipe	Detail	tipe	Detail																								
G1	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>7 022</td><td>3 022</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>4 022</td><td>3 022</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">6 019</td></tr> </table>	TA:	7 022	3 022	TB:	4 022	3 022	SK:	D10-100	D10-150	TP:	6 019		G2	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>5 019</td><td>3 019</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>2 019</td><td>5 019</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">6 013</td></tr> </table>	TA:	5 019	3 019	TB:	2 019	5 019	SK:	D10-100	D10-150	TP:	6 013	
TA:	7 022	3 022																									
TB:	4 022	3 022																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	6 019																										
TA:	5 019	3 019																									
TB:	2 019	5 019																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	6 013																										
G3	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>5 022</td><td>3 022</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>3 022</td><td>3 022</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">2 013</td></tr> </table>	TA:	5 022	3 022	TB:	3 022	3 022	SK:	D10-100	D10-150	TP:	2 013		G4	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>6 019</td><td>4 019</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>3 019</td><td>2 019</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">4 010</td></tr> </table>	TA:	6 019	4 019	TB:	3 019	2 019	SK:	D10-100	D10-150	TP:	4 010	
TA:	5 022	3 022																									
TB:	3 022	3 022																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	2 013																										
TA:	6 019	4 019																									
TB:	3 019	2 019																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	4 010																										

Lanjutan Tabel 2. Dimensi Balok Beton Bertulang

ipe	Detail	ipe	Detail																								
B1	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>5 016</td><td>3 016</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>3 016</td><td>5 016</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">6 010</td></tr> </table>	TA:	5 016	3 016	TB:	3 016	5 016	SK:	D10-100	D10-150	TP:	6 010		B2	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>3 016</td><td>2 016</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>3 016</td><td>2 016</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">2 013</td></tr> </table>	TA:	3 016	2 016	TB:	3 016	2 016	SK:	D10-100	D10-150	TP:	2 013	
TA:	5 016	3 016																									
TB:	3 016	5 016																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	6 010																										
TA:	3 016	2 016																									
TB:	3 016	2 016																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	2 013																										
B3	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>6 019</td><td>4 019</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>3 019</td><td>2 019</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">4 010</td></tr> </table>	TA:	6 019	4 019	TB:	3 019	2 019	SK:	D10-100	D10-150	TP:	4 010		B4	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>2 016</td><td>2 016</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>2 016</td><td>2 016</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">2 013</td></tr> </table>	TA:	2 016	2 016	TB:	2 016	2 016	SK:	D10-100	D10-150	TP:	2 013	
TA:	6 019	4 019																									
TB:	3 019	2 019																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	4 010																										
TA:	2 016	2 016																									
TB:	2 016	2 016																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	2 013																										
CG	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>5 025</td><td>5 025</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>5 025</td><td>3 025</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">6 019</td></tr> </table>	TA:	5 025	5 025	TB:	5 025	3 025	SK:	D10-100	D10-150	TP:	6 019		LB	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>4 016</td><td>2 016</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>2 016</td><td>2 016</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-150</td><td>D10-200</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">4 010</td></tr> </table>	TA:	4 016	2 016	TB:	2 016	2 016	SK:	D10-150	D10-200	TP:	4 010	
TA:	5 025	5 025																									
TB:	5 025	3 025																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	6 019																										
TA:	4 016	2 016																									
TB:	2 016	2 016																									
SK:	D10-150	D10-200																									
TP:	4 010																										
CB 1A	<table border="1"> <tr><td>TA:</td><td>5 016</td><td>5 016</td></tr> <tr><td>TB:</td><td>3 016</td><td>3 016</td></tr> <tr><td>SK:</td><td>D10-100</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TP:</td><td colspan="2">4 010</td></tr> </table>	TA:	5 016	5 016	TB:	3 016	3 016	SK:	D10-100	D10-150	TP:	4 010		<p>Keterangan :</p> <p>P = Penampang UB = Ukuran Balok TA = Tulangan Atas TB = Tulangan Bawah SK = Sengkang TP = Tulangan Pengikat</p>													
TA:	5 016	5 016																									
TB:	3 016	3 016																									
SK:	D10-100	D10-150																									
TP:	4 010																										

Sumber : PT. Nindya Karya, 2017

Tabel 3. Dimensi Kolom Beton Bertulang

ipe	Detail												
K1	<table border="1"> <tr><td>UKURAN</td><td>Dia. 600 mm</td></tr> <tr><td>TULANGAN</td><td>18 D22</td></tr> <tr><td>ATAS</td><td>D10-100</td></tr> <tr><td>TENGAH</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>BAWAH</td><td>D10-100</td></tr> <tr><td>JOINT</td><td>D10-100</td></tr> </table>	UKURAN	Dia. 600 mm	TULANGAN	18 D22	ATAS	D10-100	TENGAH	D10-150	BAWAH	D10-100	JOINT	D10-100
UKURAN	Dia. 600 mm												
TULANGAN	18 D22												
ATAS	D10-100												
TENGAH	D10-150												
BAWAH	D10-100												
JOINT	D10-100												
K2	<table border="1"> <tr><td>UKURAN</td><td>200x400x200 mm</td></tr> <tr><td>TULANGAN</td><td>8 D16</td></tr> <tr><td>ATAS</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>TENGAH</td><td>D10-200</td></tr> <tr><td>BAWAH</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>JOINT</td><td>D10-150</td></tr> </table>	UKURAN	200x400x200 mm	TULANGAN	8 D16	ATAS	D10-150	TENGAH	D10-200	BAWAH	D10-150	JOINT	D10-150
UKURAN	200x400x200 mm												
TULANGAN	8 D16												
ATAS	D10-150												
TENGAH	D10-200												
BAWAH	D10-150												
JOINT	D10-150												

Lanjutan Tabel 3. Dimensi Kolom Beton Bertulang

tipe	Detail												
K3	<table border="1"> <tr><td>UKURAN</td><td>300 x 300 mm</td></tr> <tr><td>TULANGAN</td><td>8 D16</td></tr> <tr><td>ATAS</td><td>D10-100</td></tr> <tr><td>TENGAH</td><td>D10-150</td></tr> <tr><td>BAWAH</td><td>D10-100</td></tr> <tr><td>JOINT</td><td>D10-100</td></tr> </table>	UKURAN	300 x 300 mm	TULANGAN	8 D16	ATAS	D10-100	TENGAH	D10-150	BAWAH	D10-100	JOINT	D10-100
UKURAN	300 x 300 mm												
TULANGAN	8 D16												
ATAS	D10-100												
TENGAH	D10-150												
BAWAH	D10-100												
JOINT	D10-100												

Sumber : PT. Nindya Karya, 2017

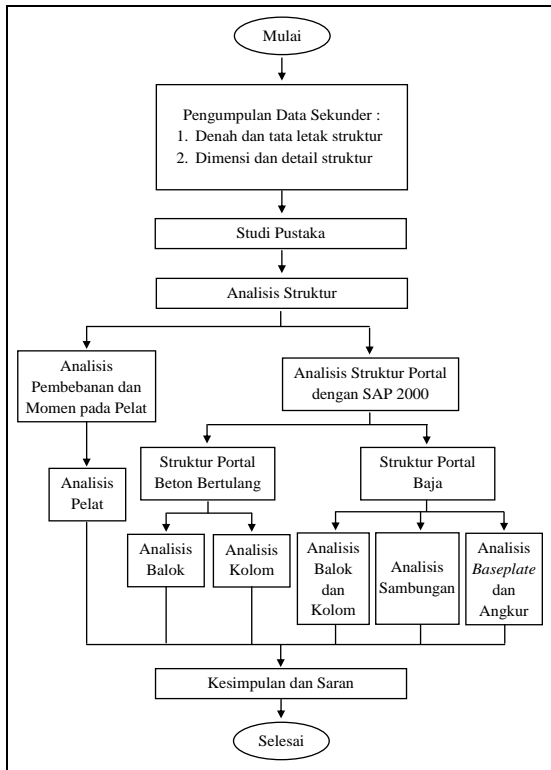
Tabel 4. Material Baja dan Alat Sambung

no	Ukuran	Keterangan
1	WF 450x200x9x14	Kolom Baja
2	WF 250x125x6x9	Balok Baja
3	WF 300x150x6,5x9	Balok Baja
4	WF 350x175x7x11	Balok Baja
5	WF 400x200x8x13	Balok Baja
6	Baut A325 – M20	Alat Sambung
7	Baut A325 – M16	Alat Sambung
8	Angkur Baut Ø22 mm	Angkur
9	Pelat t = 25 mm	Baseplate

Sumber : Data Diolah, 2017

C. Langkah Penelitian

Langkah penelitian yang dilakukan ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 2.



Sumber : Data Diolah, 2017

Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

PEMBAHASAN

A. Data Teknis

Mutu material yang digunakan yaitu :

1. Mutu Beton
K-300, dengan $f_c' = 24,606$ MPa
2. Mutu Baja Tulangan
 - a. f_y (BJTD 40) = 400 MPa
 - b. $E_s = 200000$ MPa
3. Mutu Baja Profil
 - a. f_u (BJ 37) = 370 MPa
 - b. f_y (BJ 37) = 240 MPa
 - c. $E = 200000$ MPa
 - d. $G = 77200$ MPa
4. Mutu Alat Sambung Baut
 - a. f_{nt} (A325) = 620 Mpa
 - b. f_{nv} (A325) = 372 MPa

5. Mutu Alat Sambung Las

$$f_{EXX} (E70XX) = 70 \text{ ksi} = 482,6 \text{ MPa}$$

B. Analisis Pembebanan Pelat

Dari hasil analisis pembebanan pelat menggunakan metode pendekatan PBI 1971, momen ultimit pelat S1 dan S2 ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Momen Struktur Pelat S1

	Zona A (kNm)	Zona B (kNm)	Zona C (kNm)	Momen (kNm)
M_{Ix}	1,977	0,785	0,885	1,977
M_{Iy}	0,903	0,230	0,632	0,903
M_{tx}	-4,155	-1,590	-2,023	-4,155
M_{ty}	-3,080	-1,092	-1,770	-3,080

Sumber : Data Diolah, 2017

Tabel 6. Momen Struktur Pelat S2

	Zona A (kNm)	Zona B (kNm)	Zona C (kNm)	Momen (kNm)
M_{I_x}	2,120	0,842	0,949	2,120
M_{I_y}	0,968	0,246	0,678	0,968
M_{t_x}	-4,455	-1,704	-2,169	-4,455
M_{t_y}	-3,303	-1,170	-1,898	-3,303

Sumber : Data Diolah, 2017

C. Analisis Struktur Portal

Analisis struktur portal dilakukan menggunakan program SAP2000. Hasil dari analisis pembebanan maksimum untuk elemen struktur berupa balok dan kolom dirangkum dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Gaya Dalam Maksimum Struktur Portal Bangunan ATC

Elemen Struktur	P_u (kN)	V_u (kN)		M_u (kN.m)	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
G1	-	105,276	60,919	⁽¹⁾ 165,231	87,819
G2	-	46,834	38,218	⁽¹⁾ 55,776	⁽¹⁾ 35,557
G3	-	22,983	19,806	⁽¹⁾ 21,082	⁽¹⁾ 13,627
B1	-	19,271	31,485	⁽¹⁾ 30,890	⁽¹⁾ 34,135
B3	-	97,554	96,803	⁽¹⁾ 55,061	⁽¹⁾ 47,224
CG	-	90,774	82,644	⁽¹⁾ 162,607	⁽¹⁾ 97,224
LB	-	31,884	23,086	⁽¹⁾ 54,380	⁽¹⁾ 25,698
CB1A	-	24,842	24,042	⁽¹⁾ 9,131	⁽¹⁾ 4,985
K1	1054,002	38,639		92,981	
K2	468,057	16,154		31,110	
K3	40,506	2,073		5,252	
WF 450x200	152,428	35,436	128,439	5,360	
WF 200x100	5,460	5,911	6,132	0,038	
WF 300x150	4,081	29,309	27,121	0,480	
WF 350x175	18,786	35,741	39,538	0,322	
WF 400x200	19,270	86,230	132,265	1,424	

Sumber : Data Diolah, 2017

E. Struktur Balok Beton Bertulang

Hasil analisis balok daerah tumpuan ditunjukkan dalam Tabel 10, sedangkan untuk daerah lapangan/ujung bebas ditunjukkan dalam Tabel 11.

D. Struktur Pelat Beton Bertulang

Hasil analisis pelat daerah lapangan dan tumpuan untuk pelat S1 ditunjukkan dalam Tabel 8 dan untuk pelat S2 ditunjukkan dalam Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Analisis Pelat S1

Keterangan	Lapangan		Tumpuan	
	Sumbu x	Sumbu y	Sumbu x	Sumbu y
M_u (kN.m)	1,977	0,903	4,155	3,080
Dulangan (mm)	10	10	10	10
s (mm)	150	150	150	150
$A_{s,u}$ (mm ²)	523,599	523,599	523,599	523,599
ρ	0,0062	0,0070	0,0062	0,0070
ρ_{min}	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
ρ_{maks}	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167
Syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
$A_{s,min}$ (mm ²)	240	240	240	240
Syarat susut dan suhu	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
M_n (kN.m)	16,754	14,659	16,754	14,659
M_t (kN.m)	15,078	13,193	15,078	13,193
Syarat $M_t > M_n$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
ϵ_c'	0,000322	0,000373	0,000322	0,000373

Sumber : Data Diolah, 2017

Tabel 9. Hasil Analisis Pelat S2

Keterangan	Lapangan		Tumpuan	
	Sumbu x	Sumbu y	Sumbu x	Sumbu y
M_u (kN.m)	2,120	0,968	4,455	3,303
Dulangan (mm)	13	13	13	13
s (mm)	150	150	150	150
$A_{s,u}$ (mm ²)	884,882	884,882	884,882	884,882
ρ	0,0078	0,0088	0,0078	0,0088
ρ_{min}	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
ρ_{maks}	0,0167	0,0167	0,0167	0,0167
Syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
$A_{s,min}$ (mm ²)	300	300	300	300
Syarat susut dan suhu	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
M_n (kN.m)	37,179	32,577	37,179	32,577
M_t (kN.m)	33,461	29,320	33,461	29,320
Syarat $M_t > M_n$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
ϵ_c'	0,000425	0,000494	0,000425	0,000494

Sumber : Data Diolah, 2017

F. Struktur Kolom Beton Bertulang

Hasil analisis kolom K1, K2 dan K3 digambarkan dalam diagram interaksi kolom berturut-turut pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.

Tabel 10. Hasil Analisis Balok Pada Daerah Tumpuan

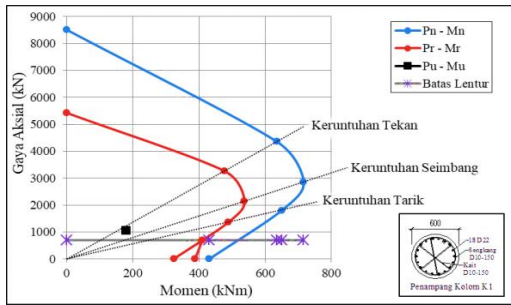
Keterangan	G1	G2	G3	B1	B3	CG	LB	CBIA
M_u (kN.m)	165,231	155,776	21,082	30,890	55,061	162,607	54,380	9,131
D_{tulana} (mm)	22	19	22	16	19	25	16	16
n_{tul} tarik	7	5	5	5	6	9	4	5
n_{tul} tekan	4	3	3	3	3	5	2	3
A_s (mm ²)	2660,929	1417,644	1900,664	1005,310	1701,172	4417,865	804,248	1005,310
A_s' (mm ²)	1520,531	850,586	1140,398	603,186	850,586	2454,369	402,124	603,186
ρ	0,00909	0,00908	0,03110	0,00642	0,01638	0,02208	0,00759	0,00953
ρ'	0,00519	0,00545	0,01866	0,00385	0,00819	0,01227	0,00380	0,00572
$(\rho - \rho')$	0,00390	0,00363	0,01244	0,00257	0,00819	0,00982	0,00380	0,00381
ρ_{min}	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350
ρ_{maks}	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667
$\rho_{min} < (\rho - \rho') < \rho_{maks}$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
a (mm)	54,525	36,150	72,700	25,635	65,069	125,172	38,453	30,762
d_{min} leleh (mm)	155,550	151,725	267,750	147,900	151,725	332,775	147,900	147,900
$a \geq 2d_{min}$ leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh
c (mm)	99,799	80,959	131,834	66,619	103,982	164,899	75,056	73,396
ϵ_t	0,0190	0,0163	0,0040	0,0205	0,0090	0,0091	0,0182	0,0142
$\epsilon_t > 0,005$	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Transisi	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik
f_s' (MPa)	233,263	159,035	255,628	77,623	256,672	361,672	136,349	125,859
M_u (kN.m)	727,231	272,248	184,015	197,133	249,321	1058,614	158,647	155,118
M_u (kN.m)	654,508	245,023	149,577	177,420	224,389	952,753	142,782	139,606
$M_u > M_u$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
V_u (kN)	105,276	46,834	22,983	19,271	97,554	90,774	31,884	24,842
$D_{engkang1}$ (mm)	10	10	10	10	10	13	10	10
$D_{engkang2}$ (mm)	10	-	-	-	-	10	-	-
s_1 (mm)	100	100	100	100	100	100	150	100
s_2 (mm)	300	300	-	-	-	300	-	-
$A_{v,1}$ (mm ²)	157,080	157,080	157,080	157,080	157,080	265,465	157,080	157,080
$A_{v,2}$ (mm ²)	78,540	78,540	-	-	-	78,540	-	-
V_u (kN)	706,703	458,718	243,555	460,040	348,662	985,217	311,100	354,116
V_u (kN)	530,027	344,038	182,666	345,030	261,496	671,413	233,325	265,587

Sumber : Data Diolah, 2017

Tabel 11. Hasil Analisis Balok Pada Daerah Lapangan/Ujung Bebas

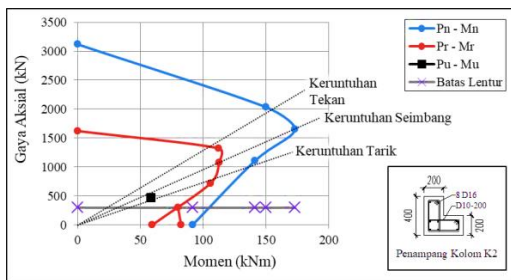
Keterangan	G1	G2	G3	B1	B3	CG	LB	CBIA
M_u (kN.m)	87,819	35,557	13,627	34,135	47,224	97,224	25,698	4,985
D_{tulana} (mm)	22	19	22	16	19	25	16	16
n_{tul} tarik	3	3	3	3	4	5	2	3
n_{tul} tekan	3	0	3	0	2	3	0	0
A_s (mm ²)	1140,398	850,586	1140,398	603,186	1134,115	2454,369	402,124	603,186
A_s' (mm ²)	1140,398	0,000	1140,398	0,000	567,057	1472,622	0,000	0,000
ρ	0,00386	0,00525	0,01758	0,00371	0,01274	0,02003	0,00371	0,00546
ρ'	0,00386	-	0,01758	-	0,00637	0,01202	-	-
$(\rho - \rho')$	0,00000	-	0,00000	-	0,00637	0,00801	-	-
ρ_{min}	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350	0,00350
ρ_{maks}	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667	0,01667
$\rho_{min} < (\rho - \rho') < \rho_{maks}$	Tidak Memenuhi	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
a (mm)	0,000	54,224	0,000	38,453	43,379	62,586	38,453	46,143
d_{min} leleh (mm)	155,550	279,225	267,750	275,400	151,725	167,025	147,900	147,900
$a \geq 2d_{min}$ leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh	Tul. Belum Leleh
c (mm)	62,236	63,793	92,787	45,238	109,052	113,779	45,238	54,286
ϵ_t	0,0326	0,0224	0,0075	0,0329	0,0068	0,0078	0,0329	0,0214
$\epsilon_t > 0,005$	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik	Penampang Tarik
f_s' (MPa)	11,915	-	110,705	-	272,634	254,594	-	-
M_u (kN.m)	324,567	174,672	125,385	126,132	195,992	347,143	84,088	101,077
M_u (kN.m)	292,110	157,205	112,847	113,519	176,330	312,429	75,679	90,969
$M_u > M_u$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
V_u (kN)	60,919	38,218	19,806	31,485	96,803	82,664	23,086	24,042
$D_{engkang1}$ (mm)	10	10	10	10	10	13	10	10
$D_{engkang2}$ (mm)	10	-	-	-	-	-	-	-
s_1 (mm)	150	150	150	150	150	100	200	100
s_2 (mm)	300	-	-	-	-	-	-	-
$A_{v,1}$ (mm ²)	157,080	157,080	157,080	157,080	157,080	265,465	157,080	157,080
$A_{v,2}$ (mm ²)	78,540	-	-	-	-	-	-	-
V_u (kN)	558,825	363,142	190,557	364,150	224,173	548,407	261,686	370,899
V_u (kN)	419,119	272,356	142,918	273,112	168,130	411,305	196,264	278,174

Sumber : Data Diolah, 2017



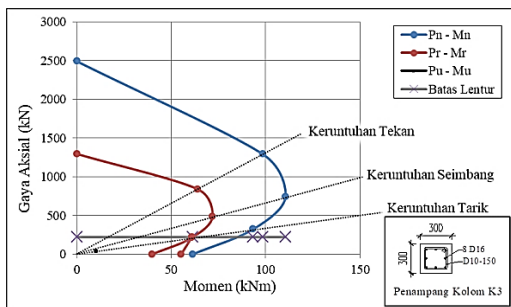
Sumber : Data Diolah, 2017

Gambar 3. Diagram Interaksi K1



Sumber : Data Diolah, 2017

Gambar 4. Diagram Interaksi K2



Sumber : Data Diolah, 2017

Gambar 5. Diagram Interaksi K3

G. Struktur Portal Baja

Struktur kolom pada portal baja menggunakan profil WF 450x200x9x14, sedangkan struktur balok menggunakan profil WF 200x100x6x9, WF 300x150x6.5x9, WF 350x175x7x11 dan WF 400x200x8x13. Hasil analisis struktur portal baja ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Analisis Struktur Portal Baja

Ket.	Profil				
	WF 450x200	WF 200x100	WF 300x150	WF 350x175	WF 400x200
P_u	152,428	5,460	4,081	18,786	19,270
P_r	1062,787	551,437	799,060	1036,880	628,616

Lanjutan Tabel 12. Hasil Analisis Struktur Portal Baja

Ket.	Profil				
	WF 450x200	WF 200x100	WF 300x150	WF 350x175	WF 400x200
M_{ux}	128,439	6,132	27,121	39,538	132,265
M_{rx}	350,242	26,149	112,769	181,623	277,766
M_{uy}	5,360	0,038	0,480	0,322	1,424
M_{ry}	62,326	10,074	22,513	37,250	57,453
P-M	1,086	0,243	0,264	0,235	0,516
Syarat M-P	Tidak memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
V_u	35,436	5,911	29,309	35,741	86,230
V_r	546,912	157,248	263,952	330,624	430,848
$V_u < V_r$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Sumber : Data Diolah, 2018

H. Sambungan Struktur Portal Baja

Sambungan struktur baja menggunakan alat pengencang berupa baut dan las. Hasil analisis pada 4 (empat) tipe sambungan ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Analisis Sambungan Struktur Portal Baja

Keterangan	WF200x100* dan WF300x150**	WF400x200* dan WF400x200**	WF300x150* dan WF400x200**	WF300x150* dan WF350x175**
P_u	5,460	19,270	4,081	4,081
M_u	6,132	132,265	27,121	27,121
V_u	5,911	83,230	29,309	29,309
$M = V_u \cdot e$	0,443	6,898	2,198	2,198
$F = M_u / (h - t_f)$	-	341,769	-	93,200
Sambungan Baut Pada Sambungan Balok I dan Pelat Sambung				
Kekuatan pelat sambung				
a. Komponen sayap				
P_r	-	atas : 506,16 bawah : 406,2	-	305,250
Syarat : $P_r > F$	-	Memenuhi	-	Memenuhi
b. Komponen badan				
V_r	461,376	196,470	295,920	295,920
Syarat : $V_r > V_u$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
M_r	41,062	103,788	81,082	40,541
Syarat : $M_r > M$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Kekuatan alat sambung				
a. Komponen sayap				
R_r	-	577,656	-	246,792
Syarat : $R_r > F$	-	Memenuhi	-	Memenuhi
b. Komponen badan				
Kuat geser baut tunggal				
P	5,910	21,364	8,764	9,378
R_r	43,956	87,912	30,849	30,849
Syarat : $R_r > p$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Kuat geser kelompok baut				
R_r	263,898	505,080	414,180	369,086
Syarat : $R_r > P_u$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
Sambungan Las Pada Sambungan Pelat Sambung dan Balok II				
R_r	327,982	476,004	420,726	420,726
Syarat : $R_r > V_u$	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Sumber : Data Diolah, 2018

I. Baseplate

Kontrol ketebalan *baseplate* dilakukan terhadap sisi tekan dan sisi tarik, dengan detail *baseplate* ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan kontrol tebal *baseplate* terhadap sisi tekan diperoleh tebal minimum (t_p) sebesar 4,709 mm sedangkan terhadap sisi tarik diperoleh tebal minimum (t_p) sebesar 20,128 mm. Tebal *baseplate* yang digunakan (25 mm) sudah mencukupi ketebalan mini-mum yang diperlukan.

J. Baut Angkur

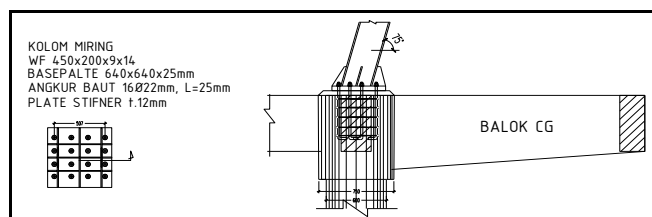
Analisis kekuatan baut angkur dilakukan berdasarkan batas kekuatan baut angkur terhadap gaya tarik dan gaya geser. Berdasarkan keadaan batas kekuatan baut

angkur, kuat tarik baut angkur yang menentukan yaitu $N_{na} = 78,888$ kN (kuat jebol beton terhadap tarik), sedangkan kuat geser baut angkur yang menentukan yaitu $V_{na} = 56,767$ kN (kuat jebol beton terhadap geser).

Interaksi gaya tarik dan geser :

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_{na}} + \frac{V_{ua}}{\phi V_{na}} = 2,213 > 1,2$$

Nilai rasio interaksi gaya sebesar 2,213 melebihi syarat batas rasio interaksi gaya tarik dan geser yaitu sebesar 1,2. Hal ini menunjukkan bahwa angkur tidak mampu menahan beban yang bekerja.



Sumber : PT. Nindya Karya, 2017

Gambar 6. Detail *Baseplate*

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan terhadap struktur bangunan *Air Traffic Control* (ATC) di Bandara Depati Amir Pangkalpinang, kesimpulan yang dapat diambil yaitu :

1. Kemampuan elemen struktur beton bertulang dalam menahan beban yang bekerja dijabarkan sebagai berikut.

- a. Elemen struktur pelat S1 dan S2 mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis pada daerah tumpuan maupun lapangan memenuhi syarat rasio penulangan ($\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$) serta memenuhi syarat kekuatan ($M_r > M_u$).
- b. Elemen struktur balok G2, B3, CG, LB dan CB1A mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis pada daerah tumpuan maupun lapangan memenuhi syarat rasio penulangan ($\rho_{\min} < (\rho - \rho') < \rho_{\max}$) serta syarat kekuatan lentur dan geser ($M_r > M_u$ dan $V_r > V_u$). Pada balok G1 dan G3 mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis pada daerah tumpuan memenuhi syarat rasio penulangan serta syarat kekuatan lentur dan geser, sedangkan pada daerah lapangan tidak memenuhi syarat rasio penulangan namun memenuhi syarat kekuatan lentur dan geser. Pada balok B1 mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis pada daerah tumpuan tidak memenuhi syarat rasio penulangan serta syarat kekuatan lentur dan geser, sedangkan

pada daerah lapangan memenuhi syarat rasio penulangan serta syarat kekuatan lentur dan geser.

- c. Elemen struktur kolom K1, K2 dan K3 mampu menahan beban yang bekerja serta memenuhi syarat kekuatan geser.
2. Kemampuan elemen struktur baja dalam menahan beban yang bekerja dijabarkan sebagai berikut.
 - a. Elemen struktur kolom (WF 450x200) tidak mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis tidak memenuhi syarat interaksi kuat aksial dan lentur namun memenuhi syarat kekuatan geser. Pada struktur balok (WF 200x100, WF 300x150, WF 300x175 dan WF 400x200) mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis memenuhi syarat interaksi kuat aksial dan lentur serta syarat kekuatan geser.
 - b. Sambungan balok pada WF 200x100 dan WF 300x150, WF 400x200 dan WF 400x200, WF 300x150 dan 400x200, serta WF 300x150 dan WF 350x175 mampu menahan beban yang bekerja.
 - c. *Baseplate* mampu menahan beban yang bekerja, dengan ketebalan *baseplate* memenuhi ketebalan minimum yang dibutuhkan.
 - d. Baut angkur tidak mampu menahan beban yang bekerja, dengan hasil analisis tidak memenuhi syarat interaksi kuat tarik dan geser.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk analisis struktur bangunan yaitu melakukan analisis secara keseluruhan struktur, yaitu struktur atas dan struktur bawah bangunan. Selain itu, penelitian dapat dilanjutkan

dengan melakukan perencanaan ulang untuk memperoleh struktur yang ekonomis namun tetap memenuhi kekuatan struktur yang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 1979. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (cetakan ke 7)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.

Anonim. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Diterbitkan Oleh Yayasan Badan Penerbit PU Departemen Pekerjaan Umum.

Anonim. 2012. *SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Anonim. 2013. *SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk*

Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Anonim. 2015. *SNI 1729-2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Asroni, A. 2010a. *Kolom dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Asroni, A. 2010b. *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Dewobroto, W. 2016. *Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010 Edisi ke-2*. Tangerang : Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH.

Setiawan, A. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Penerbit Erlangga.