

PERENCANAAN STRUKTUR ATAS HANGGAR DI BANDAR UDARA KALIMARAU KALIMANTAN TIMUR

Agus Triyono¹, Bambang Driyono², Shindy Mayang Shari³

^{1,2,3}) Politeknik Penerbangan Surabaya, Jl. Jemur Andayani I No 73 Surabaya 60236

Email: shindymayang96@gmail.ac.id

Abstrak

Perencanaan struktur atas hanggar pesawat di Bandar Udara Kalimantan Timur, dilakukan untuk mendukung pengembangan fasilitas transportasi udara. Hanggar dirancang berukuran 76 m×75 m×13 m, dan mampu menampung pesawat Boeing 737-800 serta ATR 72-500. Struktur atas menggunakan sistem rangka atap tipe truss baja, yang efisien untuk bentang besar. Analisis dilakukan dengan *software* SAP2000, mengacu pada SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 1729:2020. Beban yang dianalisis meliputi beban mati, hidup, angin, dan gempa. Elemen utama terdiri dari kolom WF 588×300×12×20, batang truss frame dari pipa baja diameter 10 dan 8 inci, serta bracing dan penyokong dari profil L dan pipa. Hasil analisis menunjukkan beban maksimum terjadi pada kombinasi angin dan gempa. Beberapa penyokong perlu peningkatan penampang akibat tegangan berlebih. Setelah dilakukan kontrol penampang terhadap gaya aksial, momen, geser, dan kelangsingan, seluruh elemen struktur dinyatakan aman dan layak. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur baja dapat digunakan secara optimal untuk pembangunan hanggar skala besar yang bersifat komersial dan fungsional.

Kata Kunci: hanggar pesawat, struktur baja, SAP2000, profil WF, truss frame

Abstract

The structural design of the upper structure of an aircraft hangar at Kalimantan Airport, East Kalimantan, was conducted to support the development of air transportation facilities in the region. The hangar is designed with dimensions of 76 m×75 m×13 m and is capable of accommodating Boeing 737-800 and ATR 72-500 aircraft. The upper structure uses a steel roof truss system, which is efficient for long-span buildings. The structural analysis was conducted using SAP2000 software, referring to national standards: SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, and SNI 1729:2020. The applied loads include dead loads, live loads, wind loads, and seismic loads. The main structural elements consist of WF 588×300×12×20 columns, truss frame members made of 10-inch and 8-inch steel pipes, and bracing and support elements using L profiles and pipes. The analysis results show that the maximum load occurs under a combination of wind and seismic loads. Some support elements required section upgrades due to overstress. After performing section checks for axial forces, bending moments, shear forces, and slenderness, all structural elements were declared safe and feasible. This study confirms that steel structures are optimally suitable for the construction of large-scale, functional, and commercially oriented aircraft hangars.

Keywords: aircraft hangar, steel structure, SAP2000, WF profile, truss frame

PENDAHULUAN

Bandar Udara Kalimantan terletak di Kecamatan Teluk Bayur, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur. Bandar Udara Kalimantan melayani penerbangan dengan berbagai jenis maskapai dan pesawat. Terdapat pesawat pertama jenis Boeing 737 yang digunakan oleh maskapai Batik Air dengan rute PP Berau–Jakarta, Berau–Surabaya dan Berau–Yogyakarta. Pesawat jenis lain yaitu pesawat Airbus 320 yang digunakan oleh maskapai Super Air Jet dengan rute Surabaya–Berau, pesawat L-410 yang digunakan oleh maskapai Susi Air dengan rute Berau–

Maratua dan pesawat jenis ATR–72 yang digunakan oleh maskapai Wings Air dan Citilink dengan rute Berau–Balikpapan.

Bandar Udara Kalimantan memiliki *masterplan* yang disusun sebagai acuan dalam perencanaan dan pengembangan fasilitas bandar udara untuk memenuhi kebutuhan di masa mendatang.

Sehubungan dengan rencana induk Bandar Udara Kalimantan Kalimantan Timur, dalam *masterplan* terdapat perencanaan gedung hanggar baru di Bandar Udara Kalimantan yang dioperasikan pada Tahap II. Hanggar berfungsi sebagai sarana pelindung pesawat dari pengaruh cuaca, termasuk paparan langsung sinar

matahari, sekaligus dimanfaatkan untuk kegiatan pemeliharaan, perbaikan, pembuatan, perakitan, serta penyimpanan pesawat di area bandar udara. Tujuan perencanaan hanggar baru di Bandar Udara Kalimantan, yaitu dikomersialkan atau disewakan kepada *airline* yang berminat untuk kegiatan perawatan pesawat. Tujuan perencanaan ini melalui pembangunan hanggar baru dengan desain sebuah struktur baja rangka ruang untuk digunakan pada bangunan hanggar baru yang diharapkan dapat menampung pesawat jenis Boeing 737-800 yang memiliki lebar sayap 34,3 meter, panjang 39,5 meter, tinggi 12,5 meter dan ATR 72-500 yang memiliki lebar sayap 27 meter, panjang 27,2 meter, tinggi 7,6 meter.

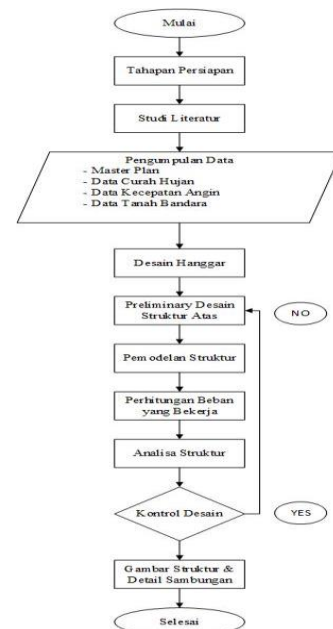
Pesawat jenis ini dipilih karena ia merupakan jenis pesawat terbesar yang dapat dilayani oleh Bandar Udara Kalimantan hingga saat ini. Dalam upaya memenuhi kebutuhan ini, analisis perencanaan struktur hanggar baru menggunakan *software* SAP2000. *Software* ini digunakan untuk perhitungan kekuatan struktur khususnya bangunan bertingkat tinggi, yang sangat diminati oleh semua *civil engineer* karena sangat mudah dipelajari dan *simple* digunakan. Keunggulan perangkat lunak ini terletak pada kemampuannya menganalisis beragam tipe struktur dalam format tampilan dua maupun tiga dimensi dengan variasi kombinasi pembebanan secara efisien, serta dilengkapi fitur yang memungkinkan pengguna mengidentifikasi gaya-gaya yang bekerja pada elemen struktur akibat beban yang diterimanya.

Oleh karena itu, diperlukan adanya penelitian untuk merencanakan struktur atas hanggar baru sesuai dengan lokasi pada rencana induk. Penelitian ini disusun secara sistematis ke dalam bentuk proyek akhir yang berjudul, “PERENCANAAN STRUKTUR ATAS HANGGAR DI BANDAR UDARA KALIMARAU KALIMANTAN TIMUR.”

Rumusan masalah dari permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana desain denah 2D hanggar baru untuk pesawat Boeing 737-800 dan ATR 72-500 pada Bandar Udara Kalimantan menggunakan *Software* Autocad?
2. Bagaimana cara menentukan gaya dalam (aksial, geser, momen) struktur baja hanggar baru untuk pesawat Boeing 737-800 dan ATR 72-500 pada Bandar Udara Kalimantan menggunakan *Software* SAP2000?
3. Bagaimana cara menghitung elemen struktur baja hanggar baru untuk pesawat Boeing 737-800 dan ATR 72-500 yang dibutuhkan pada Bandar Udara Kalimantan menggunakan *Software* SAP2000?

METODE



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan metode penulisan sebagai berikut:

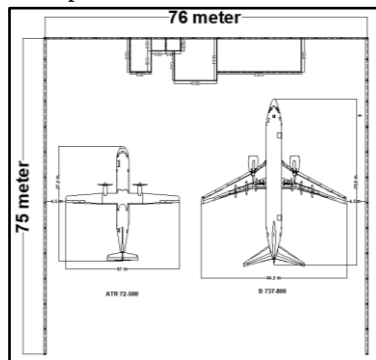
1. Metode ini digunakan untuk mempelajari dasar teori dan rumus yang dipakai dalam pengerjaan perencanaan dimensi saluran tertutup yang disesuaikan dengan peraturan Bandar Udara Kalimantan.
2. Melakukan pengumpulan data sekunder berupa studi literatur terhadap dokumen *masterplan*, kecepatan angin dan data tanah Bandar Udara Kalimantan tahun 2024 serta standar teknis SNI.
3. Melakukan pengumpulan data primer melalui pemodelan struktur menggunakan *software* SAP2000, mencakup input beban, analisis gaya dalam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Desain Denah 2D Hanggar Menggunakan AutoCAD

Denah 2D hanggar dirancang menggunakan AutoCAD dengan dimensi 76 m × 75 m untuk menampung satu pesawat Boeing 737-800 dan satu pesawat ATR 72-500. Tata letak pintu utama diletakkan pada sisi lebar bangunan agar pesawat dapat masuk sejajar dengan sumbu memanjang hanggar. Proses perancangan meliputi pengaturan satuan gambar, pembuatan layer, penarikan garis acuan sumbu, serta penggambaran kolom dan ruang fungsional (gudang, ruang alat, ruang ganti, toilet, mushola, kantor, dan VIP). Hasil akhir berupa denah 2D lengkap yang menampilkan ruang utama sebagai area parkir pesawat dan ruang pendukung di sisi bangunan.

Keunikan desain ini adalah penerapan konsep hanggar terbuka tanpa pintu, sehingga dapat memfasilitasi dua jenis pesawat dalam satu zona parkir sekaligus meningkatkan efisiensi operasional tanpa tambahan struktur pintu. Zona servis dan fasilitas pendukung juga diatur agar tidak mengganggu area manuver pesawat, sehingga pemanfaatan tapak lebih optimal. Dengan bantuan AutoCAD, konfigurasi ruang dirancang presisi, modular, dan adaptif terhadap kebutuhan multi-pesawat,

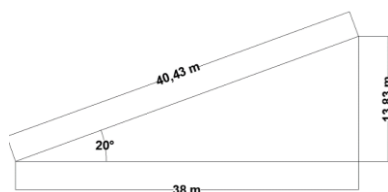


Gambar 2. Pemodelan 2D Perencanaan Hanggar

2. Pemodelan dan Pembebanan

Struktur hanggar dimodelkan tiga dimensi menggunakan SAP2000 dengan sistem rangka baja tipe truss frame. Elemen utama terdiri dari kolom WF $588 \times 300 \times 12 \times 20$, batang atap pipa baja diameter 10 inci, batang diagonal/vertikal pipa 8 inci, serta bracing menggunakan profil L. Material baja yang digunakan adalah SS400 dengan tegangan leleh 240 MPa.

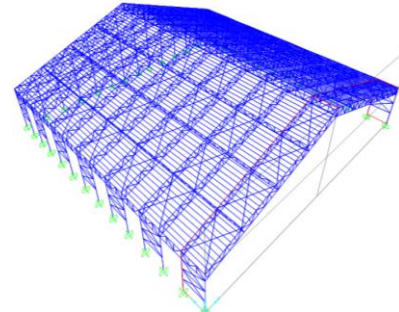
Dalam proses pemodelan, konfigurasi grid disesuaikan secara presisi terhadap geometri hanggar. Salah satu aspek penting adalah penyesuaian sumbu vertikal (Z) untuk menentukan tinggi rafter atap menggunakan prinsip Pythagoras. Dengan tinggi kolom 13m, alas 38 m dan sudut atap 20° , diperoleh tambahan panjang $x = 13,83 \text{ m}$. Sehingga total tinggi rafter mencapai 26,83 m. Perhitungan ini memastikan model mengikuti kondisi aktual kuda-kuda dan menghasilkan distribusi beban yang lebih realistis.



Gambar 3. Pythagoras Rafter

Langkah awal pemodelan di SAP2000 dilakukan dengan mendefinisikan Grid System Data sebagai acuan penempatan elemen struktural. Sistem grid yang terdiri dari sumbu X, Y, dan Z merepresentasikan arah horizontal, vertikal, dan elevasi, sehingga

memudahkan pengaturan posisi kolom, balok, serta rangka atap secara presisi sesuai dengan koordinat geometris bangunan. Selanjutnya, pemodelan tiga dimensi (3D) memperlihatkan susunan lengkap elemen struktur dan jalur distribusi beban dari atap hingga ke fondasi. Visualisasi ini berfungsi tidak hanya sebagai representasi geometris, tetapi juga sebagai alat analisis untuk memeriksa titik kritis dan memastikan sistem bracing bekerja optimal terhadap beban lateral.



Gambar 4. Pemodelan 3D Struktur atas Hanggar

Pembebanan struktur mengacu pada SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 1729:2020, mencakup beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Perhitungan beban angin dilakukan dengan kecepatan dasar 38,3 m/s, sedangkan beban gempa dianalisis dengan metode respons spektral. Berdasarkan kondisi tanah di lokasi, struktur dikategorikan pada kelas situs SE dan kategori desain seismik D. Kombinasi pembebanan disusun sesuai ketentuan SNI untuk mengevaluasi kondisi kritis struktur.

Hasil analisis menunjukkan bahwa gaya dalam (momen, geser, aksial) menjadi dasar verifikasi kekuatan dan kestabilan penampang. Respons struktur paling dominan dipengaruhi oleh gempa, sesuai dengan kondisi tapak yang berada pada kelas tanah lunak (SE) dan kategori desain seismik D. Identifikasi kombinasi beban paling kritis memungkinkan evaluasi kapasitas elemen secara lebih akurat dalam kondisi ekstrem. Dengan demikian, model struktur tidak hanya memenuhi persyaratan teknis, tetapi juga adaptif terhadap faktor lingkungan nyata di lokasi pembangunan.

3. Gaya Dalam

Analisis struktur dengan perangkat lunak SAP2000 menghasilkan nilai gaya dalam pada elemen utama, meliputi gaya aksial, momen lentur, gaya geser, dan momen torsi. Nilai-nilai ini ditampilkan secara sistematis pada tabel berikut, yang menjadi dasar evaluasi kekuatan dan stabilitas elemen struktur baja.

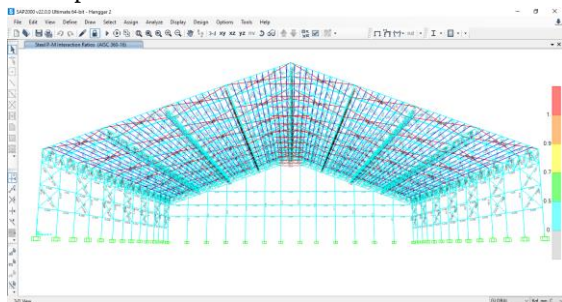
Elemen	P (N/mm)	M3-3 (N/mm)	V2 (N/mm)
Rangka Rafter Atas	158617	13251922,92	23404,49
Rangka rafter Bawah	163919,73	19889859,42	48844,62
Rangka rafter Tengah	183695,06	490399,18	693,26
Kolom Samping	14713	10894	4032
Kolom Belakang	14889,56	11105,94	4111,26
Bracing	55423,69	1003419,19	1155,64
Sokong	3.33E-12	3466929,3	2685,13

Tabel 1. Nilai Gaya Dalam

Data gaya dalam tersebut digunakan untuk menentukan kebutuhan penampang, mengevaluasi kapasitas struktur terhadap beban maksimum, serta memastikan seluruh komponen memenuhi kriteria kekuatan, kekakuan, dan stabilitas sesuai dengan ketentuan SNI yang berlaku.

4. Kontrol Penampang

Kontrol penampang dilakukan untuk menilai kesesuaian kapasitas elemen struktur terhadap beban kombinasi yang bekerja. Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan software SAP2000, seluruh elemen struktur menunjukkan nilai rasio interaksi yang rendah. Hal ini ditunjukkan melalui visualisasi berwarna hijau pada tampilan grafik, yang mengindikasikan bahwa tegangan yang terjadi masih jauh di bawah batas izin. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penampang yang digunakan telah memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas terhadap beban rencana.



Gambar 4. Hasil Analisis

Meskipun seluruh elemen struktur bekerja dalam batas aman, verifikasi lanjutan tetap dilakukan terhadap elemen dengan penampang lebih kecil, seperti bracing dan rafter tengah, untuk memastikan tidak terjadi ketidakstabilan lokal atau konsentrasi tegangan pada titik-titik kritis. Evaluasi ini diperlukan guna menjamin bahwa seluruh komponen struktur memiliki kinerja optimal dan mampu mempertahankan kestabilan sistem secara menyeluruh selama masa layan bangunan.

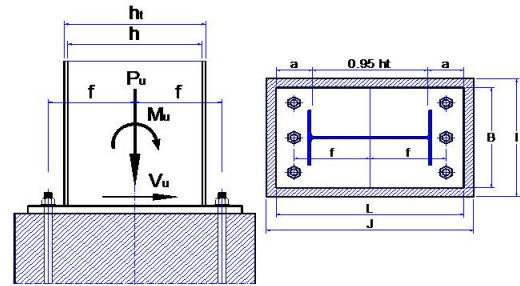
Elemen	Jenis Profil
Kolom	WF 588 x 300 x 12 x 20
Rafter Utama	Pipa 10"
Rafter Tengah	Pipa 8"
Bresing	2L80
Gording	CNP 150 x 50 x 2,3 x 20
Sokong	Pipa 10"

Tabel 2. Jenis Profil Baja yang Digunakan

5. Sambungan

Sambungan Baseplate Kolom Belakang

1. Section Properties



Gambar 5. Sambungan Baseplate Kolom Belakang

KOLOM PEDESTAL

Kuat tekan beton,
Lebar penampang kolom,
Panjang penampang kolom,

DATA KOLOM BETON

$f'_c = 25$ MPa
 $I = 452$ mm
 $J = 740$ mm

PLAT TUMPUAN (BASE PLATE)

Tegangan leleh baja,
Tegangan tarik putus plat,
Lebar plat tumpuan,
Panjang plat tumpuan,
Tebal plat tumpuan,

DATA PLAT TUMPUAN

$f_y = 240$ MPa
 $f_u^p = 370$ MPa
 $B = 432$ mm
 $L = 720$ mm
 $t = 20$ mm

KOLOM PEDESTAL

Kuat tekan beton,
Lebar penampang kolom,
Panjang penampang kolom,

DATA KOLOM BETON

$f'_c = 25$ MPa
 $I = 452$ mm
 $J = 740$ mm

DIMENSI KOLOM BAJA

Profil baja :

Tinggi total,
Lebar sayap,
Tebal badan,
Tebal sayap,

DATA KOLOM BAJA

WF 588 x 300 x 12 x 20
 $h_t = 588$ mm
 $b_f = 300$ mm
 $t_w = 12$ mm
 $t_f = 20$ mm

ANGKUR BAUT

Jenis angkur baut,

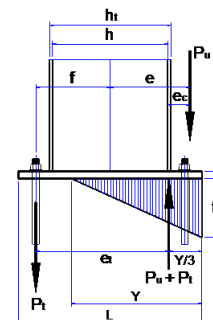
DATA ANGKUR BAUT

Tipe :A-325

Tegangan tarik putus angkur baut,
Tegangan leleh angkur baut,
Diameter angkur baut,
Jumlah angkur baut pada sisi tarik,
Jumlah angkur baut pada sisi tekan,
Jarak baut terhadap pusat penampa
Panjang angkur baut yang tertanam

$f_u^b = 825$ MPa
 $f_y = 400$ MPa
 $d = 22$ mm
 $n_t = 3$ bh
 $n_c = 3$ bh
 $f = 150$ mm
 $L_a = 500$ mm

2. Eksentrisitas Beban



Gambar 6. Beban Eksentris pada Sambungan

$$e = M_u / P_u = 0,75 \text{ mm}$$

$$L / 6 = 120 \text{ mm}$$

$$e < L / 6$$

$$h = h_t - t_f = 568 \text{ mm}$$

$$e_t = f + h / 2 = 434 \text{ mm}$$

$$e_c = f - h / 2 = -134 \text{ mm}$$

Jumlah angkur baut total,

$$n = n_t + n_c = 6 \text{ bh}$$

3. Tahanan tumpu beton

Gaya tarik pada angkur baut $P_t = P_u * e_c / e_t = -4597 \text{ N}$

Gaya tekan total pada plat tumpuan, $P_{uc} = P_u + P_t = 10292 \text{ N}$

Panjang bidang tegangan tekan $Y = 3 * (L - h) / 2 = 228 \text{ mm}$

Luas plat tumpuan baja, $A_1 = B * L = 311040 \text{ mm}^2$

Luas penampang kolom pedestral, $A_2 = I * J = 334480 \text{ mm}^2$

Tegangan tumpu nominal, $f_{cn} = 0.85 * f'_c * \sqrt{(A_2 / A_1)} = 22036 \text{ MPa}$

$f_{cn} = 1.70 * f'_c = 42500 \text{ MPa}$

Tegangan tumpu nominal beton yg $f_{cn} = 22036 \text{ MPa}$

Faktor reduksi kekuatan tekan $f = 0,65$

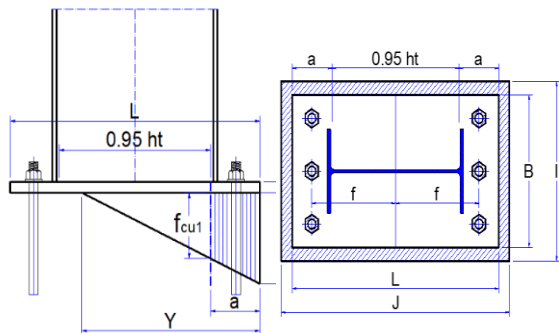
Tegangan tumpu beton yg diijinkan, $f * f_{cn} = 14324 \text{ MPa}$

Tegangan tumpu maksimum yang $f_{cu} = 2 * P_{uc} / (Y * B) = 0,209 \text{ MPa}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$f_{cu} \leq f * f_{cn}$$

$$0,209 < 14324 \text{ ® AMAN (OK)}$$



Gambar 7. Tahanan Tumpu Base Plate

4. Kontrol Dimensi Plat Tumpuan

Lebar minimum plat tumpuan yang diperlukan,

$$B_{p \min} = P_{uc} / (0.5 * f * f_{cn} * Y) = 6 \text{ mm}$$

Lebar plat yang digunakan,

$$B = 432 \text{ mm}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$B_{p \min} \leq B$$

$$6 < 432 \text{ ® AMAN (OK)}$$

Panjang bagian plat tumpuan jepit bebas,

$$a = (L - 0.95 * h_t) / 2 = 80,7 \text{ mm}$$

$$f_{cu1} = (1 - a / Y) * f_{cu} = 0,135 \text{ MPa}$$

Modulus penampang plastis plat, $Z = 1/4 * B * t^2 = 43200 \text{ mm}^3$

Momen yang terjadi pada plat akibat beban terfaktor,

$$M_{up} = 1/2 * B * f_{cu1} * a^2 + 1/3 * B * (f_{cu} - f_{cu1}) * a^2 = 3E+05 \text{ Nmm}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $f_b = 0,9$

Tahanan momen nominal plat, $M_n = f_y * Z = 1E+07 \text{ Nmm}$

Tahanan momen plat, $f_b * M_n = 9E+06 \text{ Nmm}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$M_{up} \leq f_b * M_n$$

$$259300 < 9331200 \text{ ® AMAN (OK)}$$

5. Gaya Tarik pada Angkur Baut

Gaya tarik pada angkur baut, $T_{u1} = P_t / n_t = -2346 \text{ N}$

Tegangan tarik putus angkur $f_u^b = 825 \text{ MPa}$

Luas penampang angkur baut, $A_b = p / 4 * d^2 = 380 \text{ mm}^2$

Faktor reduksi kekuatan tarik, $f_t = 0,9$

Tahanan tarik nominal angkur $T_n = 0.75 * A_b * f_u^b = 235207 \text{ N}$

Tahanan tarik angkur baut, $f_t * T_n = 211686 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$T_{u1} \leq f_t * T_n$$

$$-1532 < 211686 \text{ ® AMAN (OK)}$$

6. Gaya Geser Pada Angkur Baut

Gaya geser pada angkur baut, $V_{u1} = V_u / n = 685 \text{ N}$

Tegangan tarik putus baut, $f_u^b = 825 \text{ MPa}$

Jumlah penampang geser, $m = 1$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser, $r_1 = 0,4$

Luas penampang baut, $A_b = p / 4 * d^2 = 380 \text{ mm}^2$

Faktor reduksi kekuatan geser, $f_f = 0,75$

Tahanan geser nominal, $V_n = r_1 * m * A_b * f_u^b = 125444 \text{ N}$

Tahanan geser angkur baut, $f_f * V_n = 94083 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$V_{u1} \leq f_f * V_n$$

$$685 < 94083 \text{ ® AMAN (OK)}$$

7. Gaya Tumpu Pada Angkur Baut

Gaya tumpu pada angkur baut,	$R_{u1} = V_{u1} =$	685 N
Diameter baut,	$d =$	22 mm
Tebal plat tumpu,	$t =$	20 mm
Tegangan tarik putus plat,	$f_u^p =$	370 MPa
Tahanan tumpu nominal,	$R_n = 2.4 * d * t * f_u^p =$	390720 N
Tahanan tumpu,	$f_f * R_n =$	293040 N

Syarat yang harus dipenuhi :

$$R_{u1} \leq f_f * R_n$$

$$685 < 293040 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

8. Kombinasi Geser dan Tarik

Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi,	$f_1 =$	807 MPa
	$f_2 =$	621 MPa
Faktor pengaruh ulir pada bidang geser,	$r_2 =$	1,9
Tegangan geser akibat beban terfaktor,	$f_{uv} = V_u / (n * A_b) =$	1,8 MPa
Kuat geser angkur baut,	$f_f * r_1 * m * f_u^b =$	247,5 MPa

Syarat yang harus dipenuhi :

$$f_{uv} = V_u / (n * A_b) \leq f_f * r_1 * m * f_u^b$$

$$1,8 < 247,5 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

Gaya tarik akibat beban terfaktor,	$T_{u1} =$	-1532 N
Tahanan tarik angkur baut,	$f_f * T_n = f_f * f_1 * A_b =$	230075 N

Syarat yang harus dipenuhi :

$$T_{u1} \leq f_f * f_1 * A_b$$

$$-1532 < 230075 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

Kuat tarik angkur baut,	$f_t = 0.75 * f_u^b =$	618,75 MPa
Batas tegangan kombinasi,	$f_1 - r_2 * f_{uv} =$	803,58 MPa
	$f_2 =$	621 MPa

Syarat yang harus dipenuhi :

$$f_t \leq f_1 - r_2 * f_{uv}$$

$$618,75 < 803,58 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$f_t \leq f_2$$

$$618,75 < 621 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

9. Kontrol Panjang Angkur Baut

Panjang angkur tanam yang digunakan,	$L_a =$	600 mm
Kuat tekan beton,	$f_c' =$	25
Tegangan leleh baja,	$f_y =$	400
Diameter angkur baut,	$d =$	22

Panjang angkur tanam minimum yang diperlukan.

$$L_{min} = f_y / (4 * \phi * f_c') * d = 440 \text{ mm}$$

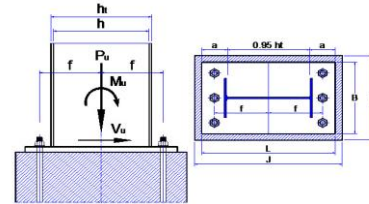
Syarat yang harus dipenuhi :

$$L_{min} \leq L_a$$

$$440 < 500 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

Sambungan Baseplate Kolom Samping

1. Section properties



Gambar 8. Sambungan Rafter ke Kolom

BEBAN KOLOM DATA BEBAN KOLOM

Gaya aksial akibat beban terfaktor,	$P_u =$	14713 N
Momen akibat beban terfaktor,	$M_u =$	10894 Nmm
Gaya geser akibat beban terfaktor,	$V_u =$	4032 N

PLAT TUMPUAN (BASE PLATE) DATA PLAT TUMPUAN

Tegangan leleh baja,	$f_y =$	240 MPa
Tegangan tarik putus plat,	$f_u^p =$	370 MPa
Lebar plat tumpuan,	$B =$	388 mm
Panjang plat tumpuan,	$L =$	764 mm
Tebal plat tumpuan,	$t =$	12 mm

KOLOM PEDESTAL DATA KOLOM BETON

Kuat tekan beton,	$f_c' =$	25 MPa
Lebar penampang kolom,	$I =$	408 mm
Panjang penampang kolom,	$J =$	784 mm

DIMENSI KOLOM BAJA DATA KOLOM BAJA

Profil baja :	WF 588 x 300 x 12 x 20	
Tinggi total,	$h_t =$	588 mm
Lebar sayap,	$b_f =$	300 mm
Tebal badan,	$t_w =$	12 mm
Tebal sayap,	$t_f =$	20 mm

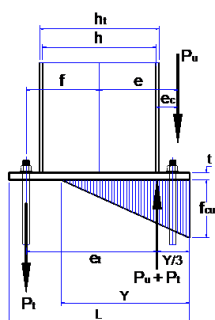
ANGKUR BAUT

DATA ANGKUR BAUT

Jenis angkur baut,	Tipe :A-325
Tegangan tarik putus angkur baut,	$f_u^b = 825$ MPa
Tegangan leleh angkur baut,	$f_y = 400$ MPa
Diameter angkur baut,	$d = 22$ mm
Jumlah angkur baut pada sisi ta	$n_t = 3$ bh
Jumlah angkur baut pada sisi te	$n_c = 3$ bh
Jarak baut terhadap pusat pen	$f = 33$ mm
Panjang angkur baut yang terta	$L_a = 500$ mm

Gaya tarik pada angkur baut,	$P_t = P_u * e_c / e_t = -11650$	N
Gaya tekan total pada plat tumpuan,	$P_{uc} = P_u + P_t = 3063$	N
Panjang bidang tegangan tekan beton,	$Y = 3 * (L - h) / 2 = 294$	mm
Luas plat tumpuan baja,	$A_1 = B * L = 296432$	mm ²
Luas penampang kolom pedestral,	$A_2 = I * J = 319872$	mm ²
Tegangan tumpu nominal,	$f_{cn} = 0.85 * f_c' * \sqrt{(A_2 / A_1)} = 22,074$	MPa
	$f_{cn} = 1.70 * f_c' = 42,5$	MPa
Tegangan tumpu nominal beton yg digunakan,	$f_{cn} = 22,074$	MPa
Faktor reduksi kekuatan tekan beton,	$\phi = 0,65$	
Tegangan tumpu beton yg diijinkan,	$\phi * f_{cn} = 14,348$	MPa
Tegangan tumpu maksimum yang terjadi pada beton,	$f_{cu} = 2 * P_{uc} / (Y * B) = 0,054$	MPa

2. Eksentrisitas Beban



Gambar 9. Beban Eksentris pada Sambungan

Eksentrisitas beban,

$$e = M_u / P_u = 0,74 \text{ mm}$$

$$L / 6 = 127,33 \text{ mm}$$

$$e < L / 6$$

$$h = h_t - t_f = 568 \text{ mm}$$

$$e_t = f + h / 2 = 317 \text{ mm}$$

$$e_c = f - h / 2 = -251 \text{ mm}$$

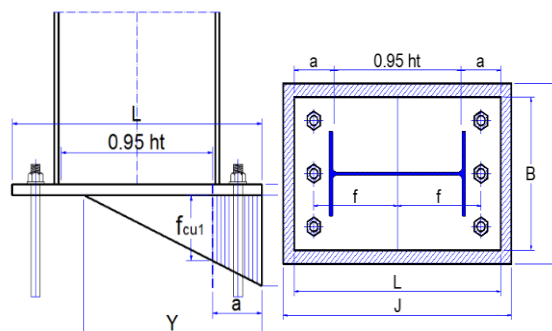
Jumlah angkur baut total,

$$n = n_t + n_c = 6 \text{ bh}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$f_{cu} \leq \phi * f_{cn}$$

$$0,054 < 14,348 \text{ @ AMAN (OK)}$$



Gambar 10. Tahanan Tumpu Base Plate

3. Tahanan Tumpu Beton

4. Kontrol Dimensi Plat Tumpuan

Lebar minimum plat tumpuan yang diperlukan,

$$B_{p \min} = P_{uc} / (0.5 * f * f_{cn} * Y) = 1 \text{ mm}$$

Lebar plat yang digunakan, $B = 388 \text{ mm}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$B_{p \min} \leq B$$

$$1 < 388 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

Panjang bagian plat tumpuan jepit bebas,

$$a = (L - 0.95 * h_t) / 2 = 102,7 \text{ mm}$$

$$f_{cu1} = (1 - a / Y) * f_{cu} = 0,035 \text{ MPa}$$

Modulus penampang plastis plat, $Z = 1/4 * B * t^2 = 13968 \text{ mm}^3$

Momen yang terjadi pada plat akibat beban terfaktor,

$$M_{up} = 1/2 * B * f_{cu1} * a^2 + 1/3 * B * (f_{cu} - f_{cu1}) * a^2 = 97102 \text{ Nmm}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $f_b = 0,9$

Tahanan momen nominal plat, $M_n = f_y * Z = 3352320 \text{ Nmm}$

Tahanan momen plat, $f_b * M_n = 3017088 \text{ Nmm}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$M_{up} \leq f_b * M_n$$

$$97102 < 3017088 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

5. Gaya Tarik Pada Angkur Baut

Gaya tarik pada angkur baut, $T_{u1} = P_t / n_t = -3883 \text{ N}$

Tegangan tarik putus angkur baut, $f_u^b = 825 \text{ MPa}$

Luas penampang angkur baut, $A_b = p / 4 * d^2 = 380 \text{ mm}^2$

Faktor reduksi kekuatan tarik, $f_t = 0,9$

Tahanan tarik nominal angkur baut, $T_n = 0.75 * A_b * f_u^b = 235207 \text{ N}$

Tahanan tarik angkur baut, $f_t * T_n = 211686 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$T_{u1} \leq f_t * T_n$$

$$-3883 < 211686 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

6. Gaya Geser Pada Angkur Baut

Gaya geser pada angkur baut, $V_{u1} = V_u / n = 672 \text{ N}$

Tegangan tarik putus baut, $f_u^b = 825 \text{ MPa}$

Jumlah penampang geser, $m = 1$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser, $r_1 = 0,4$

Luas penampang baut, $A_b = p / 4 * d^2 = 380 \text{ mm}^2$

Faktor reduksi kekuatan geser, $f_f = 0,75$

Tahanan geser nominal, $V_n = r_1 * m * A_b * f_u^b = 125444 \text{ N}$

Tahanan geser angkur baut, $f_f * V_n = 94083 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$V_u \leq f_f * V_n$$

$$672 < 94083 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

7. Gaya Tumpu Pada Angkur Baut

Gaya tumpu pada angkur baut, $R_{u1} = V_{u1} = 672 \text{ N}$

Diameter baut, $d = 22 \text{ mm}$

Tebal plat tumpu, $t = 12 \text{ mm}$

Tegangan tarik putus plat, $f_u^p = 370 \text{ MPa}$

Tahanan tumpu nominal, $R_n = 2.4 * d * t * f_u^p = 234432 \text{ N}$

Tahanan tumpu, $f_f * R_n = 175824 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$R_{u1} \leq f_f * R_n$$

$$672 < 175824 \quad \textcircled{R} \quad \text{AMAN (OK)}$$

8. Kombinasi Geser dan Tarik

Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi,	$f_1 =$	807 MPa	
	$f_2 =$	621 MPa	
Faktor pengaruh ulir pada bidang geser,	$r_2 =$	1,9	
Tegangan geser akibat beban terfaktor,	$f_{uv} = V_u / (n * A_b) =$	1,77 MPa	
Kuat geser angkur baut,	$f_f * r_1 * m * f_u^b =$	247,5 MPa	
Syarat yang harus dipenuhi :			
$f_{uv} = V_u / (n * A_b)$	$\leq$	$f_f * r_1 * m * f_u^b$	
1,77	<	247,5	(AMAN (OK)

Gaya tarik akibat beban terfaktor,	$T_{u1} =$	-3883	N
Tahanan tarik angkur baut,	$f_f * T_n = f_f * f_1 * 230075$		N
Syarat yang harus dipenuhi :			
T_{u1}	$\leq$	$f_f * f_1 * A_b$	
-3883	<	230075	® AMAN (OK)
Kuat tarik angkur baut,	$f_t = 0,75$	618,75	MPa
Batas tegangan kombinasi,	$f_1 - r_2 * f_2 =$	803,58	MPa
		621	MPa
Syarat yang harus dipenuhi :			
f_t	$\leq$	$f_1 - r_2 * f_{uv}$	
618,75	<	803,58	® AMAN (OK)
Syarat yang harus dipenuhi :			
f_t	$\leq$	f_2	
618,75	<	621	® AMAN (OK)

9. Kontrol Panjang Angkur Baut

Panjang angkur tanam yang digunakan,	$L_a =$	500	mm
Kuat tekan beton,	$f_c' =$	25	
Tegangan leleh baja,	$f_y =$	400	
Diameter angkur baut,	$d =$	22	

Panjang angkur tanam minimum yang diperlukan.

$$L_{min} = f_y / (4 * \phi f_c') * d = 440 \text{ mm}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$L_{min} \leq L_a$$

$$440 < 500 \quad \text{®} \quad \text{AMAN (OK)}$$

Sambungan Balok Kolom

1. DATA SAMBUNGAN

Gaya geser akibat beban terfaktor,	$V_u =$	48721.365	N
Momen akibat beban terfaktor,	$M_u =$	20.1524868	Nmm
a. BAUT			
Jenis baut yang digunakan,	Tipe baut :	A-325	
Tegangan tarik putus baut,	$f_{ub} =$	825	MPa
Diameter baut	$d =$	19	mm
Jarak antara baut,	$a =$	311	mm
Jumlah baut dalam satu baris,	$n_x =$	4	bh
Jumlah baris baut,	$n_y =$	2	baris
Faktor reduksi kekuatan tarik baut,	$f_t =$	0.75	
Faktor reduksi kekuatan geser baut,	$f_f =$	0.75	

b. PLAT SAMBUNG

Tegangan leleh plat,	$f_y =$	240	MPa
Tegangan tarik putus plat,	$f_{up} =$	400	MPa
Lebar plat sambung,	$b =$	300	mm
Tebal plat sambung,	$t =$	10	mm

2. LETAK GARIS NETRAL

Jumlah baut total,	$n = n_x * n_y =$	8	bh
Tinggi plat sambung,	$h = n_y * a =$	622	mm
Lebar plat sambung ekuivalen sebagai pengganti baut tarik,	$d = n_x * (p / 4 * D_2) / a =$	3.6467	mm
Lebar efektif plat sambung bagian tekan,	$b' = 0.75 * b =$	225	mm
Misal garis netral terletak pada jarak x dari sisi atas plat sambung.			
Momen statis luasan terhadap garis netral,			
$1/2 * b' * (h - x)^2 = 1/2 * d * x^2$			
$(b' - d) / 2 * x^2 - b' * h * x + 1/2 * b' * h^2 = 0$			
$(b' - d) / 2 * x^2 - b' * h * x + 1/2 * b' * h^2 = 0$ (persamaan kuadrat dalam x)			

$$Ax = (b' - d)/2 = 111$$

$$Bx = -b' * h = -139950$$

$$Cx = 1/2 * b' * h^2 = 43524450$$

$$Dx = Bx^2 - 4 * Ax * Cx = 317438774$$

$$\rightarrow x = [-Bx \pm \sqrt{Dx}] / (2 * Ax) = 551.76 \text{ mm}$$

3. TEGANGAN YANG TERJADI PADA BAUT

Persamaan hubungan tegangan,

$$s_3 = (h - x) / x * s_1 \quad \leftarrow \text{pers. (1)}$$

$$s_2 = (x - a / 2) / x * s_1 \quad \leftarrow \text{pers. (2)}$$

Persamaan momen :

$$1/2 * (h - x) * b' * s_3^2 / 3 * (h - x) + 1/2 * x * d * s_1^2 / 3 * x = M_u$$

$$1/2 * (h - x) * b' * (h - x) / x * s_1^2 / 3 * (h - x) + 1/2 * x * d * s_1^2 / 3 * x = M_u$$

maka diperoleh :

$$s_1 = 3 * M_u / [(h - x)^3 / x * b' + x^2 * d] \quad \leftarrow \text{pers. (3)}$$

Tegangan pada masing-masing baris baut dihitung sebagai berikut :

Tegangan tarik pada sisi atas plat sambung,

$$\text{Dari pers. (3) : } s_1 = 3 * M_u / [(h - x)^3 / x * b' + x^2 * d] = 0.00 \text{ MPa}$$

Tegangan tekan pada sisi bawah plat sambung,

$$\text{Dari pers. (1) : } s_3 = (h - x) / x * s_1 = 0.00 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik pada baut baris teratas,

$$\text{Dari pers. (2) : } s_2 = (x - a / 2) / x * s_1 = 0.00 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik putus pada baut dan plat :

$$\text{Tegangan tarik putus baut, } f_{ub} = 825 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan tarik putus plat, } f_{up} = 400 \text{ MPa}$$

4. GAYA TARIK PADA BAUT

Gaya tarik yang terjadi pada baut baris teratas, $T_u = 77530 \text{ N}$

Gaya tarik yang ditahan satu baut, $T_u1 = T_u / n_x = 19382 \text{ N}$
 Luas penampang baut, $A_b = p / 4 * d_2 = 284 \text{ mm}^2$
 Tahanan tarik nominal satu baut, $T_n = 0.75 * A_b * f_{ub} = 175433 \text{ N}$
 Tahanan tarik satu baut, $f_t * T_n = 131575 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$T_u1 \leq f_t * T_n$
 $19382 < 131575 \quad \text{AMAN (OK)}$

5. GAYA GESER PADA BAUT

Gaya geser yang ditahan oleh satu baut, $V_{s1} = V_u / n = 6090 \text{ N}$
 Kondisi sambungan baut geser tunggal, maka nilai $m = 1$
 Faktor pengaruh ulir pada bidang geser, $r_1 = 0.4$
 Luas penampang baut, $A_b = p / 4 * d_2 = 284 \text{ mm}^2$
 Tahanan geser nominal baut, $V_n = r_1 * m * A_b * f_{ub} = 93564 \text{ N}$
 Tahanan geser baut, $f_f * V_n = 70173 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$V_{s1} \leq f_f * V_n$
 $6090 < 70173 \quad \text{AMAN (OK)}$

6. GAYA TUMPU PADA BAUT

Gaya tumpu yang ditahan satu baut, $R_{s1} = V_{s1} = 6090 \text{ N}$
 Diameter baut, $d = 19 \text{ mm}$
 Tebal plat sambung, $t = 10 \text{ mm}$
 Tegangan tarik putus plat, $f_{up} = 400 \text{ MPa}$
 Tahanan tumpu nominal, $R_n = 2.4 * d * t * f_{up} = 182400$
 Tahanan tumpu, $f_f * R_n = 136800 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$R_{s1} \leq f_f * R_n$
 $6090 < 136800 \quad \text{AMAN (OK)}$

7. KOMBINASI GESER DAN TARIK

Konstanta tegangan (f_1) untuk baut mutu tinggi, $f_1 = 807 \text{ MPa}$
 Konstanta tegangan (f_2) untuk baut mutu tinggi, $f_2 = 621 \text{ MPa}$
 Faktor pengaruh ulir pada bidang geser, $r_2 = 1.9$
 Tegangan geser yang terjadi, $f_{uv} = V_u / (n * A_b) = 21.48 \text{ MPa}$
 Tahanan geser baut, $f_f * r_1 * m * f_{ub} = 247.50 \text{ MPa}$
 Syarat yang harus dipenuhi : $f_{uv} = V_u / (n * A_b) \leq f_f * r_1 * m * f_{ub}$
 $21.48 < 247.50 \quad \text{AMAN (OK)}$

Gaya tarik yang terjadi, $T_u1 = 19382 \text{ N}$
 Tahanan tarik baut, $f_f * T_n = f_f * f_1 * A_b = 171606 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$T_u1 \leq f_f * T_n$
 $19382 < 171606 \quad \text{AMAN (OK)}$

Tegangan tarik, $f_t = 0.75 * f_{ub} = 618.75 \text{ MPa}$

Nilai tegangan kombinasi, $f_1 - r_2 * f_{uv} = 766.19 \text{ MPa}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$f_t \leq f_1 - r_2 * f_{uv}$
 $618.75 < 766.19 \quad \text{AMAN (OK)}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$f_t \leq f_2$
 $618.75 < 621.00 \quad \text{AMAN (OK)}$

Sambungan Balok-Balok

Cek Kuat Tarik akibat Momen

$K_t = 2,054.28 / 0.311$
 $= 6,605.40 \text{ kg}$

dipikul oleh 2 baut masing-masing;

$= 3,302.70 \text{ kg}$

diam. baut $= 19 \text{ mm}$

$s_{tr} = 3,302.70$

2.83

$= 1,165.45 \text{ kg/cm}^2$

$< 3,080.00 \text{ kg/cm}^2 (44 \text{ ksi})$ (Kontrol tarik OK!!!)

Cek Kuat Geser

Gaya geser yang bekerja: 166.1692151 kg

Karena geser bekerja bersamaan dengan tarik, maka teg. Geser izin:

$F'_v : F_v (1 - (1/T) * (f_t * A_{baut}))$

$T : \text{Gaya tarik awal}$

$= 125 \text{ kN}$ (Baut A325, sesuai tabel)

$= 12755.10 \text{ kg}$

$F_t * A_{baut} = 6,605.40 / 2$

$= 3,302.70$

$F_v = 15 \text{ ksi}$ (A 325)

$= 1050 \text{ kg/cm}^2$

$F'_v = 778.12 \text{ kg/cm}^2$

Gaya geser $= 166.1692151 / 34.01$

yang bekerja

$= 4.89 \text{ kg/cm}^2$

$< 778.12 \text{ kg/cm}^2$

(Kontrol geser OK!!!)

Sambungan Sokong

1. GAYA GESER PADA BAUT

Gaya geser yang ditahan oleh satu baut, $V_{s1} = V_u / n = 917 \text{ N}$

Kondisi sambungan baut geser tunggal, maka nilai $m = 1$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser, $r_1 = 0.4$

Luas penampang baut, $A_b = p / 4 * d_2 = 201 \text{ mm}^2$

Tahanan geser nominal baut, $V_n = r_1 * m * A_b * f_{ub} = 66350 \text{ N}$

Tahanan geser baut, $f_f * V_n = 49763 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$V_{s1} \leq f_f * V_n$
 $917 < 49763 \quad \text{AMAN (OK)}$

2. GAYA TUMPU PADA BAUT

Gaya tumpu yang ditahan satu baut, $R_{s1} = V_{s1} = 917 \text{ N}$

Diameter baut, $d = 16 \text{ mm}$

Tebal plat sambung, $t = 8 \text{ mm}$

Tegangan tarik putus plat, $f_{up} = 400 \text{ MPa}$

Tahanan tumpu nominal, $R_n = 2.4 * d * t * f_{up} = 122880 \text{ N}$

Tahanan tumpu, $f_f * R_n = 92160 \text{ N}$

Syarat yang harus dipenuhi :

$R_{s1} \leq f_f * R_n$
 $917 < 92160 \quad \text{AMAN (OK)}$

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis struktur atas hanggar pesawat di Bandar Udara Kalimantan Timur, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Dimensi hanggar yang dibutuhkan untuk menampung pesawat rencana Boeing 737-800 dan ATR 72-500 di Bandar Udara Kalimantan sebesar 75 x 76 meter dengan tinggi atap 26,8 meter.
2. Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000, diperoleh gaya dalam pada masing-masing elemen struktur. Rangka rafter atas menerima gaya aksial sebesar 1586617 N/mm, momen lentur 13.251.922 N/mm, dan gaya geser 23.404,49 N/mm. Rangka rafter bawah menerima gaya aksial 163.919,73 N/mm, momen lentur 19.889.859,42 N/mm, dan gaya geser 48.844,62 N/mm. Rangka rafter tengah memperoleh gaya aksial 183.695,06 N/mm, momen lentur 490.399,18 N/mm, dan gaya geser 693,26 N/mm. Kolom samping memiliki gaya aksial 14.713 N/mm, momen lentur 10.894 N/mm, dan gaya geser 4.032 N/mm, sedangkan kolom belakang menahan gaya aksial 14.889,56 N/mm, momen lentur 11.105,94 N/mm, dan gaya geser 4.111,26 N/mm. Elemen bracing menerima gaya aksial 55.423,69 N/mm, momen lentur 1.003.419,19 N/mm, dan gaya geser 1.155,64 N/mm, sedangkan sokong memperoleh gaya aksial 3.33E-12 N/mm, momen lentur 3.466.929,3 N/mm, dan gaya geser 2.685,13 N/mm.
3. Hasil perhitungan gaya dalam tersebut menjadi dasar penentuan dimensi profil pada elemen struktur hanggar. Profil yang digunakan meliputi WF 588 x 300 x 12 x 20 untuk kolom, pipa baja 10 inci untuk rafter utama dan sokong, pipa baja 8 inci untuk rafter tengah dan bracing, serta kanal CNP 150 x 50 x 2,3 x 20 untuk gording. Pemilihan profil ini dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas penampang, efisiensi material, dan ketentuan desain struktur baja sesuai standar yang berlaku.

Saran

1. Dari penulis untuk konsultan atau pelaksana lapangan disarankan agar hasil pemodelan struktur dan pembebanan ditinjau ulang dalam konteks kondisi aktual lapangan, termasuk arah dominan angin dan data kecepatan terbaru. Penyesuaian beban lingkungan terhadap model dapat meningkatkan ketepatan desain dan keselamatan struktur secara menyeluruh.
2. Dari penulis untuk penelitian selanjutnya sebaiknya mengembangkan kajian terhadap sistem struktur

alternatif, seperti rangka portal baja atau kombinasi material (komposit), untuk dibandingkan dengan sistem truss yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk menilai efisiensi struktural dan biaya konstruksi secara lebih komprehensif.

3. Dari penulis untuk mahasiswa jurnal ini dapat dijadikan dasar pengembangan tugas akhir sejenis dengan cakupan yang lebih luas, seperti analisis waktu pelaksanaan, manajemen proyek, atau penerapan teknologi BIM. Integrasi lintas disiplin akan memperkaya pemahaman teknis dan aplikatif dalam perencanaan bangunan bentang besar seperti hanggar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi Ibrahim Yunus, S. T. M. T., Raden Denisio Edwin Rikarda, S. T. M. T., Musdalifah. S, S. T. M. T., Parmo, S. T. M. T., Fachruzzaki, S. S. M. T., Ir. Ilham Idrus, S. T. M. T. P. I. P. M. C. S. T., R. Muhammad Ernadi Ramadhan, S. T. M. S., Suci Fatmawati, S. T. M. T., Ir. Rahman A. Djau, S. T. M. T., & Qohar, A. F. (2025). *Pengantar Teknik Sipil*. PT. Penerbit Qriset Indonesia. https://books.google.co.id/books?id=fj4_EQAAQBAJ
- [2] Area, U. M. (2023). PERHITUNGAN STRUKTUR DENGAN MENGGUNAKAN SAP 2000 PADA PROYEK PEMBANGUNAN KLINIK BUILDING MEDAN SKRIPSI OLEH : LAMBOK RITONGA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN PERHITUNGAN STRUKTUR DENGAN MENGGUNAKAN SAP 2000 PADA PROYEK PEMBANGUNAN KLINIK BUILD.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (2002). Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. *SNI 1729-2002*.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. (2013). Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. *Sni 1727-2013*. www.bsn.go.id
- [5] BASUKI, Y. R. (2023). *DASAR KONSTRUKSI BAJA UNTUK SMK*. Azhar Publisher. <https://books.google.co.id/books?id=70jCEAAQBAJ>
- [6] Hariyanto, A. (Agung), Suryokusumo, B. (Beta), & Soekirno, A. (Ali). (2015). Penerapan Struktur Space Frame Pada Hanggar Pemeliharaan Pesawat Di Bandara Samarinda Baru. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya*. <https://www.neliti.com/id/publications/111042/>
- [7] Indonesia, S. N. (2019). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. *Sni 1726-2019*. <https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>

- [8] Peraturan. (2015). Tentang Standarisasi dan Sertifikasi Fasilitas Bandar Udara. *PM 77 Perhubungan, 2015*, 12.
- [9] Prof. H. M. Sukardi, M. E. M. S. (2021). *Metodologi Penelitian Pendidikan: Kompetensi dan Praktiknya (Edisi Revisi)*. Bumi Aksara. https://books.google.co.id/books?id=gJo_EAAAQBAJ
- [10] Ramadhan, A. B., & Suprpto. (2019). Pembelajaran Menggunakan SAP2000 pada Materi Analisa Gaya Batang Konstruksi Rangka Batang Kelas X-DPIB SMKN 1 Kemlagi. *Jurnal Kajian Pendidikan Teknik Bangunan*.
- [11] Silitonga, R. A. P., Simatupang, P. H., & ... (2023). Studi Pengaruh Tangga Pada Pemodelan Struktur Bangunan Takberaturan Akibat Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil*. <https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/view/548%0Ahttps://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/download/548/387>
- [12] Suwarno, F. X. W. A. (2001). *Tata Operasi Darat*. Grasindo. <https://books.google.co.id/books?id=ktJFdb08zN8C>
- [13] Wibowo, R. A., Sila, A. A., Rochmawati, R., Huddiankuwera, A., Riswanto, S., Sitorus, P. H., Wantoro, M., Pranata, A. A., & Barends, R. (2024). *Pengenalan Aplikasi Teknik Sipil*. TOHAR MEDIA. <https://books.google.co.id/books?id=vcr5EAAAQBAJ>
- [14] Yunus, A. I., Syarif, H. U., Yendri, O., Raafidiani, R., Purnama, I. A., Uzda, R., Hapsari, R. N. A., Winaktu, G., Kafrain, I. G. Y., & Ingsih, I. S. (2024). *Struktur Baja*. CV. Gita Lentera. https://books.google.co.id/books?id=K_34EAAAQBAJ