

# ANALISA RANGKA BAJA PADA HANGGAR MENGGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD DENGAN APLIKASI SAP (STRUCTURE ANALYSIS PROGRAM)

*STEEL TRUSS AT HANGGAR ANALYSIS BASED ON FINITE ELEMENT METHOD WITH SAP APLICATION (STRUCTURE ANALYSIS PROGRAM)*

*Rudy Djamaluddin, Achmad Bakri Muhiddin, Andi Ilham M. Nugrawan  
Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar*

## **Alamat Korespondensi**

Andi Ilham M. Nugrawan  
Fakultas Teknik Jurusan Sipil  
Universitas Hasanuddin Makassar, 90245  
Hp : 085340838182

Email : [andimadda91@gmail.com](mailto:andimadda91@gmail.com)

## ANALISA RANGKA BAJA PADA HANGGAR MENGGUNAKAN FINITE ELEMENT METHOD DENGAN APLIKASI SAP (STRUCTURE ANALYSIS PROGRAM)

### STEL TRUSS AT HANGGAR ANALYSIS WITH FINITE ELEMNT METHOD BASED ON FINITE ELEMENT ANALYSIS WITH SAP APLICATION (STRUCTURE ANALYSIS PROGRAM)

, Rudy Djamaluddin<sup>1</sup>, Achmad Bakri Muhiddin<sup>1</sup>, Andi Ilham M. Nugrawan<sup>2</sup>

---

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peranan batang skur pada struktur rangka baja hanggar. Data diambil melalui sebuah studi kasus hanggar yang telah roboh sebagai sebuah pendekatan tinjauan hubungan perilaku batang skur dengan berbagai jenis model dan tumpuan di salah satu bentangnya dengan bentang 90 meter dan tinggi sekitar 18 meter. Studi kasus ini merupakan studi lapangan pada sebuah struktur yakni Hanggar Balai Besar Kalibrasi Bandar Udara Sultan Hasanuddin yang rubuh pada hari Minggu, 9 Maret 2015. Gedung Hanggar merupakan sebuah struktur terbuka dengan komponen strukturnya adalah struktur rangka baja yang didudukkan pada kolom beton. Penelitian ini diutamakan pada mencari besarnya kekuatan struktur hanggar berbagai model dalam kapasitasnya menahan beban luar secara analisis dengan Metode Elemen Hingga (MEH), menggunakan Aplikasi SAP (*Structure Analysis Program*).

**Kata Kunci :** *Rangka Baja, Batang Skur, Metode Elemen Hingga (MEH), SAP*

#### ABSTRACT

*This research is intended to analyze bracing frame role in steel truss structure of hangar. The data were collected through a case study of hangar that has collapsed as an approach to the description of the relationship with the model type and pedestal in one of the spans with a span of 90 meters and a height about 18 meters. This case study is a field study on a structure of the Hasanuddin Sultan's Calibration Hanggar Hall which collapsed on Sunday, March 9, 2015. The Hanggar Building is an open structure with its structural components, a steel frame structure mounted on a concrete column. This research is prioritized to find out the structural strength of various models in its capacity to withstand external load with Finite Elements Method (FEM), using the SAP (Structure Analysis Program) Application.*

**Key Words:** *Steel Truss, Bracing Frame, Finite Element Method (FEM), SAP*

<sup>1</sup> Dosen, Jurusan Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, INDONESIA

<sup>2</sup> Mahasiswa, Jurusan Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, INDONESIA

## PENDAHULUAN

Bangunan hanggar merupakan bangunan yang digunakan untuk mewadahi kegiatan perawatan dan pemeliharaan pesawat terbang. Namun, terdapat beberapa permasalahan yang disebabkan beberapa hal sehingga pembangunan hanggar pada Bandara Internasional Sultan Hasanuddin di Makassar gagal karena roboh di tengah-tengah pembangunan. Proses pembangunan telah sampai pada pembangunan rangka struktur, yaitu kuda-kuda yang dipasang di atas dua kolom persegi.

Perancangan atap dengan menggunakan kuda-kuda cukup digemari karena perbandingan keringanan pada beban yang bisa ditahan kuda-kuda dan tidak membutuhkan banyak perawatan setelah penginstalan. Kuda-kuda mempunyai ciri khas memiliki batang-batang lurus yang saling menyambung pada sendi, yang biasanya dinamakan sebagai titik buhul. Kuda-kuda biasanya terdiri dari bagan-bagan segitiga karena kestabilan struktur bentuknya. Segitiga adalah geometri tersimple yang tidak akan berubah bentuk ketika panjang sisi-sisinya dibetulkan. Sebagai perbandingan, kedua sudut dan panjang dari figur segi empat harus diubah bersama-sama agar figur tersebut tetap segi empat.

Awal dari semua bangunan bagaimanapun ukurannya, adalah perencanaan. Salah satunya adalah perencanaan struktur. Perencanaan struktur dimulai dari perhitungan beban yang bekerja hingga pemilihan material yang cocok digunakan untuk pembangunan tersebut. Perhitungan beban ada banyak metode. Dari yang paling simpel, Metode Statika. Ilmu yang bergantung dengan 3 persamaan kesetimbangan. Hingga metode rumit seperti Metode Elemen Hingga (Finite Element Method). Metode yang membagi materi yang terbebani menjadi beberapa elemen-elemen yang akan dihitung berkesinambungan. Pemilihan material yang sesuai juga memiliki metode tertentu dalam prosesnya. Seperti desain profil beton, panjang bentang, luas tulangan hingga kontrol lentur dan kontrol tekuk.

Proses perencanaan ini berkembang dari zaman ke zaman. Mulai dimana semua hanya bergantung pada perhitungan di atas kertas dan memakan waktu, sekarang bisa diselesaikan

dengan proses perhitungan komputer melalui aplikasi-aplikasi yang dikembangkan. Seperti "Structure Analysis Program" atau disingkat SAP.

SAP adalah aplikasi analisis struktur yang telah berkembang sejak 30 tahun yang lalu. SAP adalah aplikasi yang didesain untuk keperluan pekerjaan teknik pada permodelan jalan, jembatan, bangunan, rumah dan masih banyak kemungkinan lainnya seperti yang akan penulis analisa pada kesempatan kali ini yaitu hanggar. Aplikasi ini menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai dasar algoritma perhitungannya.

Metode Elemen Hingga adalah salah satu metode numerik yang paling banyak dipakai di dunia engineering dan diajarkan di dunia. Metode ini berusaha memecahkan persamaan dengan variable yang melebihi persamaan yang tersedia (partial differential equations) dan persamaan integrasi lainnya yang dihasilkan diskritisasi benda kontinum. Meski berupa pendekatan, metode ini terkenal cukup ampuh memecahkan struktur-struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat. Biasanya matematikawan mencari closed form dalam setiap perhitungan. Hanya saja karena sudah mentok, maka metode pendekatan dengan memanfaatkan metode numerik inipun dikembangkan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Hanggar Menurut UFC 4-211-01N 25, Hanggar Balai Besar Kalibrasi Bandar Udara Sultan Hasanuddin termasuk Hanggar Tipe III. Didesain untuk pesawat besar transport, dengan lebar 90 m dan kedalaman 45 m. Sementara atap hanggar menggunakan lapisan finishing blue scope, lapisan aluminium foil dan listplank ACP. Rangkanya menggunakan rangka kuda-kuda yang batang—batangnya terdiri dari baja dan besi yang disupport batang skur, kemudian diteruskan kolom beton persegi biasa ukuran 90x180 cm, lalu beban diteruskan ke tanah dengan pondasi dangkal cycloop ke tanah sedalam 3,25 m.

Pada kesempatan ini, kondisi hanggar yang akan dianalisa yaitu saat pembangunan hanggar sebelum properti atap dipasang, atau saat kuda-kuda rangka baja selesai dipasang.

Baja adalah material campuran besi dan pada umumnya karbon. Mutu dari baja dipengaruhi oleh campuran tersebut. Baja yang akan digunakan dalam struktur dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon, baja paduan rendah mutu tinggi dan baja paduan.

Dalam perencanaan struktur baja, SNI 03-1729-2002 mengambil beberapa sifat-sifat mekanik dari material baja yang sama, yaitu:

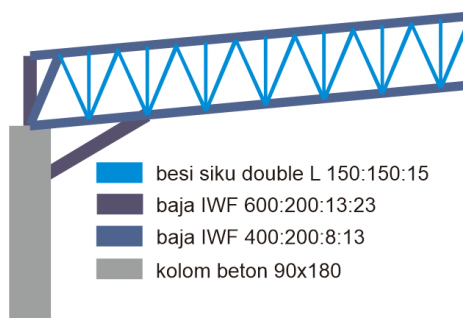
- Modulus Elastisitas, E = 200.000 Mpa
- Modulus Geser, G = 80.000 Mpa
- Angka Poisson = 0,30
- Koefisien muai panjang,  $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan putusnya, SNI 03-1729-2002 mengklasifikasikan mutu dari material baja menjadi 5 kelas mutu sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Tabel Mutu Baja

Jenis Baja	fu (Mpa)	fy (Mpa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Setiap beban yang ditahan oleh batang-batang pada tiap kuda-kuda berbeda. Sehingga, material yang digunakan untuk tiap batang dibedakan, untuk menghemat biaya dan meringankan beban struktur kuda-kuda, tentunya tanpa melupakan kestabilan struktur. Maka ditentukanlah profil-profil berikut dalam struktur kuda-kuda tersebut.



**Gambar 2.1** Keterangan Profil

Metode Elemen Hingga mengadakan pendekatan terhadap harga-harga yang tidak diketahui pada setiap titik secara diskrit. Dimulai dengan pemodelan dari suatu benda dengan membagi-bagi dalam bagian yang kecil yang secara keseluruhan masih mempunyai sifat yang sama dengan benda yang utuh sebelum terbagi dalam bagian yang kecil (diskritisasi).

SAP merupakan salah satu program yang berbasis elemen hingga. Penyajian model adalah dalam bentuk grafis yang terdiri dari berbagai geometri seperti titik, garis, bidang, volume dan pendefinisian atribut yang berupa material, beban, tumpuan dan mesh.

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Pengamatan Visual

Pemeriksaan Visual merupakan tahapan awal dari sekian tahapan yang akan dilakukan dalam pemeriksaan kondisi kelayakan hanggar. Pemeriksaan Visual bertujuan untuk mengetahui ukuran dan model pemasangan elemen portal di lapangan.

Pengamatan visual terdiri dari pengamatan :

- Model konstruksi hanggar
- Letak pemasangan masing-masing profil

### 3.2 Pengukuran

Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur panjang berupa meteran dengan ketelitian 0,1 cm dan micrometer skrup dengan ketelitian 0,01 cm.

### 3.3 Rancangan Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah simulasi pengujian laboratorium dengan pemodelan berbasis *Finite Element Method*. Analisis portal profil baja ini dilakukan dengan metode numerik menggunakan Program Komputer SAP 2000 v14 yang merupakan keluaran versi terbaru saat laporan ini disusun.

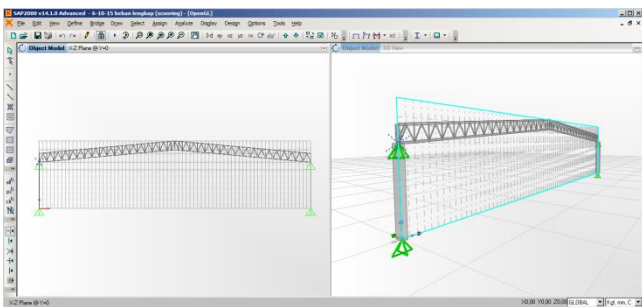
#### 3.3.1. Analisis Struktur

Struktur direncanakan untuk menahan beban angin dan beban hidup saja, sesuai dengan kondisi sebelum hanggar runtuh. Secara keseluruhan, hanggar memiliki ukuran lebar sekitar 90 meter dan tinggi total bangunan 22,29 meter.

Faktor reduksi kekuatan diambil sesuai dengan SNI 03-1729-2002 untuk baja dan SNI 03-2846-2002 untuk beton. Perencanaan bangunan ini dianalisa dengan dua dimensi.

### 3.3.2. Pemodelan Struktur

Struktur hanggar dimodelkan berdasarkan gambar As Built Drawing yang digunakan pada saat pembangunan. Bidang hanggar yang dimodelkan adalah struktur portal utama hanggar. Gambar diperoleh dari Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. Gambar 2D bangunan yang ditinjau dapat dilihat pada bangunan berikut ini :



Gambar 3.4 Tampak 3D Pemodelan Hanggar di Salah Satu Bentangnya

### 3.3.3. Pengkodean Model

Adapun variasi benda uji yang akan dimodelkan adalah :

Tabel 3.2 Variasi Pemodelan Model

No.	Kode	Keterangan		
		Penyangga Dasar	Skur	Penyangga Tambahan
1	Mod1	Sendi-Sendi	Ada	4 Sendi
2	Mod2	Sendi-Sendi	Ada	-

3	Mod3	Sendi-Sendi	-	2 Sendi
4	Mod4	Sendi-Sendi	-	-
5	Mod5	Jepit-Jepit	Ada	-
6	Mod6	Jepit-Jepit	-	-

### 3.3.4. Model Finite Elemen

Tergantung pada aplikasinya, beberapa metode finite elemen dapat digunakan untuk kolom beton. Elemen dapat berupa kontinum (pejal) atau elemen struktur (cangkang, balok). Elemen-elemen tersebut pada umumnya dapat digunakan pada jenis material lain. Dalam penelitian ini kolom beton dimodel dalam 2-dimensi sebagai thick beam linear isotropic, yaitu material kolom beton dianggap mempunyai properti yang sama ke semua arah (isotropis) dan merupakan batang tebal. Serta dikarenakan elemen kolom beton akan dianggap tidak terpengaruh oleh pembebanan yang terjadi sehingga tidak akan terjadi perubahan perilaku dari isotropiknya (linear).

Metode finite elemen akan sangat menguntungkan pada saat mendefinisikan profil baja yang begitu banyak, dan memiliki ukuran besar. Dalam hal ini masing-masing profil akan didefinisikan sama seperti kolom balok yakni 2-dimensi sebagai *thick beam linear isotropi*, namun dengan geometri dan jenis profilnya masing-masing.

Value		Beton (Concrete)	Baja Ringan (Mild Steel)
Elastic	Young's Modulus	30000 MPa	209000 MPa
	Poisson's ratio	0,2	0,3
	Mass Density	2,4 ton/m <sup>3</sup>	7,8 ton/m <sup>3</sup>
	Coefficient of thermal expansion	10x10 <sup>-6</sup> unit/°C	11x10 <sup>-6</sup> unit/°C
Thermal	Thermal Conductivity	-	82 unit/m <sup>2</sup> .s.C
	Volumetric heat capacity	-	3604x10 <sup>3</sup> unit/m <sup>3</sup> .C

### 3.3.5. Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur Hanggar dihitung berdasarkan ketentuan pada SNI-1727-2013 untuk perhitungan beban grafitasi. Untuk lebih jelasnya uraian untuk tiap jenis beban diuraikan sebagai berikut :

1. Pembebanan akibat grafitasi
2. Pembebanan angin

Merujuk pada kombinasi dasar untuk beban nominal yang menggunakan desain tegangan izin di pasal 2.4.1 SNI 1727-2013 maka akan digunakan beberapa kombinasi pembebanan yakni:

1. D
2. D + 0,6 W
3. 0,6 D + 0,6 W
4. D + L

Ket : D = Dead Load (Beban Mati)

W = Wind Load (Beban Angin) dihitung dengan metode amplop SPBAU SNI 1727 – 2013 sebesar 29,36 N/m arah horizontal dari kiri hanggar ke kanan

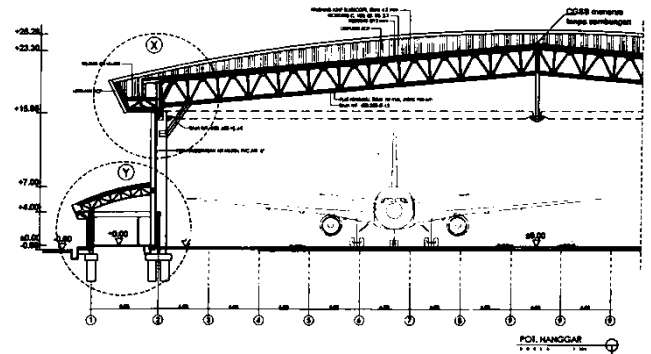
L = Life Load (Beban Hidup) didistribusikan merata di bagian rangka atas sebesar 100 kg/m. Beban ini kemudian dikonversikan menjadi beban terpusat pada join-join terletaknya beban hidup. Dimana beban terpusat pada semua joinnya adalah 125,5233 kg kecuali pada ujung-ujung batangnya, yaitu 62,7616 kg

### 3.3.6. Metode Pengambilan Data Lapangan

Gambar 3.2 Diagram Alir Prosedur Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Desain Struktur



Gambar 4.1 Tampak Depan Desain Struktur Hanggar

Tabel 4.1 Pengukuran Langsung Profil Hanggar di Lapangan

Jenis Profil (menurut perencanaan)	Hasil Pengukuran Profil				
	h	b	tb	tsa	tsb
	mm	mm	mm	mm	mm
Baja IWF 600x200x11x17	602	201	~	24,75	25,75
Baja IWF 400x200x8x13	402	297,5	8,63	13,88	13,86
Besi Siku Double L 150x150x15	120	102	12,54	-	12,25
Beton kolom 90x180	181,5	90	-	-	-

~ tidak terukur

### 4.2 Pemodelan

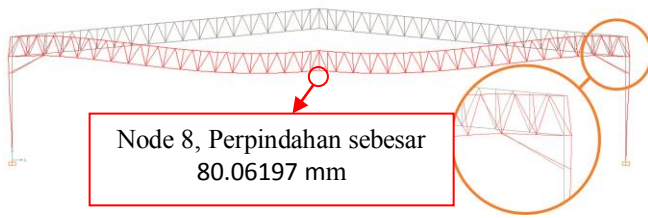
Perilaku material yang dimodel dengan cara nonlinear pada SAP terpisah dari pemodelan elemennya dan dapat dimodel menggunakan elemen bidang 2-D.

Pemodelan pada penelitian ini akan menguji 6 jenis rangka berbeda dengan masing-masing 4 jenis kombinasi pembebanan yang berbeda pula.

### 4.3 Output Analisis

Setelah menginput data beban, spesifikasi elemen dan pemodelan struktur di SAP 2000, data-data mengenai sikap struktur setelah menerima beban bisa didapatkan setelah analisa dijalankan. Data-data setelah analisa tersebut berupa lendutan, beban axial, beban geser, momen lentur dan tegangan pada elemen.

### 4.3.1 Lendutan



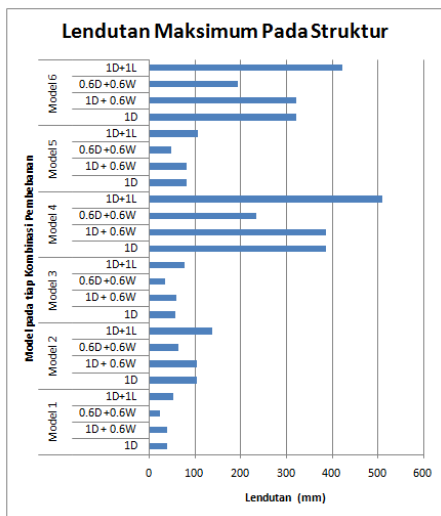
Node 8, Perpindahan sebesar 80.06197 mm

Gambar 4.2 Lendutan Model 1 Kombinasi Beban 1

Tabel 4.2 Lendutan Maksimum dan Minimum dari Tiap Model

Model	Tumpuan	Skur	Kombinasi	Maksimum	
				Joint	Displacement (mm)
1	[Skur 1]	[Skur 1]	Komb. 1	7	38.83117883
			Komb. 2	7	38.83117883
			Komb. 3	7	23.35016885
			Komb. 4	7	51.03249497
2	[Skur 2]	[Skur 2]	Komb. 1	8	103.9310148
			Komb. 2	8	104.2025824
			Komb. 3	8	62.63017649
			Komb. 4	8	136.7793366
3	[Skur 3]	[Skur 3]	Komb. 1	7	57.13539631
			Komb. 2	7	57.32637749
			Komb. 3	7	34.47221896
			Komb. 4	7	75.41893633
4	[Skur 4]	[Skur 4]	Komb. 1	8	386.1129052
			Komb. 2	8	387.2986311
			Komb. 3	8	232.8534691
			Komb. 4	8	509.0312279
5	[Skur 5]	[Skur 5]	Komb. 1	8	80.06196836
			Komb. 2	8	80.28963269
			Komb. 3	8	48.26484535
			Komb. 4	8	105.3615767
6	[Skur 6]	[Skur 6]	Komb. 1	8	321.1855491
			Komb. 2	8	322.1500807
			Komb. 3	8	193.6758611
			Komb. 4	8	423.4457241

Grafik 4.1 Perbandingan Lendutan Maksimum



### 4.3.2 Gaya-Gaya Batang

#### a. Gaya Aksial (Axial Force)

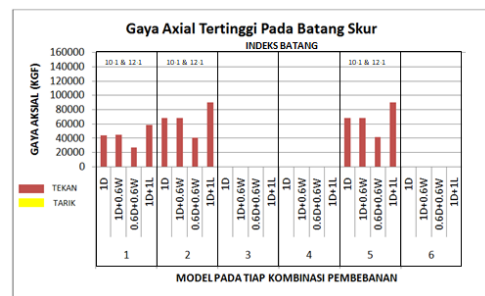


Gambar 4.3 Diagram Fill Gaya Aksial Model 1 Kombinasi 1

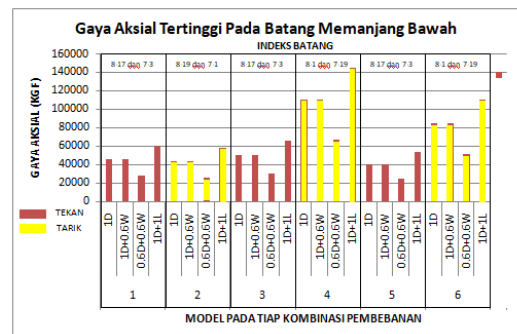
Tabel 4.3 Rekapitulasi Gaya Aksial dari Setiap Model

TABLE: Element Forces - Frames (Axial Only) Rekapitulasi Aksial Maximum						
Model		Kombinasi Pembebanan	P (Maximum)		P (Baja Memanjang)	
Tumpuan	Skur		Kgf	Kgf	bawah	Atas
Pictures	Pictures	Text			Kgf	Kgf
1	[Skur 1]	1D	- 45249.85	- 43868.87	- 45249.85	- 33278.54
		1D+0.6W	- 45395.99	- 44102.23	- 45395.99	- 33383.61
		0.6D+0.6W	- 27296.05	- 26514.28	- 27296.05	- 20072.19
		1D+1L	- 59621.89	- 57929.91	- 59621.89	- 43960.91
2	[Skur 2]	1D	- 67897.97	- 67897.97	+ 43805.9	- 42861.65
		1D+0.6W	- 67622.67	- 67622.67	+ 43557.14	- 42997.61
		0.6D+0.6W	- 40463.48	- 40463.48	+ 26034.78	- 25482.95
		1D+1L	- 89352.01	- 89352.01	+ 57638.78	- 56482.63
3	[Skur 3]	1D	- 49699	- 49699	- 49699	- 46002.9
		1D+0.6W	- 49862.66	- 49862.66	- 49862.66	- 46147.02
		0.6D+0.6W	- 29983.06	- 29983.06	- 29983.06	- 27745.86
		1D+1L	- 65487.59	- 65487.59	- 65487.59	- 60847.63
4	[Skur 4]	1D	+ 109828.08		+ 109828.1	- 108629.17
		1D+0.6W	+ 110128.08		+ 110128.1	- 108965.17
		0.6D+0.6W	+ 66196.85		+ 66196.85	- 65513.5
		1D+1L	+ 144396.31		+ 144396.3	- 143249.11
5	[Skur 5]	1D	- 67957.76	- 67957.76	- 40349.94	- 37787.49
		1D+0.6W	- 68030.16	- 68030.16	- 40409.78	- 37913.8
		0.6D+0.6W	- 40847.06	- 40847.06	- 24269.81	- 22789.8
		1D+1L	- 89390.25	- 89390.25	- 53186.86	- 49847.75
6	[Skur 6]	1D	- 94162.34		+ 84135.78	- 94162.34
		1D+0.6W	- 94454.13		+ 84370	- 94454.13
		0.6D+0.6W	- 56789.19		+ 50715.69	- 56789.19
		1D+1L	- 124179.32		+ 110529.4	- 124179.32

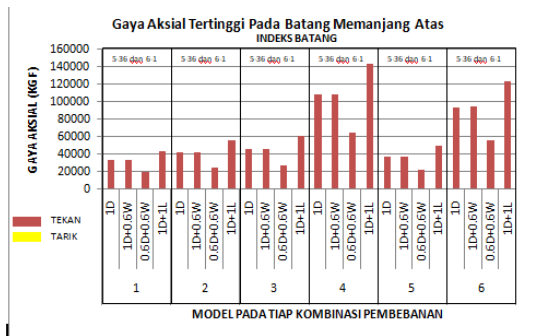
Grafik 4.2 Perbandingan Gaya Aksial Di Batang Skur



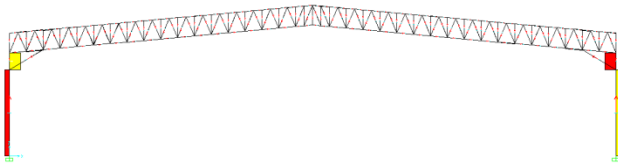
Grafik 4.3 Perbandingan Gaya Aksial Di Batang Memanjang Bawah



Grafik 4.4 Perbandingan Gaya Aksial Di Batang Memanjang Atas



b. Gaya Geser (Shear Force)

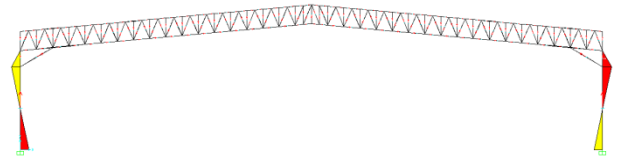


Gambar 4.4 Diagram Fill Gaya Geser Model 5 Kombinasi 1

Tabel 4.4 Rekapitulasi Gaya Geser dari Setiap Model

Model		Kombinasi	Maksimum		Minimum	
Tumpuan	Skur		Batang	V2	Batang	V2
Picture	Picture	Text	Text	Kgf	Text	Kgf
1		1D	5	952.99	6	-952.99
		1D+0.6W	5	929.1	6	-929.1
		0.6D+0.6W	5	558.71	6	-558.71
		1D+1L	5	1270.5	6	-1270.5
2		1D	1	51600.04	2	-51600.04
		1D+0.6W	1	52161.16	2	-52161.16
		0.6D+0.6W	1	31521.15	2	-31521.15
		1D+1L	1	67917.31	2	-67917.31
3		1D	5	752.61	6	-752.61
		1D+0.6W	5	755.58	6	-755.58
		0.6D+0.6W	5	454.53	6	-454.53
		1D+1L	5	1050.62	6	-1050.62
4		1D	5	1559.28	6	-1559.28
		1D+0.6W	5	1563.89	6	-1563.89
		0.6D+0.6W	5	940.18	6	-940.18
		1D+1L	5	2740.64	6	-2740.64
5		1D	1	42060.68	2	-42060.68
		1D+0.6W	1	42279.26	2	-42279.26
		0.6D+0.6W	1	25454.99	2	-25454.99
		1D+1L	1	55367.86	2	-55367.86
6		1D	1	-10601	2	10601
		1D+0.6W	1	-10646.73	2	10646.73
		0.6D+0.6W	1	-6406.18	2	6406.18
		1D+1L	1	-13974.46	2	13974.46

c. Momen Lentur (Bending Moment)



Gambar 4.5 Diagram Fill Momen Lentur Model 5 Kombinasi 1

Tabel 4.5 Rekapitulasi Momen Lentur dari Setiap Model

Model		Kombinasi	Maksimum		Minimum	
Tumpuan	Skur		Batang	M3	Batang	M3
Gambar	Gambar	Text	Text	Kgf-m	Text	Kgf-m
1		1D	5 dan 6	572.27	7 dan 8	-2225.40
		1D+0.6W	5 dan 6	574	7 dan 8	-2231.94
		0.6D+0.6W	5 dan 6	345.09	7 dan 8	-1341.78
		1D+1L	5 dan 6	749.54	7 dan 8	-2909.66
2		1D	1	129000.09	2	-129000.09
		1D+0.6W	1	130386.04	2	-130386.04
		0.6D+0.6W	1	78786	2	-78786
		1D+1L	1	169793.27	2	-169793.27
3		1D	5 dan 6	754.83	5 dan 6	-894.25
		1D+0.6W	5 dan 6	757.07	5 dan 6	-897.28
		0.6D+0.6W	5 dan 6	455.14	5 dan 6	-539.53
		1D+1L	5 dan 6	992.81	5 dan 6	-1189.55
4		1D	5 dan 6	2093.82	semua	0
		1D+0.6W	5 dan 6	2099.32	semua	0
		0.6D+0.6W	5 dan 6	1263.79	semua	0
		1D+1L	5 dan 6	2740.53	semua	0
5		1D	1	105151.7	2	-105151.7
		1D+0.6W	1	105681.27	2	-105681.27
		0.6D+0.6W	1	63620.59	2	-63620.59
		1D+1L	1	138419.66	2	-138419.66
6		1D	1	-161601.11	2	161601.11
		1D+0.6W	1	-160949.81	2	160949.81
		0.6D+0.6W	1	-96281.37	2	96281.37
		1D+1L	1	-213110.53	2	213110.53

### 4.3.3 Tegangan

Permodelan dengan SAP dapat menunjukkan gaya aksial (P) yang nantinya dikalikan dengan faktor tekuk untuk mendapatkan tegangan batang. Seperti yang ditunjukkan PPBBI, batang tertekan akan memenuhi syarat stabilitasnya bila memenuhi :

$$\sigma_k = \omega \frac{P}{A_g} \leq \frac{f_y}{1.5}$$

Dimana :

- $\sigma_k$  = Tegangan yang terjadi
- P = Gaya aksial (Tekan) yang bekerja
- $A_g$  = Luas penampang total batang yang ditinjau
- $f_y$  = Tegangan leleh mutu baja
- $\omega$  = Faktor tekuk



Untuk nilai faktor tekuk, menurut SNI 03-1729-2002 diperlukan langkah sebagai berikut :

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} (\lambda) \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

untuk $\lambda_c \leq 0,25$	maka $\omega = 1$
untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$	maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$
untuk $\lambda_c \geq 1,2$	maka $\omega = 1,25\lambda_c^2$

Dimana :

$\omega$  = Faktor tekuk

$\lambda_c$  = Koefisien angka kelangsingan

$\lambda$  = Angka kelangsingan (berpatokan pada SNI 03-1729-2002 pasal 9.1-1)

$f_y$  = Tegangan leleh mutu baja

E = Modulus elastisitas baja = 210000 MPa

Dengan mengikuti rumus diatas, menggunakan data beban aksial dan dimensi penampang baja yang sudah ada, rekapitulasi tegangan bisa didapat seperti yang disediakan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Rekapitulasi Tegangan Maksimum dan Minimum untuk Setiap Model Hanggar

Model		Kombinasi	Tegangan (MPa)		Nomor Batang		fy (MPa)	fu (MPa)
Tumpuan	Skur		Tarik	Tekan	Max	Minimum		
1		1D	18.97	63.62	7 dan 8	7 dan 8	240	370
		1D+0.6W	19.02	63.82	7 dan 8	7 dan 8	240	370
		0.6D+0.6W	11.44	38.37	7 dan 8	7 dan 8	240	370
		1D+1L	25.15	83.82	7 dan 8	7 dan 8	240	370
2		1D	54.97	171.42	7 dan 8	12 dan 10	240	370
		1D+0.6W	54.66	170.72	7 dan 8	12 dan 10	240	370
		0.6D+0.6W	32.67	102.16	7 dan 8	12 dan 10	240	370
		1D+1L	72.39	225.58	7 dan 8	12 dan 10	240	370
3		1D	12.75	58.25	120 dan 13	7 dan 8	240	370
		1D+0.6W	12.79	58.14	120 dan 13	7 dan 8	240	370
		0.6D+0.6W	7.69	34.96	120 dan 13	7 dan 8	240	370
		1D+1L	16.83	76.36	120 dan 13	7 dan 8	240	370
4		1D	154.40	152.72	7 dan 8	7 dan 8	240	370
		1D+0.6W	154.83	153.19	7 dan 8	7 dan 8	240	370
		0.6D+0.6W	93.06	92.10	7 dan 8	7 dan 8	240	370
		1D+1L	203.00	201.39	7 dan 8	7 dan 8	240	370
5		1D	48.91	171.57	7 dan 8	12 dan 10	240	370
		1D+0.6W	48.91	171.57	7 dan 8	12 dan 10	240	370
		0.6D+0.6W	29.34	103.12	7 dan 8	12 dan 10	240	370
		1D+1L	64.36	225.68	7 dan 8	12 dan 10	240	370
6		1D	118.28	112.71	7 dan 8	5 dan 6	240	370
		1D+0.6W	118.61	113.06	7 dan 8	5 dan 6	240	370
		0.6D+0.6W	71.30	67.98	7 dan 8	5 dan 6	240	370
		1D+1L	155.39	148.64	7 dan 8	5 dan 6	240	370

Tabel 4.7 Rekapitulasi Perbandingan di Batang yang Menerima Tegangan Maksimum dan Minimum

Model		Kombinasi	Tegangan Terberat Yang Diterima		
Tumpuan	Skur		Batang Skur (12 & 10)	Batang Memanjang Atas (5 & 6)	Batang Memanjang Bawah (7 & 8)
Gambar	Gambar	Teks	Mpa	Mpa	Mpa
1		1D	-110.7540	-54.1644	-46.7856
		1D+0.6W	-111.3431	-54.3393	-46.9333
		0.6W+0.6W	-66.9395	-32.6736	-28.2191
		1D+1L	-146.2533	-71.3678	-61.8037
2		1D	-171.4193	52.4360	-60.2583
		1D+0.6W	-170.7242	52.1382	-60.4494
		0.6W+0.6W	-102.1565	31.1638	-35.8259
		1D+1L	-225.5834	68.9940	-79.4077
3		1D	0.0000	-59.4900	-64.6745
		1D+0.6W	0.0000	-59.6859	-64.8771
		0.6W+0.6W	0.0000	-35.8899	-39.0073
		1D+1L	0.0000	-78.3891	-85.5444
4		1D	0.0000	131.4650	-152.7194
		1D+0.6W	0.0000	131.8241	-153.1918
		0.6W+0.6W	0.0000	79.2381	-92.1040
		1D+1L	0.0000	172.8434	-201.3908
5		1D	-171.5702	-48.2992	-53.1246
		1D+0.6W	-171.7530	-48.3708	-53.3022
		0.6W+0.6W	-103.1249	-29.0511	-32.0397
		1D+1L	-225.6800	-63.6650	-70.0799
6		1D	0.0000	100.7111	-132.3808
		1D+0.6W	0.0000	100.9915	-132.7910
		0.6W+0.6W	0.0000	60.7070	-79.8387
		1D+1L	0.0000	132.3044	-174.5810

= tegangan tarik terberat pada model  
 = tegangan tekan terberat pada model

## PENUTUP

### I.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan SAP 2000 pada setiap model yang telah ditentukan, bisa ditarik beberapa kesimpulan yang unik untuk setiap modelnya. Kesimpulan-kesimpulan tersebut adalah :

1. Lendutan tertinggi terjadi pada Model 4, lalu tidak jauh dibawahnya adalah Model 6. Kedua model ini tidak menggunakan skur. Model 3 juga tidak menggunakannya, tetapi nilai displacement pada Node 7 dan Node 8 berkurang drastis karena tumpuan sendi pada ujung-ujung rangka baja. Bisa disimpulkan bahwa kestabilan ujung-ujung rangka baja adalah faktor penting besar kecilnya displacement rangka baja, seperti pada model-model yang menggunakan batang skur.
2. Beban aksial pada rangka direduksi lebih dari 50% oleh batang skur. Kesimpulan ini berdasarkan perbandingan beban aksial antara Model 2 dan Model 4 serta perbandingan beban aksial antara Model 5

dan Model 6. Sedangkan Model 1 dan Model 3 termasuk model dengan beban aksial terendah, karena kestabilan yang diberikan tumpuan-tumpuan model tersebut.

3. Terbebaninya kolom pada setiap model bila ditinjau dari beban geser dan momen lentur memiliki kesamaan. Terkecuali Model 1 dan Model 3, seluruh model dengan batang skur memberikan beban geser dan momen lentur yang besar pada kolom beton, sedangkan yang tidak memiliki skur mengandalkan tumpuan bawah struktur untuk mengatasi beban geser dan momen lenturnya. Terlihat keanehan nilai beban geser dan momen lentur pada Model 4, karena struktur menggunakan tumpuan sendi yang membuatnya menjadi labil.
4. Tegangan tertinggi terjadi pada Model 5, tepatnya pada batang skur. Ini disebabkan perannya sebagai batang yang meneruskan beban rangka ke kolom beton. Bila melihat tegangan yang terjadi pada Batang 5, 6, 7 dan 8, bisa disimpulkan peran krusial batang skur dalam mengurangi tegangan pada struktur.
5. Jika kita perhatikan tegangan yang terjadi pada struktur, maka seharusnya material dapat menahan tegangan yang terjadi. Kecuali pada batang skur di Model 2 dan Model 5 yang menggunakan Kombinasi Pembebanan 4.
6. Model 5 adalah struktur yang dmodelkan mengikuti struktur rangka baja pada Hanggar Bandara Sultan Hasanuddin. Setelah memperhatikan hasil analisa pada Bab IV dan kondisi lapangan, bisa disimpulkan bahwa penyebab robohnya hanggar dikarenakan baut yang menyambungkan skur dan rangka baja belum terpasang.

## I.2. Saran

Saran-saran yang dapat diambil dari pengujian, pembahasan dan kesimpulan adalah:

1. Agar peneliti selanjutnya apabila menggunakan menggunakan software analisis struktur berbasis metode elemen hingga, untuk menguasai metode elemen hingga dan bahasa yang digunakan aplikasi tersebut terlebih dahulu
2. Agar peneliti selanjutnya hendaknya mempunyai wawasan yang diperlukan untuk

menilai benar tidaknya diagram fill pada diagram momen, lintang dan geser.

3. Agar peninjauan pada pondasi hangar dilakukan agar mendapatkan kesimpulan penyebab rubuh yang lebih akurat.
4. Agar diteliti lebih lanjut tinjauan struktur sebagai kesatuan monolit, karena bentang-bentang rangka saling berhubungan.
5. Agar penelitian selanjutnya perlu diberikan kesempatan melakukan tinjauan lapangan lebih hati-hati dan mendetail untuk mendapatkan data lapangan yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariestadi, Dian. 2008. *Teknik Struktur Bangunan Jilid 2 untuk SMK*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional, h. 204 – 210.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)*. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2015)*. Jakarta
- Chu-Kia Wang. *Struktur Statis Tak Tentu*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Prayogo, Jodie. 2015. *Pemodelan Konstruksi Portal Rangka Baja Berbasis Finite Element Method (FEM)*. Makassar.
- Suban. 2012. *Analisis Kekuatan Balok Pada Gedung Makassar Mall Pasca Kebakaran*. Makassar.
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai SNI 03-729-2002)*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Sunggono Kh. 1995. *Buku Teknik Sipil*. Bandung: Penerbit Nova