

# METODE PENDEKATAN ANALISA TINGKAT LAYAN STRUKTUR ATAP RANGKA RUANG (SPACE FRAME)

(Studi Kasus : Masjid Kampus Tegal Boto Universitas Jember)

**UZI PURNOMO**

**Dosen Pembimbing :**

**Ir. Pujo Priyono, MT<sup>1</sup> : Ir. Totok Dwi K, MT<sup>2</sup>**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember. Jalan Karimata 49, Jember 68121, Jawa Timur, Indonesia

**E-mail :** [Purnomouzi@gmail.com](mailto:Purnomouzi@gmail.com)

## Abstrak

Seperti yang kita ketahui bahwasanya banyak sekali bentuk atap yang umum diterapkan untuk atap masjid antara lain atap berbentuk kubah, berbentuk segitiga, ataupun typical rangka payung dan masih banyak lagi. Struktur rangka terdiri dari elemen lurus yang saling berhubung satu sama lain membentuk geometri sedemikian rupa sehingga mendapatkan stabilitas struktur. Rangka batang umumnya didesain dengan baja yang disambungkan menggunakan baut dan plat buhul atau dengan sambungan las, sehingga struktur menjadi kaku. Dalam falsafah baja dikatakan bahwasanya struktur baja mempunyai sifat lemah terhadap tekuk namun kuat terhadap tarik. Dalam penerapan teknis rangka batang sering dijumpai bahwasanya sambungan antar rangka diasumsikan menjadi sendi, maka elemen batang hanya akan mengalami Tarik atau Tekan. Alasan dari penulis mencoba untuk mengusulkan bagaimana metode pendekatan analisa tingkat layan struktur atap rangka ruang (Space Frame) masjid Universitas Jember ini dikarenakan bentuk struktur rangka payung ini mempunyai kelemahan disaat dilakukan blok data SAP2000, dengan analisa struktur Space Frame yang rumit dan membuat blok datanya juga rumit. Analisa rangka batangnya pada akhirnya juga akan membutuhkan dimensi yang tidak harus mengikuti sesuai gaya dalam yang terjadi. Dari hasil analisis yang ada didapatkan gaya dalam terbesar terjadi pada pipa D6 segmen 10 dengan Axial force ( $p$ ) = -171,013, total rasio = 0,705, location = 1,428 m, dan terjadi tegangan dan defleksi yang bervariasi ditiap batangnya, untuk pembebanannya pun dilakukan pada tiap join dengan beban mati, hidup, angin dan hujan yang bervariasi di tiap batangnya. Dari hasil analisa dan perhitungan yang ada maka bisa dideklarasikan struktur dengan metode pendekatan yang ada, aman digunakan.

**Kata Kunci :** Rangka Ruang (Space Frame), Rangka Batang, SAP2000

## PENDAHULUAN

Pembangunan masjid selain kekuatan juga memperhatikan segi keindahan, dalam penerapan keindahannya suatu masjid salah satunya berada pada struktur atap, seperti yang kita ketahui bahwasanya banyak sekali bentuk atap yang biasa diterapkan untuk atap masjid antara lain atap berbentuk kubah, berbentuk segi tiga, ataupun typical rangka payung dan masih banyak lagi. Gedung masjid kampus tegal boto Universitas Jember ini dibangun dengan memperhatikan keindahan dari struktur atap dimana strukturnya dibuat dengan material ringan, dari rangka baja pipa tapi mempunyai bentuk yang unik dan

kompleks, yaitu dengan berbentuk menyerupai payung, dan tergolong sebagai bangunan bentang lebar.

Bangunan bentang lebar merupakan bangunan yang memungkinkan penggunaan ruang bebas kolom yang selebar dan sepanjang mungkin. Bangunan bentang lebar secara umum terdiri dari 2 yaitu bentang lebar sederhana dan bentang lebar kompleks. Bentang lebar sederhana berarti bahwa konstruksi bentang lebar yang ada dipergunakan langsung pada bangunan berdasarkan teori dasar dan tidak dilakukan modifikasi pada bentuk yang ada. Sedangkan bentang lebar kompleks merupakan bentuk struktur bentang lebar yang melakukan modifikasi dari bentuk dasar, bahkan kadang

dilakukan penggabungan terhadap beberapa sistem struktur bentang lebar.

Sistem rangka ruang adalah struktur sistem rangka tiga dimensi yang membentang dua arah, dimana batang-batang nya hanya mengalami gaya tekan atau Tarik saja. Sistem tersebut merupakan salah satu perkembangan sistem struktur batang.

Struktur rangka ruang merupakan susunan modul yang diatur dan disusun berbalikan antara modul satu dengan modul lainnya sehingga gaya-gaya yang terjadi menjalar mengikuti modul-modul yang tersusun. Modul ini satu sama lain saling menguatkan, sehingga struktur ini tidak mudah goyah.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas penulis mencoba mengusulkan bagaimana metode pendekatan pembebanan, maka dari itu penulis mengambil judul “Metode Pendekatan Analisa Tingkat Layan Struktur Atap Rangka Ruang (*Space Frame*) Study Kasus Atap Masjid Kampus Tegal Boto Universitas Jember”

## TINJAUAN PUSTAKA

### Struktur Rangka (*Truss*)

Struktur rangka terdiri dari elemen lurus yang saling tersambung satu sama lain membentuk geometri sedemikian rupa untuk mendapatkan stabilitas struktur. Struktur ini di rancang agar mampu mendukung tegangan lentur. Material struktur rangka batang umumnya menggunakan baja yang disambungkan dengan menggunakan baut dan plat buhul atau dengan las, sehingga struktur kaku. Ketika beban diterapkan pada struktur hanya pada titik sendi, maka elemen batang hanya akan mengalami pemanjangan (tarik) atau pemendekan (tekan). Pada kebanyakan kasus, tekanan lentur sekunder tidak terlalu besar ketika dimuat beban. Jadi, asumsi menggunakan sambungan sendi akan lebih menguntungkan.

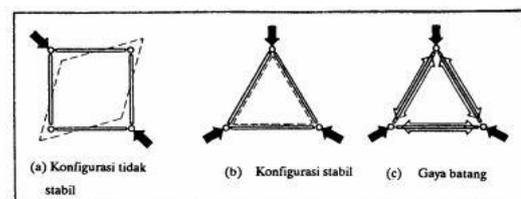
### Desain Rangka Batang

Rangka batang dapat mempunyai banyak bentuk. Untuk setiap bentuk, perhitungan gaya batangnya pada

umumnya dapat dilakukan secara langsung. Apabila gaya-gaya tersebut telah diperoleh, maka ukuran fisik rangka batang itu dapat ditentukan atau dirancang terhadap gaya-gaya tersebut. Ini merupakan langkah yang sangat penting dalam mendesain rangka batang yang dipakai pada gedung, dan akan dibahas lebih rinci berikut ini. Seperti halnya pada balok maupun kabel penentuan awal mengenai bentang, konfigurasi batang, dan dimensi keseluruhan harus dilakukan sebelum proses analisa gaya batang dan penentuan ukuran setiap elemen struktur pada suatu bangunan dilakukan.

### Prinsip – Prinsip Umum Pembentukan Segitiga (*Triangulasi*)

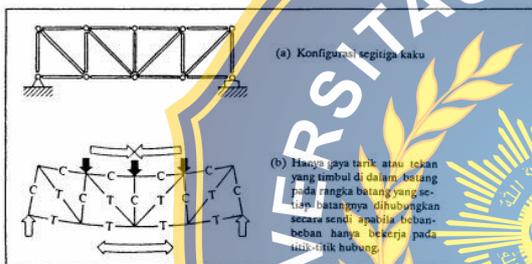
Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga hingga menjadi bentuk stabil. Perhatikan kedua struktur terhubung sendi seperti terlihat pada gambar 2.2 (a) dan (b). Apabila struktur itu diberi beban seperti terlihat pada gambar 2.2 (a), maka akan ada deformasi masif. Ini adalah struktur tak stabil yang membentuk mekanisme runtuh (*collapse*) apabila dibebani. Struktur demikian dapat berubah bentuk dengan mudah tanpa adanya perubahan pada panjang setiap batang. Sebaliknya, konfigurasi segitiga batang seperti terlihat pada gambar 2.2 (b) tidak dapat berubah bentuk atau runtuh seperti contoh sebelumnya. Dengan demikian bentuk segitiga ini stabil.



**Gambar 2.2** Susunan batang yang stabil dan tidak stabil (*Sumber : Buku Struktur\_Daniel\_L\_Schodek 1998*)

## Konfigurasi

Karena susunan segitiga dari batang adalah bentuk yang stabil, maka sembarang susunan segitiga juga membentuk struktur stabil dan kaku seperti terlihat pada gambar 2.3. Ide ini merupakan prinsip dasar penggunaan rangka batang pada gedung karena bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga-segitiga tersebut. Sekali lagi, efek beban eksternal menyebabkan keadaan tarik murni atau tekan murni pada setiap batang. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan, dan pada batang tepi bawah umumnya timbul gaya tarik. Gaya tarik atau tekan ini dapat timbul pada setiap batang, yang mungkin saja terjadi pola berganti-ganti tarik dan tekan.



**Gambar 2.3** Struktur Segitiga : setiap struktur yang terdiri atas sekumpulan bentuk segitiga membentuk susunan kaku yang mampu memikul beban eksternal (Sumber : *Buku Struktur\_Daniel L\_Schodek 1998*)

Hal yang amat penting pada rangka batang ialah bahwa struktur tersebut hanya dibebani oleh beban-beban terpusat. Apabila beban tersebut bekerja langsung pada batang, maka akan timbul tegangan lentur pada batang tersebut, selain juga tegangan aksial tekan atau tarik yang umum ada pada rangka batang. Sebagai akibat-akibatnya, desain batang tersebut menjadi rumit, dan efisiensi keseluruhan batang menjadi berkurang.

## Gaya Batang

Perilaku gaya-gaya dalam setiap batang pada rangka batang dapat digunakan dengan menerapkan persamaan dasar keseimbangan. Akan tetapi, untuk konfigurasi rangka batang sederhana, sifat gaya tersebut (tarik atau tekan) dapat

ditentukan dengan menerapkan sedikit teknik yang berguna dalam memberikan gambaran bagaimana rangka batang tersebut memikul beban.

Salah satu cara untuk menentukan gaya dalam batang pada rangka batang adalah dengan menggambarkan bentuk berdeformasi yang mungkin dari struktur yang akan terlihat apabila batang yang hendak diketahui sifat gayanya dibayangkan tidak ada. Dengan demikian sifat gaya (tarik atau tekan) batang itu dapat diketahui berdasarkan analisis mengenai pencegahan deformasi tersebut.

## Pembebanan Struktur

Pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan terdiri dari beban mati (berat sendiri space frame, penutup atap, dan beban mati tambahan), beban hidup (pekerja, air hujan dan beban hidup lainnya), beban angin, Beban – beban yang bekerja secara detail dijabarkan sebagai berikut :

### Beban Mati

Menurut (*SNI 1727-2013 Pasal 3*), Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dinding partisi tetap, finishing, kledning gedung dan komponen arsitektural lainnya serta peralatan lain termasuk berat keran.

Beban mati yang bekerja pada struktur atap bangunan ini berupa beban yang berasal dari berat sendiri elemen struktur dan beban mati tambahan antara lain adalah sebagai berikut :

- Berat Penutup Atap
- Berat Gording
- Berat Struktur Rangka Baja Pipa
- Berat Plat Buhul, dan Baut
- Berat Mecanical dan Elektrikal

### Beban Hidup

Menurut (*SNI 1727-2013 Pasal 4*), Beban hidup adalah beban yang di akibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati. Beban hidup atap adalah beban pada atap yang diakibatkan oleh pekerja dan pemadam kebakaran.

**Beban Air Hujan**

Menurut PPIUG 1983, Pasal 3.2. Beban Hidup Pada Atap Gedung.

Beban Hidup pada atap dan/atau bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang paling menentukan diantara dua macam beban berikut :

Beban terbagi rata per m2 bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar  $(40 - 0,8 \alpha)$  kg/m<sup>2</sup> , dimana  $\alpha$  adalah sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m<sup>2</sup> dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 500 .

**Beban Angin**

Analisa beban angin pada gedung ini mengacu pada PPIUG 1983 Beban Angin pasal 4.1. Penentuan Beban Angin.

Tabel 2.2 Koefisien Menurut Pasal 4.3. PPIUG 1983

**Desain Batang**

**Pembatasan Kelangsingan Komponen Struktur Tarik**

Tidak ada batasan kelangsingan maksimum untuk komponen struktur dalam tarik. Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300. Saran ini tidak berlaku pada batang atau

gantungan dalam gaya tarik. (SNI 1729-2015 Pasal D).

**Desain Kekuatan Tarik**

Menurut (SNI 1729-2015 Pasal B4.3) desain yang sesuai dengan ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) memenuhi persyaratan spesifikasi bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK.

$$R_u \leq \Phi \cdot R_n \dots \dots \dots (2.8.2-1)$$

Menurut (SNI 1729-2015 Pasal D2) Kekuatan tarik desain,  $\Phi_t \cdot P_n$ , dan Kekuatan tarik tersedia,  $P_n / \Omega_t$ , dari komponen struktur tarik, harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang netto.

- (a.) Menghitung tegangan leleh tarik pada penampang Bruto

$$P_n = F_y \times A_g$$

$$\Phi_t = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_t = 1,67 \text{ (DKI)}$$

- (b.) Untuk keruntuhan Tarik (Putus) pada penampang Netto

$$P_n = F_u \times A_e$$

$$\Phi_t = 0,75 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_t = 2,00 \text{ (DKI)}$$

**Luas Neto Efektif**

Luas bruto  $A_g$ , dan luas Neto,  $A_n$ , dari komponen struktur tarik harus di tentukan sesuai dengan ketentuan SNI 1729-2015 Pasal B4.3. dimana luas neto  $A_n$ , untuk PSB terslot yang di las pada pelat buhul, luas neto  $A_n$ , adalah luas bruto di kurangi hasil ketebalan dan lebar total material yang dihilangkan untuk membentuk slot tersebut, namun untuk komponen struktur tanpa lubang, luas neto tersebut,  $A_n$  adalah sama dengan luas bruto,  $A_g$ .

**Desain Kekuatan Tekan**

Menurut (SNI 1729-2015 Pasal E1) Kekuatan tekan desain,  $\phi_c \cdot P_n$ , dan Kekuatan Tekan tersedia,  $P_n / \Omega_c$ , di tentukan sebagai berikut : Ketentuan tekan nominal,  $P_n$  harus

nilai terendah yang di peroleh berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi-lentur.

$$R_u \leq \Phi \cdot R_n$$

$$\Phi_t = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_t = 1.67 \text{ (DKI)}$$

Untuk kondisi tekan, penampang di klasifikasikan sebagai elemen nonlangsing atau penampang elemen langsing. Untuk profil elemen nonlangsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi  $\lambda_r$ . Jika rasio tersebut melebihi  $\lambda_r$  disebut penampang dengan elemen-langsing.

#### Panjang Efektif

Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif dapat memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$(K.L)/r < 200$$

Kekuatan tekan nominal,  $P_n$ , harus nilai terendah berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi dan tekuk-lentur yang sesuai.

$$P_n = A_g \times F_{cr}$$

Tegangan Kritis,  $F_{cr}$ , harus di tentukan sebagai berikut :

$$\text{Bila } \frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left( \text{atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \right)$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

$$\text{Bila } \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left( \text{atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \right)$$

$$F_{cr} = 0.877 \cdot F_e$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left( \frac{K.L}{r} \right)^2}$$

Dimana :

- $F_e$  = Tegangan tekuk kritis elastis (Mpa)
- $A_g$  = Luas penampang bruto
- $K$  = Faktor panjang efektif

- $L$  = Panjang batang tekuk
- $r$  = Radius girasi atau jari – jari girasi

#### Sambungan Las

Sambungan las memiliki beberapa jenis yaitu las tumpul, las sudut, las pengisi atau tersusun. Pada struktur atas Terminal Kedatangan ini berupa susunan batang-batang baja pipa sehingga terbentuk sudut-sudut antara batang baja pipa yang satu dengan yang lainnya, maka jenis las yang digunakan dalam perencanaan struktur atas hanggar pesawat ini menggunakan jenis las sudut.

#### Luas Efektif Las

Menurut (SNI 1729-2015 Pasal J2-2), luas efektif dari suatu las sudut adalah panjang efektif dikalikan dengan throat efektif. Throat efektif dari suatu las sudut merupakan jarak terpendek (garis tinggi) dari perpotongan kaki las ke muka las diagramatik

#### Pembatasan

Menurut (SNI 1729-2015 Pasal J2-2), Ukuran minimum las sudut harus tidak kurang dari ukuran yang diperlukan untuk menyalurkan gaya yang dihitung, atau ukuran seperti yang tertera dalam Tabel 2.11. Ketentuan ini tidak boleh diterapkan pada perkuatan las sudut dari las tumpul penetrasi-joint- sebagian atau las tumpul penetrasi-joint-lengkap.

Tabel. 2.11 Ukuran Minimum Las

Ketebalan Material dari bagian paling tipis yang tersambung, in (mm)	Ukuran minimum las sudut(a) in (mm)
Sampai dengan 1/4 (6,00)	1/8 (3,00)
Lebih Besar dari 1/4 (6,00) sampai dengan 1/2 (13,00)	3/16 (5,00)
Lebih Besar dari 1/2 (13,00) sampai dengan 3/4 (19,00)	1/4 (6,00)
Lebih Besar dari 3/4 (19,00)	5/16 (8,00)

Sumber : SNI 1729-2015 Tabel J2-4

#### Kekuatan Sambungan Las

Kekuatan desain,  $\Phi R_n$  dan kekuatan yang diizinkan,  $R_n/\Omega$ , dari joint yang dilas harus merupakan nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik dan keruntuhan geser dan kekuatan

logam las yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan berikut ini:

Untuk logam dasar,

$$R_n = F_{nBM} \cdot A_{BM}$$

Untuk Logam las,

$$R_n = F_{nW} \cdot A_{we}$$

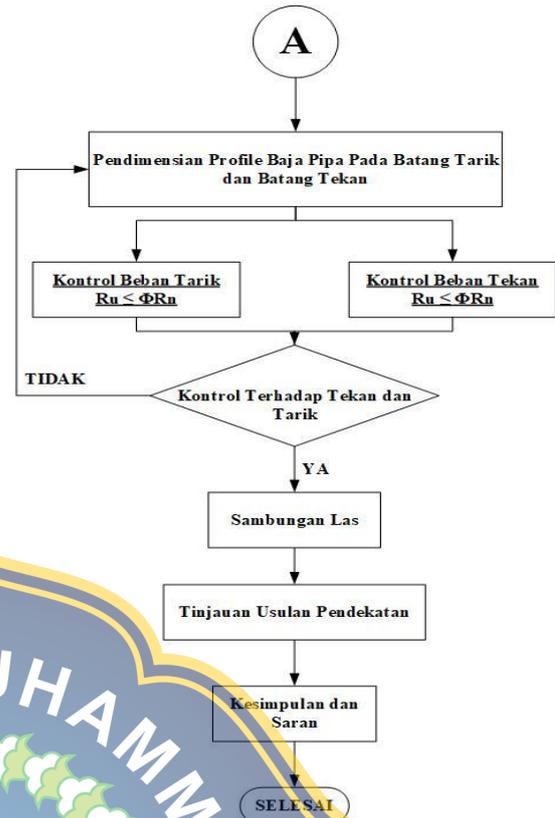
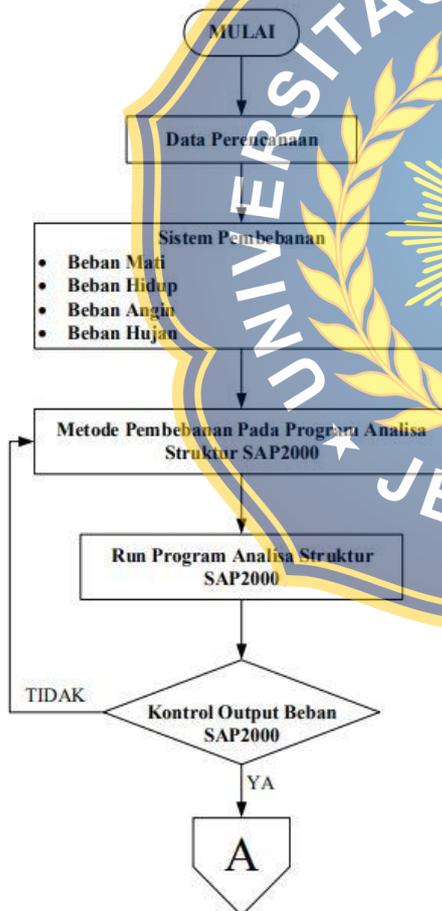
Kuat rencana las sudut persatuan panjang dapat ditentukan dengan rumus :

$$\Phi \cdot R_{nw} = 0.75 \times t_e \times (0.6 \times F_{uw})$$

Kuat rencana las sudut untuk bahan dasar

$$\Phi \cdot R_{nw} = 0.75 \times t_e \times (0.6 \times F_u)$$

## METODOLOGI



## ANALISA DAN PEMBAHASAN

### Data Perencanaan

Nama bangunan: Gedung Masjid Universitas Jember

Lokasi bangunan : Universitas Jember

Spesifikasi Material

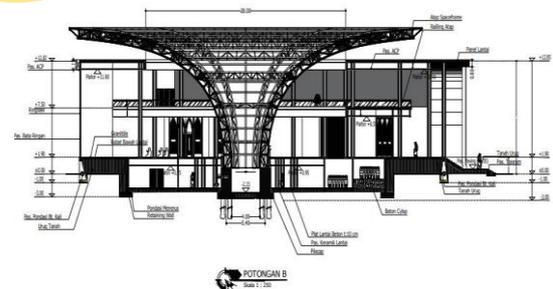
Pipa baja: Pipe schedule ASTM A53/A53M, Gr. B (  $f_y = 240 \text{ Mpa}$ ;  $f_u = 415 \text{ Mpa}$  )

Modulus elastisitas (  $E$  ) :  $200000 \text{ Mpa}$

Poissons Ratio (  $\nu$  ) :  $0,30$

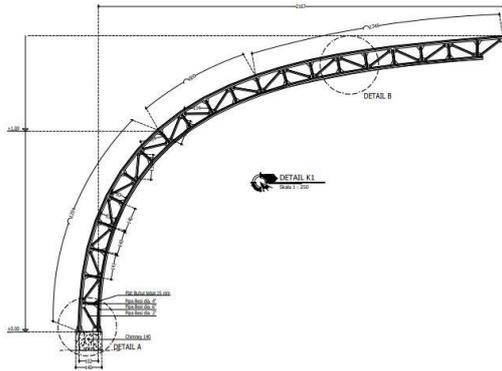
Density :  $0,00007850 \text{ N/mm}^3$

Critical Damping :  $0,03$



Gambar 4.1 Rencana Atap.

## Deskripsi Rangka



**Gambar 4.4 Detail Penampang Utama K1**

Panjang Batang utama/segmen : 140 cm

Panjang Batang dia 4 : 83 cm

Panjang Batang diagonal dia 3 : 135 cm

## Pembebanan Struktur Atap Baja

Dalam perhitungan pembebanan atap, beban kuda-kuda akan dihitung menjadi beban terpusat pada kuda-kuda. Karna sudut atap ditiap as berbeda-beda, maka untuk pembebanan dibagi menjadi 21 segmen dengan jarak dan ukuran yang sama sebagai berikut:

**Tabel. 4.2 Data Segmen Atap**

Segmen :	Sudut°	Panjang Lengkung/ segmen (m)	A (m <sup>2</sup> )
segmen 21	0°	1,4	12,83
segmen 20	5°	1,4	11,95
segmen 19	5°	1,4	11,14
segmen 18	6°	1,4	10,36
segmen 17	8°	1,4	9,59
segmen 16	9°	1,4	8,82
segmen 15	11°	1,4	8,04
segmen 14	14°	1,4	7,29
segmen 13	17°	1,4	6,54
segmen 12	21°	1,4	5,79
segmen 11	26°	1,4	5,08
segmen 10	32°	1,4	4,38
segmen 9	38°	1,4	3,72
segmen 8	45°	1,4	3,11
segmen 7	52°	1,4	2,56
segmen 6	60°	1,4	2,08
segmen 5	67°	1,4	1,69
segmen 4	73°	1,4	1,39
segmen 3	80°	1,4	1,16
segmen 2	85°	1,4	0,93
segmen 1	85°	1,4	0,83

## Beban Mati

Luas Tributari Atap segmen 20 :

$$A_T = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \\ = 1,4 \text{ m} \times 11,95 \text{ m} \\ = 16,73 \text{ m}^2$$

Akibat Beban Mati :

Untuk beban mati sendiri hanya berat penutup atap saja dikarenakan berat sendiri dan perhitungan lainnya sudah terinput secara langsung di aplikasi software SAP 2000.

Berat Penutup Atap = luas tributari x berat penutup atap

$$= 16,73 \text{ m}^2 \times 3,4 \text{ kg/m}^2 \\ = 56,882 \text{ kg/joint}$$

**Tabel 4.4. Perhitungan Beban Mati Atap**

Segmen :	Sudut°	Panjang Lengkung/ A (m <sup>2</sup> )	Luas Tributari	Berat Penutup Atap	
segmen 21	0°	1,4	12,83	8,981	30,5354
segmen 20	5°	1,4	11,95	16,73	56,882
segmen 19	5°	1,4	11,14	15,596	53,0264
segmen 18	6°	1,4	10,36	14,504	49,3136
segmen 17	8°	1,4	9,59	13,426	45,6484
segmen 16	9°	1,4	8,82	12,348	41,9832
segmen 15	11°	1,4	8,04	11,256	38,2704
segmen 14	14°	1,4	7,29	10,206	34,7004
segmen 13	17°	1,4	6,54	9,156	31,1304
segmen 12	21°	1,4	5,79	8,106	27,5604
segmen 11	26°	1,4	5,08	7,112	24,1808
segmen 10	32°	1,4	4,38	6,132	20,8488
segmen 9	38°	1,4	3,72	5,208	17,7072
segmen 8	45°	1,4	3,11	4,354	14,8036
segmen 7	52°	1,4	2,56	3,584	12,1856
segmen 6	60°	1,4	2,08	2,912	9,9008
segmen 5	67°	1,4	1,69	2,366	8,0444
segmen 4	73°	1,4	1,39	1,946	6,6164
segmen 3	80°	1,4	1,16	1,624	5,5216
segmen 2	85°	1,4	0,93	1,302	4,4268
segmen 1	85°	1,4	0,83	1,162	3,9508

## Beban Hidup

Syarat beban hidup atap (dalam kn/m<sup>2</sup>)

$$0,58 \leq L_r \leq 0,96$$

$$0,58 \leq 0,58 \leq 0,96 \dots\dots\dots\text{ok!!}$$

Karena fungsi struktur atap pada Masjid ini tidak direncanakan untuk di bebani oleh orang sebagai hunian, hanya di bebani oleh pekerja atau pemadam kebakaran maka beban hidup pada atap di gunakan 96 Kg/Joint.

Untuk pembebanannya dilakukan keseluruhan joint yang berjumlah 21 segmen dengan beban terpusat yang sama 96 kg/joint

## Beban Air Hujan

Beban hidup terbagi rata dari beban air hujan  $\square$  PPIUG 1983 Pasal 3.2.2. disini kita ambil contoh satu sudut pada buhul. Yaitu = 17°

Diketahui :

$$Q = (40 - 0,8 \alpha) \text{ kg/m}^2 < 20 \text{ kg/m}^2 \\ = (40 - 0,8 \times 17) \text{ kg/m}^2$$

$$= 26,4 \text{ kg/m}^2 < 20 \text{ kg/m}^2$$

Sesuai dengan apa yang tertuang di

PPIUG bahwa beban hujan tidak lebih dari 20 kg/m<sup>2</sup>, Jadi sesuai perhitungan yang ada dari sudut 0° - 23° dipakai beban hujan 20 kg/m<sup>2</sup>, sedangkan sudut 26° - 45° digunakan PA sesuai perhitungan yang ada.

**Tabel 4.6. Grafik Distribusi Beban Hujan.**



**Beban Angin**



**Gambar 4.10. Koefisien Hujan (Sumber : PBIUG 1983)**

Koefisien Angin Masuk  
 $\alpha = 30^\circ$  kc 1 – kc 11 : 0,8  
 $\alpha > 30^\circ$  kc 12 – kc 13 : 0,5  
 Perhitungan beban angin masuk  
 PA (Beban Angin) = A x Tekanan Angin x Koefisien Angin  
 $= 10,36 \text{ m} \times 25 \text{ kg/m} \times 0,8$   
 $= 207,2 \text{ kg.m}^2$   
 Wt Horizontal = PA x Sin  $\alpha$   
 $= 207,2 \times \sin 6^\circ$   
 $= 21,66 \text{ kg.m}^2$   
 Wt Vertikal = PA x Cos  $\alpha$   
 $= 207,2 \times \text{Cos } 6^\circ$   
 $= 206,06 \text{ kg.m}^2$

**Tabel 4.7. Perhitungan Beban Angin Masuk (Hisap)**

SC = ( W.PA.Aluas)	$\alpha$	A/m <sup>2</sup>	PA(kg,m <sup>2</sup> )	Kg,m <sup>2</sup>	wt horizontal	wt vertikal
kc1	0°	12,83	25	256,6	0,00	256,60
kc2	5°	11,95	25	239	20,83	238,09
kc3	5°	11,14	25	222,8	19,42	221,95
kc4	6°	10,36	25	207,2	21,66	206,06
kc5	8°	9,59	25	191,8	26,69	189,93
kc6	9°	8,82	25	176,4	27,60	174,23
kc7	11°	8,04	25	160,8	30,68	157,85
kc8	14°	7,29	25	145,8	35,27	141,47
kc9	17°	6,54	25	130,8	38,24	125,08
kc10	21°	5,79	25	115,8	41,50	108,11
kc11	26°	5,08	25	101,6	44,54	91,32
kc12	32°	4,38	25	84,75	29,01	46,43
kc13	38°	3,72	25	72,5	28,63	36,64

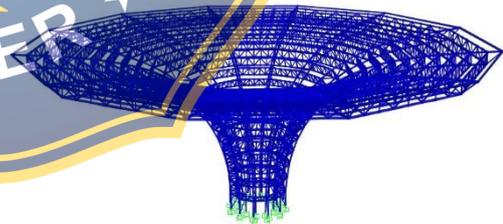
**Tabel 4.10. Perhitungan Beban Angin Keluar (Tekan)**

SC = ( W.PA.Aluas)	$\alpha$	A/m <sup>2</sup>	PA(kg/m <sup>2</sup> )	Kg/m <sup>2</sup>	wt horizontal	wt vertikal
kc1	0°	12,83	25	-128,3	0,00	-128,30
kc2	5°	11,95	25	-119,5	-10,42	-119,05
kc3	5°	11,14	25	-111,4	-9,71	-110,98
kc4	6°	10,36	25	-103,6	-10,83	-103,03
kc5	8°	9,59	25	-95,9	-13,35	-94,97
kc6	9°	8,82	25	-88,2	-13,80	-87,11
kc7	11°	8,04	25	-80,4	-15,34	-78,92
kc8	14°	7,29	25	-72,9	-17,64	-70,73
kc9	17°	6,54	25	-65,4	-19,12	-62,54
kc10	21°	5,79	25	-57,9	-20,75	-54,05
kc11	26°	5,08	25	-50,8	-22,27	-45,66
kc12	32°	4,38	25	-43,8	-29,40	-47,05
kc13	38°	3,72	25	-48,98	-30,16	-38,60

Dalam pendistribusian beban angin ini peneliti melakukan penelitian berdasarkan eksisting dilapangan bahwasanya sesuai dengan schedule pekerjaan pembangunan gedung masjid Universitas Jember ini pelaksanaan pembangunan atap masjid dilakukan pada tahap akhir pekerjaan atau dengan sudah terselesaikannya gedung mencapai lantai 2, maka dari itu distribusi beban angin diinput hanya sampai segmen 13 yaitu struktur atap yang tidak tertutup oleh gedung utama.

**Pemodelan Struktur Pemodelan dan Analisis Struktur Dengan Program Bantu SAP2000**

Atap Masjid Universitas Jember ini direncanakan dengan menggunakan struktur baja pipa yang bentuk strukturnya lengkung menyerupai payung terbalik. Berikut gambar yang menampilkan hasil pedoman dalam bentuk 3 dimensi.



**Gambar 4.13. Pemodelan Struktur 3 dimensi menggunakan SAP2000 Kombinasi Pembebanan**

Setelah memperhitungkan beban sesuai dengan usulan metode pendekatan yang coba diaplikasikan ke software SAP 2000 diatas, maka seluruh beban tersebut dihitung dengan factor kombinasi yang mengacu pada SNI – 3-1729-2012 Sebagai berikut :

- 1.4 D
- 1.2D + 1,6L + 0.5(L<sub>r</sub> atau S atau R)
- 1.2D + 1.6 (L<sub>r</sub> atau S atau R) + (L atau 0,5W)

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$$

$$0,9D + 1,0W$$

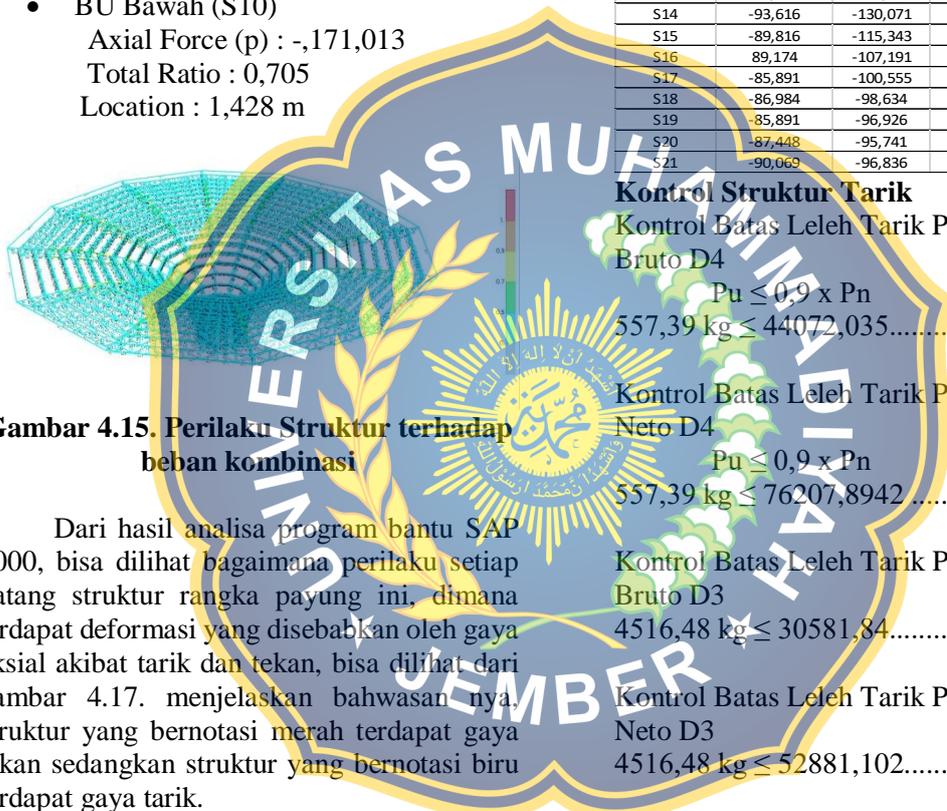
akibat gaya tarik dan tekan.

**Perilaku Struktur Atap dari Analisa Program Bantu SAP2000**

Dari analisa program bantu SAP 2000 bisa kita lihat bahwasanya metode pembebanan yang dilakukan dengan memberikan beban terpusat pada tiap joint menghasilkan hasil yang Optimum, dengan beban maksimal yang diterima tidak melebihi batas maksimum notasi yang ada di SAP 2000.

Dengan didapatkan gaya dalam, pada batang terbesar:

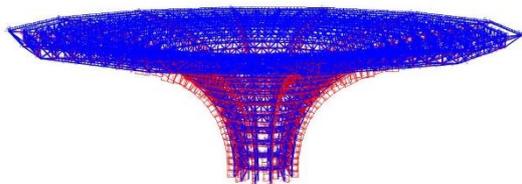
- BU Bawah (S10)  
 Axial Force (p) : -,171,013  
 Total Ratio : 0,705  
 Location : 1,428 m



**Gambar 4.15. Perilaku Struktur terhadap beban kombinasi**

Dari hasil analisa program bantu SAP 2000, bisa dilihat bagaimana perilaku setiap batang struktur rangka payung ini, dimana terdapat deformasi yang disebabkan oleh gaya aksial akibat tarik dan tekan, bisa dilihat dari gambar 4.17. menjelaskan bahwasannya, struktur yang bernotasi merah terdapat gaya tekan sedangkan struktur yang bernotasi biru terdapat gaya tarik.

Sesuai dengan apa yang dikutip dalam buku mekanika teknik 1 Statika dan kegunaannya oleh, ( Ir. Heinz Frick ) gaya tarik selalu menjadi positif ( + ) dan gaya tekan menjadi negatif ( - ), struktur ini juga tergolong struktur statis tertentu.



**Gambar 4.17. Bentuk perlakuan struktur**

**Kontrol Tegangan Pada Batang**

**Tabel. 4.13. Gaya Dalam (Batang Utama)**

Gaya Dalam ( Batang Utama )				
No	BU 1 (kn)	BU 2 (kn)	BT	BD
S1	-17,253	-	-	0,582
S2	-48,118	-6,914	-12,886	10,711
S3	-51,52	-3,908	-1,505	-27,506
S4	-88,721	-48,379	-8,905	33,624
S5	-63,173	-39,674	-1,941	-49,641
S6	-107,121	-105,377	-5,68	44,292
S7	-70,467	-90,524	-2,862	-57,595
S8	-114,339	-154,456	-2,048	40,715
S9	-79,757	-133,77	-3,376	-50,984
S10	-113,381	-171,013	3,143	19,458
S11	-88,611	-150,976	1,223	-34,049
S12	-101,514	-162,129	4,778	-0,589
S13	-91,742	-141,027	2,172	-14,813
S14	-93,616	-130,071	3,145	-12,056
S15	-89,816	-115,343	3,694	-10,053
S16	89,174	-107,191	3,436	-13,915
S17	-85,891	-100,555	4,628	-12,336
S18	-86,984	-98,634	3,757	-14,21
S19	-85,891	-96,926	4,776	-12,938
S20	-87,448	-95,741	5,466	-16,057
S21	-90,069	-96,836	4,526	-14,263

**Kontrol Struktur Tarik**

Kontrol Batas Leleh Tarik Pada Penampang Bruto D4

$$P_u \leq 0,9 \times P_n$$

$$557,39 \text{ kg} \leq 44072,035 \dots\dots\dots \text{OK!!}$$

Kontrol Batas Leleh Tarik Pada Penampang Neto D4

$$P_u \leq 0,9 \times P_n$$

$$557,39 \text{ kg} \leq 76207,8942 \dots\dots\dots \text{OK!!}$$

Kontrol Batas Leleh Tarik Pada Penampang Bruto D3

$$4516,48 \text{ kg} \leq 30581,84 \dots\dots\dots \text{OK!!}$$

Kontrol Batas Leleh Tarik Pada Penampang Neto D3

$$4516,48 \text{ kg} \leq 52881,102 \dots\dots\dots \text{OK!!}$$

**Kontrol Struktur Tekan**

Kontrol kekuatan Tekan D6 :

$$P_u \leq 0,9 \times P_n$$

$$17438,47 \text{ kg} \leq 43716905,37 \text{ kg} \dots\dots \text{OK!!}$$

Kontrol kekuatan Tekan D4 :

$$1289,32 \text{ kg} \leq 22960612,17 \text{ kg} \dots\dots \text{OK!!}$$

Kontrol kekuatan Tekan D3 :

$$P_u \leq 0,9 \times P_n$$

$$5198,94 \text{ kg} \leq 42328338,43 \text{ kg} \dots\dots \text{OK!!}$$

**Sambungan Las**

Kontrol Kekuatan Las Batang Utama

Dari hasil perhitungan yang ada

diperoleh nilai  $P_u = 1759,316$  kg tidak lebih besar dari batas kekuatan las untuk logam dasar  $\Phi R_n = 30176,9025$  kg, maka dari itu dapat disimpulkan bahwasanya kekuatan las untuk logam dasar yang telah dihitung diatas aman digunakan.

**Tabel 4.21. Perhitungan Kontrol Kekuatan Desain Las (Batang Utama)**

BU 1					
No	BU 1 (Ru/kgf)	0,75 x Rn (Kg)	Hasil	0,75 x Rn (Kg)	Hasil
S1	-1759,316	30177	ok!	28755	ok!
S2	-4906,67	81399	ok!	77563	ok!
S3	-5253,577	87232	ok!	83122	ok!
S4	-9047,024	150160	ok!	143085	ok!
S5	-6441,853	107122	ok!	102075	ok!
S6	-10923,302	181327	ok!	172783	ok!
S7	-7185,634	10334	ok!	117888	ok!
S8	-11659,333	193011	ok!	183917	ok!
S9	-8132,95	135419	ok!	129038	ok!
S10	-11561,660	192469	ok!	183400	ok!
S11	-9035,850	150535	ok!	143442	ok!
S12	-10351,580	172573	ok!	164442	ok!
S13	-9355,050	155978	ok!	148628	ok!
S14	-9546,210	159380	ok!	151870	ok!
S15	-9158,370	152957	ok!	145750	ok!
S16	-9090,470	152027	ok!	144863	ok!
S17	-8742,530	146288	ok!	139395	ok!
S18	-8867,860	148429	ok!	141435	ok!
S19	-8758,400	146863	ok!	139943	ok!
S20	-8917,220	149762	ok!	142705	ok!
S21	-9184,470	154400	ok!	147125	ok!

### Penutup Kesimpulan

Berdasarkan tinjauan metode pendekatan analisa tingkat layan struktur atap rangka ruang (study kasus atap masjid kampus tegal boto Universitas Jember), dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisa program bantu SAP2000 didapatkan gaya dalam terbesar terjadi pada pipa D6 segmen 10 rangka utama bawah, dengan Axial force (p) = -171,013, total rasio = 0,705, location = 1,428 m
2. Terjadi tegangan dan defleksi yang bervariasi di tiap batangnya ditunjukkan dengan permodelan struktur di SAP 2000 saat menerima beban.
3. Dengan struktur yang rumit dan kompleks maka pembebanan dilakukan dengan memberikan beban terpusat per joint. Dengan beban mati, angin dan hujan yang bervariasi dihitung sesuai dengan sudut kemiringan per batang.
  - a. Pembebanan beban hujan diinput di segmen 1-14, dengan beban terpusat per joint.
  - b. Pembebanan beban angin diinput di segmen 1-13, dengan beban terpusat per

joint dengan arah vertikal dan horizontal.

- c. Pembebanan beban mati diinput di keseluruhan segmen, dengan beban terpusat per joint.
  - d. Pembebanan beban hidup diinput di keseluruhan segmen, dengan beban terpusat per joint.
4. Dari hasil analisa program bantu SAP maka bisa di deklarasikan struktur dengan metode pendekatan yang ada, aman digunakan.

### Saran

1. Untuk selanjutnya coba dianalisa dari pondasi sampai tumpuan basplat nya sehingga bisa diketahui bagaimana bentuk perlakuan keseluruhan struktur
2. Memberikan beban gempa terhadap struktur rangka ruang, agar bisa mengetahui bagaimana bentuk perlakuan struktur terhadap beban selain yang sudah terinput dalam tinjauan sebelumnya.

### Daftar Pustaka

- SNI – 1729 :2015. Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural Badan Standardisasi Nasional
- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung ( PPIUG 1983)
- Fajaria Dewi Kurnia-Skripsi., 2015 “*Redisgn Struktur Atap Dengan Model Space Truss Pada Stadion Jember Sport Garden*”. Institut Teknologi Nasional : Malang.
- SNI- 1727:2013 . Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
- Daniel\_L\_Schodek : 1992. *Struktur*. Ir Bambang Suryoatmono, M.Sc. Universitas Katolik Parahyangan.
- Ir. Heinz Frick., - Buku : *Mekanika Teknik 1 Statika dan Kegunaanya*.

