

ANALISIS KAPASITAS BEBAN KERJA STRUKTUR *LOADING FRAME* 3D DENGAN METODA DESAIN KEKUATAN IZIN BERDASARKAN SNI 1729 - 2015

Adelwin Priyanda¹ dan Hariadi Yulianto²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 15511193@students.uii.ac.id

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: hariadi.yulianto@uui.ac.id

Abstract : *The Loading 3D frame in the laboratory of Structural and mechanical engineering of Universitas Islam Indonesia is used to test compression strength, shear strength, or bending strength of the test material is large enough and need a considerable loading with the hydraulic tools Jack with a capacity of 100 tonnes. 3D frame Loading is a portal structure and there is a rigid connection between the column elements and the beam elements. At the time of giving a large load to test the test objects, of course the elements contained in the 3D loading frame will accept the load anyway and should not receive a larger load of available element capacity. The study aims to analyse the capacity of the elements of bending, tensile elements, shear elements, and the connection elements contained in the loading of 3D frames to analyse the workload capacity of the 3D frame loading structures laboratory structure and engineering Mechanics of Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. This research was conducted based on SNI 1729 – 2015 with several stages, namely the analyze of the structure of the portal loading frame 3D, analyze of the elements capacity with Allowable Strength Design (ASD), analyze of the structure of the workload capacity loading frames 3D, and trial workload capacity structure loading frame 3D to comparison the ratio between style and a capacity of elements ($F/C_{critical}$) approach the value 1.0. The results showed that the most critical element of capacity going on the secondary beam so that has to do trial workload structure loading frame 3D. From the results of the trial the load of hydraulic jack retrieved the workload capacity structure portal frame loading 3D amounted to 90 tons.*

Keywords: *Loading 3D frames, Working load, Allowable Strength Design (ASD).*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Loading frame 3D yang terdapat di Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia digunakan untuk menguji kuat tekan, kuat geser ataupun kuat lentur benda uji yang cukup besar dan butuh pembebanan yang cukup besar dengan alat *hydraulic jack* yang mempunyai kapasitas sebesar 100 ton. *Loading frame* 3D merupakan sistem struktur portal yang terdiri dari kolom dan balok yang saling mengikat dan berhubungan

satu sama lain. Struktur portal terdapat sambungan yang kaku antara kolom dan balok. Pada saat memberi beban yang besar untuk menguji benda uji, tentu saja elemen-elemen yang terdapat pada *loading frame* 3D akan menerima beban pula dan tidak boleh menerima beban yang lebih besar dari kapasitas elemen yang tersedia. Selama ini dalam melakukan pengujian untuk benda uji, beban dari *hydraulic jack* yang digunakan belum pernah mencapai 100 ton karena kapasitas dari *loading frame* 3D itu sendiri belum diketahui. Oleh karena itu, dilakukan analisis kapasitas elemen lentur, elemen

tarik, elemen geser, dan elemen sambungan yang terdapat pada *loading frame* 3D untuk menganalisis kapasitas beban kerja struktur *loading frame* 3D Laboratorium Struktur dan Rekayasa Mekanika Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Dengan diketahuinya kapasitas beban kerja *loading frame* 3D ini dapat menjadi dasar dalam pengembangan alat-alat pengujian yaitu berupa perkuatan *loading frame* 3D jika kapasitas beban kerja lebih rendah dari kapasitas *hydraulic jack* 100 ton. Sebaliknya, jika kapasitas beban kerja lebih besar dari kapasitas *hydraulic jack* 100 ton maka dapat diadakan *hydraulic jack* yang lebih besar kapasitasnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besar kapasitas elemen kolom, balok induk, balok anak, dan sambungan yang dianalisis dengan metoda Desain Kekuatan Izin (DKI) pada saat *hydraulic jack* berada di balok anak dan untuk mengetahui besar kapasitas beban kerja struktur *loading frame* 3D Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia Yogyakarta berdasarkan kapasitas elemen yang paling kritis dengan analisis perbandingan rasio antara gaya dan kapasitas elemen.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Allowable Strength Design (ASD) atau Desain Kekuatan Izin (DKI)

Perencanaan *Allowable Strength Design* (ASD) atau Desain Kekuatan Izin (DKI) dianggap memenuhi syarat jika kuat perlu, R_u lebih kecil dari kuat rencana, ϕR_n dengan ϕ adalah faktor tahanan yang nilainya bervariasi tergantung perilaku aksi komponen yang ditinjau. Jadi konsep dasar ketentuan ASD (Dewobroto, 2015) adalah :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (1)$$

Tinjauan per-elemen diperlukan karena karakter untuk setiap aksi dan perilaku keruntuhannya dapat berbeda-beda. Oleh karena itu, faktor tahanan ϕ dapat berbeda-beda juga, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Faktor Tahanan ϕ Berdasarkan Ketentuan ASD

Komponen Struktur	Faktor Tahanan ϕ
Lentur	1,67
Tekan Aksial	1,67
Tarik Aksial	1,67
Tarik Leleh	
Tarik Fraktur	
Geser	1,67
Sambungan Baut	2,00
Baut Geser	
Baut Tarik	
Kombinasi Geser dan Tarik	
Baut Tumpu	
Sambungan Las	1,67
Las Tumpul Penetrasi Penuh	
Las Sudut / Tumpul Penetrasi	
Sebagian	
Las Pengisi	

Sumber: SNI 1729 – 2015

2.2 Kapasitas Elemen Tarik

2.2.1 Kondisi Leleh dari Luas Penampang Kotor

Kapasitas tarik dari kriteria leleh (*yield*) penampang kotor.

$$P_n / \phi = A_g \times f_y \quad (2)$$

Dengan :

A_g = Luas penampang kotor, f_y = Kuat leleh material

2.2.2 Kondisi Fraktur dari Luas Penampang Efektif pada Sambungan

Kapasitas tarik dari kriteria fraktur penampang efektif.

$$P_n / \phi = A_e \times f_u \quad (3)$$

Dengan :

A_e = Luas penampang efektif = $U \times A_n$, A_n = Luas netto penampang, U = koefisien reduksi (*shear lag factor*) = $1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0,9$, \bar{x} = Eksentrisitas sambungan, L = Panjang sambungan dalam arah gaya tarik, f_u = tegangan tarik putus.

2.3 Kapasitas Elemen Lentur

Komponen struktur yang memikul lentur harus memenuhi persamaan :

$$M_n / \phi \geq M_u \quad (4)$$

Dimana :

M_u = Momen lentur akibat beban terfaktor, ϕ = Faktor reduksi yang nilainya 1,67, M_n = Kuat lentur nominal penampang.

Batas panjang bentang yang telah ditentukan diantaranya adalah (SNI 1729 – 2015) :

1. Batas panjang plastis (L_p)

$$L_p = 1,76r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (5)$$

2. Batas panjang elastis (L_r)

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,7f_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2 + 6,76\left(\frac{0,7f_y}{E}\right)^2}} \quad (6)$$

Dimana :

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12\left(1 + \frac{1}{6} \frac{ht_w}{b_f t_f}\right)}} \quad (6)$$

Nilai koefisien c

Untuk profil I simetris ganda, $c = 1$

Untuk kanal $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

Dengan :

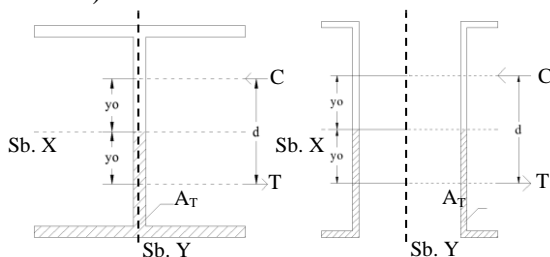
E = Modulus elastis baja = 200.000, J = konstanta torsi, S_x = Modulus penampang elastis yang diambil di sumbu x, h_o = Jarak antara titik berat sayap.

2.3.1 Komponen Struktur Profil I dan Kanal Melengkung Di Sumbu Mayor (Arah X)

Terdapat tiga macam bentang yang diantaranya :

1. Bentang pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_b \leq L_p$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur (SNI 1729 – 2015) adalah :



Gambar 1 Bentuk Profil Untuk Mencari Modulus Penampang Plastis Sumbu X

$$M_n = M_p = f_y \times Z_x \quad (8)$$

Dimana :

f_y = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan, M_p = Momen pada sendi plastis, Z_x = Modulus penampang plastis pada sumbu X = $d \times A_T$, d = Jarak lengan dari titik berat penampang daerah tarik ke titik berat penampang daerah tekan = $2 \times y_o$, A_T = Luas penampang dari daerah tarik.

2. Bentang menengah

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_p \leq L_b \leq L_r$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur (SNI 1729 – 2015) adalah :

$$M_n = C_b [M_p - (M_p - 0,7f_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)] \leq M_p \quad (9)$$

Dimana :

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (10)$$

Dengan :

M_{maks} = Nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tanpa dibresing, M_A = Nilai mutlak momen pada titik seperempat dari segmen tanpa dibresing, M_B = Nilai mutlak momen pada sumbu segmen tanpa dibresing, M_C = Nilai mutlak momen pada titik tiga-perempat segmen tanpa dibresing.

3. Bentang panjang

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_r \leq L_b$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur (SNI 1729 – 2015) adalah :

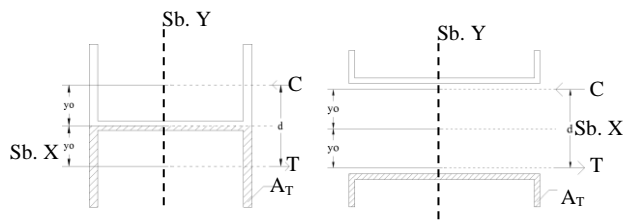
$$M_n = f_{cr} \times S_x \leq M_p \quad (11)$$

Dimana :

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (12)$$

2.3.2 Komponen Struktur Profil I dan Kanal Melengkung Di Sumbu Minor (Arah Y)

Kuat lentur nominal (M_n) dihasilkan akibat kondisi batas material leleh (momen plastis) (SNI 1729 – 2015) adalah :



Gambar 2 Bentuk Profil Untuk Mencari Modulus Penampang Plastis Sumbu Y

$$M_n = M_p = f_y \times Z_y \leq 1,6 \times f_y \times S_y \quad (13)$$

Dimana :

Z_y = Modulus penampang plastis pada sumbu Y, S_y = Modulus penampang elastis pada sumbu Y.

2.3.3 Komponen Struktur Simetri Menahan Lentur dan Gaya Aksial

Interaksi momen lentur dan gaya aksial harus dibatasi oleh :

1. Jika $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ maka :

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (14)$$

2. Jika $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$ maka :

$$\frac{P_u}{2P_c} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (15)$$

Dimana :

P_r = Kekuatan aksial perlu elemen struktur, $P_c = P_n / \phi_t$ = Kekuatan aksial izin elemen struktur, M_r = Kekuatan lentur perlu elemen struktur, $M_c = M_n / \phi_t$ = Kekuatan lentur izin elemen struktur, ϕ_t = faktor keamanan untuk tarik atau tekan = 1,67, ϕ_t = faktor keamanan untuk lentur = 1,67, x = indeks untuk momen lentur terhadap sumbu mayor penampang, y = indeks untuk momen lentur terhadap sumbu minor penampang.

2.4 Kapasitas Geser

Kuat geser nominal balok dalam menahan geser (SNI 1729 – 2015) adalah

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v \quad (16)$$

Rumus tersebut berlaku untuk geser pada sumbu mayor (Arah X) maupun sumbu minor (Arah Y).

Dimana :

Untuk sumbu mayor (Arah X)

$A_w = H \times t_w$ = luas total pelat badan, tinggi keseluruhan dikalikan dengan ketebalan badan

Dan untuk sumbu minor (Arah Y)

$A_w = B \times t_f$ = luas total sayap, lebar keseluruhan dikalikan dengan ketebalan sayap.

Koefisien geser pelat badan, C_v , adalah faktor reduksi untuk mengantisipasi terjadinya tekuk di pelat badan (SNI 1729 – 2015) sebagai berikut :

1. Pelat badan profil-I canai panas dengan $h/t_w \leq 2,24 \sqrt{E/f_y}$ maka

$$C_v = 1,0$$

2. Profil yang tidak memenuhi persyaratan diatas, tapi simetri ganda atau tunggal maka C_v ditentukan dari kelangsingan pelat badan atau rasio h/t_w dalam tiga kategori.

- a. Jika $h/t_w \leq 1,10 \sqrt{k_v E / f_y}$, maka kuat geser nominal dibatasi adanya leleh pada pelat badan, tidak ada pengaruh tekuk

$$C_v = 1,0$$

- b. Jika $1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$, maka kuat geser nominal mulai dipengaruhi oleh tekuk yang terjadi pada pelat badan

$$C_v = \frac{1,10 \sqrt{k_v E / f_y}}{h/t_w} \quad (17)$$

- c. Jika $h/t_w > 1,37 \sqrt{k_v E / f_y}$, maka kuat geser nominal ditentukan oleh terjadinya tekuk elastis pada pelat badan

$$C_v = \frac{1,51 k_v E}{(h/t_w)^2 f_y} \quad (18)$$

Dimana :

H = Untuk profil canai panas, jarak bersih antara sayap dikurangi jari-jari sudut atau las sudut, t_w = ketebalan badan.

Koefisien tekuk geser pelat badan, k_v , (SNI 1729 – 2015) ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk badan tanpa pengaku transversal dan dengan $h/t_w < 260$

$$k_v = 5$$

Kecuali untuk badan profil T dimana

$$k_v = 1,2$$

2. Untuk badan dengan pengaku transversal

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a+h)^2} = 5 \text{ bila } a/h > 3,0$$

$$\text{atau } \frac{a}{h} > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2$$

Dimana :

a = Jarak bersih antara pengaku transversal.

2.5 Kapasitas Sambungan

2.5.1 Kekuatan Geser dari Baut

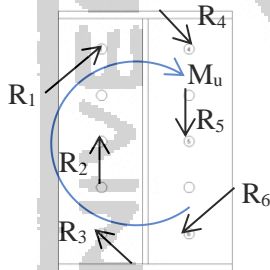
Rumus kuat baut per satu (1) bidang geser (SNI 1729 – 2015) adalah

$$R_n = f_{nv} \times A_b \quad (19)$$

Dimana :

A_b = Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir, f_{nv} = Tegangan geser

2.5.2 Gaya Momen Pada Sambungan



Gambar 3 Gaya Geser Yang Terjadi Akibat Momen

Karena $d^2 = x^2 + y^2$, maka secara umum dapat dituliskan lagi

$$R_x = \frac{M \times y}{\sum x^2 + \sum y^2} \quad (20)$$

$$R_y = \frac{M \times x}{\sum x^2 + \sum y^2} \quad (21)$$

Dengan hukum penjumlahan vektor, maka gaya R didapatkan dari

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (22)$$

Pengaruh gaya R_v memberikan kontribusi gaya kepada tiap baut sebesar

$$R_v = \frac{P}{\sum N} \quad (23)$$

Dengan N adalah jumlah baut. Dan total resultan gaya pada tiap baut yang mengalami gaya eksentris adalah

$$R = \sqrt{R_x^2 + (R_y + R_v)^2} \quad (24)$$

2.5.3 Kekuatan Tumpu Baut

1. Untuk baut dalam sambungan dengan tipe standar, *oversized*, lubang slot-pendek dan lubang slot-panjang dengan arah slot sejajar dengan gaya.

- a. Bila deformasi yang terjadi pada sambungan berpengaruh. Maka persamaannya seperti berikut.

$$R_n = 1,2 \times l_c \times t \times F_u \leq 2,4 \times d \times t \times f_u$$

- b. Bila deformasi yang terjadi pada sambungan tidak berpengaruh. Maka persamaannya seperti berikut.

$$R_n = 1,5 \times l_c \times t \times F_u \leq 3,0 \times d \times t \times f_u$$

2. Untuk baut dalam sambungan dengan tipe slot-panjang dengan slot tersebut tegak lurus dengan arah dari gaya. Maka persamaannya seperti berikut.

$$R_n = 1,0 \times l_c \times t \times F_u \leq 2,0 \times d \times t \times f_u$$

Dimana :

f_u = Kekuatan tarik minimum baja pelat yang di tinjau, d = Diameter baut nominal, l_c = Jarak bersih searah gaya, dari tepi lubang ke tepi pelat terluar (untuk baut pinggir) atau jarak bersih antar tepi lubang (untuk baut dalam), t = Ketebalan dari material yang disambung.

2.5.4 Kekuatan Geser Blok

Kekuatan yang tersedia untuk keadaan batas keruntuhan blok geser harus diambil sebesar (Dewobroto, 2015)

$$R_n = 0,6.F_u.A_{nv} + U_{bs}.F_u.A_{nt} \leq 0,6.F_y.A_{gv} + U_{bs}.F_u.A_{nt} \quad (28)$$

Dimana :

F_u = Kuat tarik minimum pelat sambungan, F_y = Kuat leleh minimum pelat sambungan, A_{nv} = Luas netto (dengan lubang) potongan mengalami gaya geser, A_{gv} = Luas utuh (tanpa lubang) potongan mengalami gaya geser, A_{nt} = Luas netto (dengan lubang)

potongan mengalami gaya tarik, U_{bs} = Untuk tegangan tarik merata (*uniform*), $U_{bs} = 1,0$; Untuk tegangan tarik yang tidak merata (*gradien*), $U_{bs} = 0,5$

2.5.5 Kekuatan Tarik Dari Baut

Rumus kuat baut per satu (1) bidang geser (SNI 1729 – 2015) adalah

$$R_n = f_{nt} \times A_b \quad (29)$$

Dimana :

A_b = Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir, f_{nt} = Tegangan tarik

2.5.6 Kuat Baut Angkur Terhadap Tarik

Kuat tarik rencana baut angkur, R_n / ϕ , dihitung sebagai berikut :

$$R_n / \phi = (A_{angkur} \times f_{nt}) / \phi \quad (29)$$

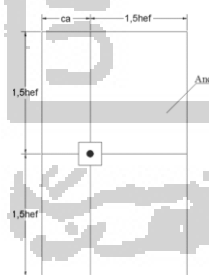
Dimana :

R_n = kuat raik nominal angkur, ϕ = faktor reduksi kuat angkur terhadap tarik yaitu 2,0, A_{angkur} = Luas penampang angkur terhadap tarik, f_{nt} = Tegangan tarik angkur.

2.5.7 Kuat Jebol (*Breakout*) Beton Terhadap Tarik

Kuat jebol beton nominal terhadap tarik dari angkur dapat dihitung sebagai berikut :

$$N_{cb} = \frac{A_{nc}}{A_{nco}} \times y_{ed,N} \times y_{c,N} \times y_{cp,N} \times N_b \quad (30)$$



Gambar 4 Luas Kerusakan Beton Terproyeksi, A_{nc}

Angkur dengan $c_a < 1,5h_{ef}$ maka

$$A_{nc} = (2 \times 1,5h_{ef}) \times (c_a + 1,5h_{ef}) \quad (31)$$

Jika angkur dengan $c_a \geq 1,5h_{ef}$ maka

$$A_{nc} = A_{nco} = 1,0 \quad (32)$$

Luas proyeksi maksimum kerusakan angkur, A_{nco} , mm^2 , dapat dihitung sebagai berikut.

$$A_{nco} = (2 \times 1,5h_{ef}) \times (2 \times 1,5h_{ef}) = 9h_{ef}^2$$

Faktor modifikasi untuk memperhitungkan pengaruh angkur di bagian pinggir pondasi, $y_{ed,N}$.

Jika $c_a \geq 1,5h_{ef}$ maka

$$y_{ed,N} = 1,0$$

Jika $c_a < 1,5h_{ef}$ maka

$$y_{ed,N} = 0,7 + 0,3 \frac{c_a}{1,5h_{ef}} \quad (33)$$

kuat tarik dapat ditingkatkan lagi dengan faktor modifikasi, yaitu

- $y_{c,N} = 1,25$ untuk angkur cor di tempat
- $y_{c,N} = 1,4$ untuk angkur pasca pasang.

Perlu memperhitungkan adanya tegangan tarik belah saat pemasangannya. Untuk memperhitungkannya dipergunakan faktor modifikasi $y_{cp,N}$. Angkur tipe cor ditempat nilai $y_{cp,N} = 1,0$.

Kuat dasar jebol (*breakout*) beton angkur terhadap tarik pada kondisi beton retak, N_b dapat dihitung sebagai berikut.

$$N_b = k_c \times l_a \times \sqrt{f'c} \times h_{ef}^{1,5} \quad (34)$$

Dimana :

$k_c = 10$ untuk angkur tipe cor di tempat, $k_c = 7$ untuk angkur tipe pasca pasang, l_a = faktor modifikasi untuk material beton ringan, untuk angkur cor di tempat maka $l_a = 1$. Beton normal $l = 1$, untuk beton ringan $l = 0,75 - 0,85$

2.5.8 Kuat Cabut (*Pullout*) Angkur dari Beton

Kuat cabut rencana terhadap gaya tarik, R_n / ϕ , dapat dihitung sebagai berikut.

$$R_n / \phi = (8 \times A \times f'c \times y_{cp,N}) / \phi \quad (35)$$

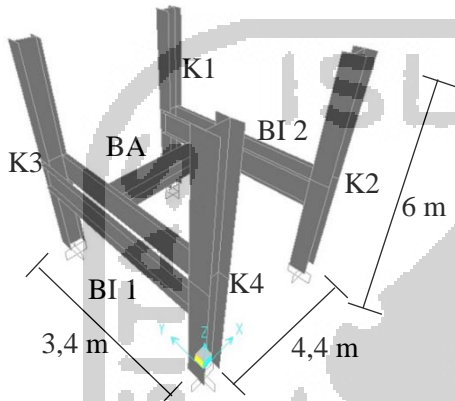
Dimana :

A = Luas tumpu netto dari angkur kepala segienam, $f'c$ = Kuat tekan beton, $y_{cp,N}$ = faktor modifikasi untuk angkur pada daerah yang secara analisis belum timbul retak pada kondisi beban kerja. Jika telah retak maka $y_{cp,N} = 1,0$

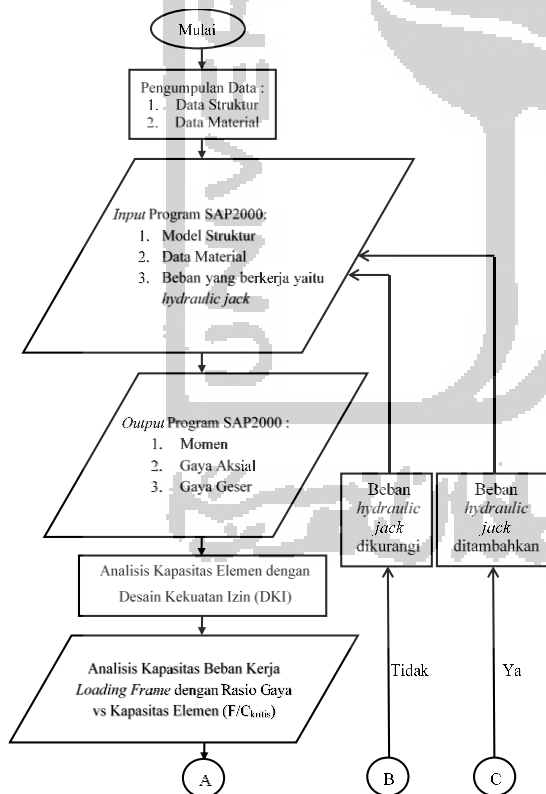
3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

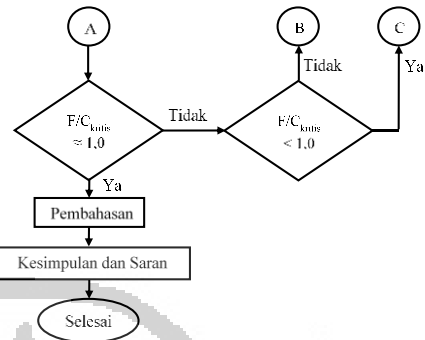
Gambar pemodelan tiga dimensi (3D) struktur portal *loading frame* 3D Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 5 Tampak *Loading Frame* Tiga Dimensi (3D)



Gambar 6 Flow Chart Tahapan Penelitian



Lanjutan Gambar 7 Flow Chart Tahapan Penelitian

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Mutu Material

Mutu material pada baja profil yang digunakan pada struktur portal ini adalah tegangan leleh (f_y) sebesar 323 MPa, tegangan ultimit (f_u) sebesar 461 MPa, dan modulus elastisitas (E) sebesar 200.000 MPa. Baut yang digunakan pada struktur portal ini adalah tipe Baut A325 yang mempunyai tegangan tarik (f_{nt}) sebesar 620 MPa dan tegangan geser (f_{nv}) sebesar 372 MPa. Kuat tekan beton (f'_c) yang digunakan untuk sambungan *base plate* sebesar 45 MPa.

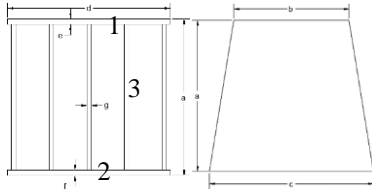
4.2 Dimensi Elemen

Dimensi untuk tiap elemen yang terdapat *loading frame* 3D dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Data Dimensi Elemen

Elemen	H	B	t_w	t_f
	mm	mm	mm	mm
Kolom 1	402,67	400,67	13,50	21,11
Kolom 2	402,67	400,33	13,60	21,08
Kolom 3	402,00	402,33	13,35	21,07
Kolom 4	402,00	400,33	13,43	21,07
BI 1	601,67	612,67	11,36	17,69
BI 2	600,83	612,67	11,73	17,72
BA	401,33	400,67	14,27	21,23

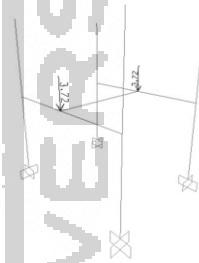
Elemen yang berada di sambungan balok induk – balok anak



Gambar 8 Elemen Yang Berada di Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Tabel 3 Data Penampang Profil Elemen Yang Berada di Sambungan Balok Induk – Balok Anak

No	Dimensi	Nilai	Satuan
1	a	650	mm
2	b	493	mm
3	c	701	mm
4	d	669	mm
5	e	22	mm
6	f	21,4	mm
7	g	17,11	mm



Gambar 9 Elemen Yang Berada di Sambungan Balok Induk – Balok Anak Setelah Menjadi Beban Titik

4.3 Analisis Kapasitas Beban Kerja Struktur *Loading Frame 3D*

4.3.1 Kapasitas Elemen Tarik

Tabel 4 Rekapitulasi Perbandingan Rasio Gaya dan Kapasitas Elemen Tarik

Elemen	$F = P_u$ (kN)	C (kN)	F/C	Keterangan
Kolom 1	233,08	597,37	0,39	Aman
Kolom 2	233,05	601,04	0,39	Aman
Kolom 3	233,26	587,91	0,40	Aman
Kolom 4	233,01	599,94	0,39	Aman
Balok Induk 1	58,27	1508,69	0,04	Aman
Balok Induk 2	57,88	1554,88	0,04	Aman

4.3.2 Kapasitas Elemen Lentur

Tabel 5 Rekapitulasi Perbandingan Rasio Gaya dan Kapasitas Elemen Lentur

Elemen	$F = M_u$ (kNm)	C (kNm)	F/C	Keterangan
Sumbu Arah X				
Kolom 1	95,49	395,52	0,24	Aman
Kolom 2	95,58	396,21	0,24	Aman
Kolom 3	95,58	397,47	0,24	Aman
Kolom 4	95,46	393,06	0,24	Aman
Balok Induk 1	436,29	760,35	0,57	Aman
Balok Induk 2	436,84	778,19	0,56	Aman
Balok Anak	786,30	713,37	1,10	Tidak Aman
Sumbu Arah Y				
Kolom 1	107,21	330,93	0,32	Aman
Kolom 2	107,11	330,05	0,32	Aman
Kolom 3	108,21	332,94	0,33	Aman
Kolom 4	107,65	329,71	0,33	Aman
Balok Induk 1	95,81	879,28	0,11	Aman
Balok Induk 2	95,80	896,60	0,11	Aman

4.3.3 Interaksi Kombinasi Lentur dan Gaya Aksial

Tabel 6 Rekapitulasi Interaksi Kombinasi Lentur dan Gaya Aksial

Elemen	F/C	Keterangan
Kolom 1	0,76	Aman
Kolom 2	0,76	Aman
Kolom 3	0,76	Aman
Kolom 4	0,76	Aman
Balok Induk 1	0,70	Aman
Balok Induk 2	0,69	Aman

4.3.4 Kapasitas Elemen Geser

Tabel 7 Rekapitulasi Perbandingan Rasio Gaya dan Kapasitas Elemen Geser

Elemen	$F = V_u$ (kN)	C (kN)	F/C	Keterangan
Sumbu Arah X				
Kolom 1	43,52	630,94	0,07	Aman
Kolom 2	43,56	635,62	0,07	Aman
Kolom 3	43,57	622,90	0,07	Aman
Kolom 4	43,52	626,79	0,07	Aman
Balok Induk 1	241,62	793,08	0,30	Aman
Balok Induk 2	241,50	818,25	0,30	Aman
Balok Anak	490,34	664,57	0,74	Aman
Sumbu Arah Y				
Kolom 1	57,82	1963,26	0,03	Aman
Kolom 2	57,88	1959,31	0,03	Aman
Kolom 3	58,27	1967,54	0,03	Aman
Kolom 4	58,21	1957,76	0,03	Aman

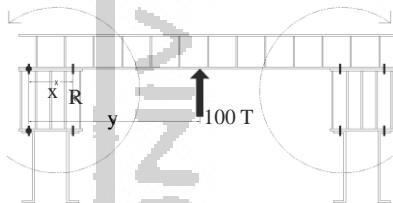
4.3.5 Kapasitas Elemen Sambungan

1. Sambungan Kolom – Balok Induk

Tabel 8 Rekapitulasi Perbandingan Rasio Gaya dan Kapasitas Elemen Sambungan Kolom – Balok Induk

Elemen	F = R _u (kN)	C (kN)	F / C	Keterangan
Kapasitas Baut Terhadap Geser				
Kolom 1	538,47	804,37	0,67	Aman
Kolom 2	537,94	804,37	0,67	Aman
Kolom 3	543,38	804,37	0,68	Aman
Kolom 4	540,61	804,37	0,67	Aman
Kapasitas Tumpu Baut				
Kolom 1	538,47	3748,35	0,14	Aman
Kolom 2	537,94	3743,91	0,14	Aman
Kolom 3	543,38	3740,95	0,15	Aman
Kolom 4	540,61	3740,95	0,14	Aman
Kapasitas Geser Blok				
Kolom	543,38	3133,66	0,17	Aman

2. Sambungan Balok Induk – Balok Anak



Gambar 10 Gaya – Gaya Dalam Yang Terjadi Akibat Gaya Luar Pada Sambungan Pada Balok Induk – Balok Anak

Kapasitas Baut Terhadap Tarik

$$F = M_u = 357,96 \text{ k}$$

$$C = M_n / \phi = 446,87 \text{ kN}$$

$$F / C = 0,80 \leq 1,0 \text{ (Aman)}$$

3. Sambungan Base Plate

Tabel 9 Rekapitulasi Perbandingan Rasio Gaya dan Kapasitas Elemen Sambungan Base Plate

Pola Keruntuhan	F = R _u (kN)	C (kN)	F / C	Keterangan
Kapasitas Base Plate Terhadap Momen	6,13	1209,68	0,01	Aman
Kapasitas Angkur Terhadap Tarik	57,27	111,72	0,51	Aman
Kuat Jebol (Breakout) Beton Terhadap Tarik	57,27	994,37	0,06	Aman
Kuat Cabut (Pullout) Angkur dari Beton	57,27	71,53	0,80	Aman

4.4 Trial Kapasitas Beban Kerja Struktur Loading Frame 3D

Pola keruntuhan yang memiliki rasio perbandingan antara gaya dan kapasitas elemen yang melebihi nilai 1,0 dapat dilihat pada Tabel 10

Tabel 10 Pola Keruntuhan Yang Memiliki Rasio Perbandingan Gaya dan Kapasitas Elemen Lebih Dari Nilai 1,0

Pola Keruntuhan	Elemen	F (kNm)	C (kNm)	F / C
Kapasitas Lentur	Balok Anak	786,3	713,37	1,10

4.4.1 Trial Kapasitas Beban Kerja Loading Frame 3D (Trial ke-1 Beban 95 Ton)

Tabel 11 Hasil Output Program SAP2000 dari Balok Anak (Beban 95 Ton)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m	Text	m
BA	0,425	D+L	Combination	82,71	462,171	0,056	0,00001154	0,1005	41,9569	21-1	0
BA	0,425	D+L	Combination	82,71	463,084	0,056	0,00001154	0,0815	-154,6599	21-1	0,425
BA	0,85	D+L	Combination	82,71	463,997	0,056	0,00001154	0,0575	-351,6646	21-1	0,85
BA	1,275	D+L	Combination	82,71	464,909	0,056	0,00001154	0,0335	-548,0521	21-1	1,275
BA	1,7	D+L	Combination	82,71	465,822	0,056	0,00001154	0,0095	-746,8371	21-1	1,7
BA	1,7	D+L	Combination	82,71	-465,81	0,056	0,00001154	0,0095	-746,8371	21-1	1,7
BA	2,125	D+L	Combination	82,71	-464,897	0,056	0,00001154	-0,0145	-548,0522	21-1	2,125
BA	2,55	D+L	Combination	82,71	-463,985	0,056	0,00001154	-0,0385	-351,6748	21-1	2,55
BA	2,975	D+L	Combination	82,71	-463,072	0,056	0,00001154	-0,0625	-154,6732	21-1	2,975
BA	3,4	D+L	Combination	82,71	-462,159	0,056	0,00001154	-0,0865	41,9365	21-1	3,4

$$F = M_3 = 746,84 \text{ kNm}$$

$$C_{\text{kritis}} = 713,37 \text{ kNm}$$

$$F / C_{\text{kritis}} = 1,05 \leq 1,0 \text{ (Masih Butuh Trial)}$$

4.4.2 Trial Kapasitas Beban Kerja Loading Frame 3D (Trial ke-2 Beban 90 Ton)

Tabel 12 Hasil Output Program SAP2000 dari Balok Anak (Beban 90 Ton)

Frame	Station	Output	Case	Type	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame	Elemen	Station
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m	
BA	0 D + L	LinStatic	78.334	437,655	0,053	1,09E-05	0,0998	39,737	21-1				0
BA	0,425 D + L	LinStatic	78.334	438,567	0,053	1,09E-05	0,0771	-146,46	21-1				0,425
BA	0,85 D + L	LinStatic	78.334	439,48	0,053	1,09E-05	0,0544	-333,045	21-1				0,85
BA	1,275 D + L	LinStatic	78.334	440,392	0,053	1,09E-05	0,0317	-520,018	21-1				1,275
BA	1,7 D + L	LinStatic	78.334	441,305	0,053	1,09E-05	-0,009	-707,37	21-1				1,7
BA	1,7 D + L	LinStatic	78.334	-441,294	0,053	1,09E-05	0,009	707,37	21-1				1,7
BA	2,125 D + L	LinStatic	78.334	-440,381	0,053	1,09E-05	-0,0137	-520,023	21-1				2,125
BA	2,55 D + L	LinStatic	78.334	-439,468	0,053	1,09E-05	-0,0364	-333,055	21-1				2,55
BA	2,975 D + L	LinStatic	78.334	-438,556	0,053	1,09E-05	-0,0591	-146,475	21-1				2,975
BA	3,4 D + L	LinStatic	78.334	-437,643	0,053	1,09E-05	-0,0818	-39,717	21-1				3,4

$$F = M_3 = 707,38 \text{ kN}$$

$$C_{\text{kritis}} = 713,37 \text{ kN}$$

$$F / C_{\text{kritis}} = 0,9916 \leq 1,0 \text{ (Aman)}$$

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Besar kapasitas kolom, balok induk, balok anak, dan sambungan yang diperoleh dari hasil analisis dan dapat digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut.
 - a. Besar kapasitas kolom dapat dilihat pada Tabel 14 berikut.

Tabel 13 Kapasitas Kolom

Kekuatan	Kapasitas (C)	Satuan
Kuat Tarik	587,91	kN
Kuat Lentur	329,71	kNm
Kuat Geser	622,90	kN

- b. Besar kapasitas balok induk dapat dilihat pada Tabel 15 berikut.

Tabel 14 Kapasitas Balok Induk

Kekuatan	Kapasitas (C)	Satuan
Kuat Tarik	1508,69	kN
Kuat Lentur	760,35	kNm
Kuat Geser	793,08	kN

- c. Besar kapasitas balok anak dapat dilihat pada Tabel 16 berikut.

Tabel 15 Kapasitas Elemen Geser

Kekuatan	Kapasitas (C)	Satuan
Kuat Lentur	713,37	kNm
Kuat Geser	664,57	kN

- d. Besar kapasitas sambungan dapat dilihat pada Tabel 17 berikut.

Tabel 16 Kapasitas Elemen Sambungan

Jenis Sambungan	Pola Keruntuhan	Kapasitas (C)	Satuan
Sambungan Kolom – Balok Induk	Kapasitas Baut Terhadap Geser	804,37	kN
Sambungan Balok Induk – Balok Anak	Kapasitas Baut Terhadap Tarik	446,87	kN
Sambungan Base Plate	Kapasitas Angkur Terhadap Tarik	111,72	kN

2. Besar kapasitas beban kerja struktur *loading frame* 3D Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia Yogyakarta berdasarkan kapasitas elemen yang paling kritis adalah 90 Ton.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Dengan diketahuinya kapasitas beban kerja struktur *loading frame* 3D Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia Yogyakarta sebesar 90 Ton diharapkan dapat dilakukan pengembangan alat-alat pengujian yaitu berupa perkuatan *loading frame* 3D dan penelitian mengenai *redesign loading frame* 3D Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

4. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)*. Jakarta: BSN.
- Dewobroto, W. (2015). *Struktur Baja; Perilaku, Analisis & Desain - AISC 2010*. Tangerang: Lumina Press.
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002)*. Jakarta: Penebit Erlangga.