

PERENCANAAN STRUKTUR ATAP RANGKA RUANG BERBENTUK BRACED BARREL VAULT UNTUK HANGGAR PESAWAT KOMERSIAL

Meillyta¹, Munawir², Ilham Munawar Siddiq³

^{1,2}) Dosen Tetap. Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Aceh

³) Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Aceh

Email : meillyta@unmuha.ac.id

ABSTRAK

Pertumbuhan ekonomi Indonesia telah ikut mendorong tumbuhnya industri transportasi penerbangan, sehingga dibutuhkan fasilitas perbaikan dan perawatan pesawat, yakni hanggar di setiap bandara. Tulisan ini merupakan sebuah perencanaan bangunan hanggar yang menggunakan struktur baja rangka ruang untuk menampung sebuah pesawat Boeing 747-400, yang memiliki lebar 64,4 m, panjang 70,7 m, dan tinggi 19,4 m. Manfaat pereneanaan ini adalah untuk menentukan bentuk rangka atap, desain profil rangka baja dan sambungan *balljoint* dan desain *baseplate* untuk hanggar tersebut, serta menjadi modul untuk pereneanaan struktur atap *space frame* dengan sambungan *balljoint* dimasa yang akan datang. Desain dan evaluasi struktur ini menggunakan program SAP2000 dengan mengaeu pada SNI-03-1729-2002 dan AISC-LRFD. Hasil dari pereneanaan ini adalah struktur *space frame* tipe *braced barrel vault* berdimensi 120 x 100 m setinggi 30 m. Struktur *space frame* terdiri dari 4800 batang Rangka Lengkung Bawah berukuran *Circular Section Steel* (CSS) 250,00 x 45,00; 4941 batang Rangka Lengkung Atas berukuran CSS 114,3 x 4,78; 2379 batang RangkaBagi Atas berukuran CSS 76,3 x 3,2; 4819 batang Rangka Bagi Bawah berukuran CSS 114,3 x 3,5; 19520 batang Rangka *Redundant* berukuran 165,20 x 30,00; 5022 batang Rangka Dudukan Gording berukuran CSS 237,00 x 70,00; 4941 batang Rangka Gording Melintang berukuran CSS 240 x 70,00; dan 4880 batang Rangka Gording Memanjang berukuran C 150 x 75 x 4,5. Defleksi maksimum struktur yang terjadi adalah 10,19 em di tengah bentang. Sambungan menggunakan 9902 buah *balljoint* berdiameter 28 em. Rangka atap ditumpu ke lantai beton dengan *base plate* berdimensi 2000 x 1800 x 210 mm menggunakan 30 buah angkur berdiameter 45,6 mm yang ditanam sedalam 1055 mm. Berdasarkan hasil pereneanaan yang dilakukan, struktur rangka ruang tersebut aman dan desain ini dapat dijadikan sebagai pedoman pembangunan hanggar.

Kata kunci: hanggar, SAP2000, *spaceframe*, *balljoint*, *baseplate*

I. PENDAHULUAN

Hanggar merupakan jenis bangunan yang membutuhkan ruang besar dan bebas dari tiang maupun komponen struktur lainnya yang dapat menghalangi masuknya pesawat ke dalam bangunan hanggar. Dengan demikian, struktur *space frame* adalah yang paling sesuai untuk digunakan pada bangunan ini, karena jenis struktur ini dapat dibangun dengan bentang yang lebar namun tidak memerlukan *intermediate column*. Hal ini dimungkinkan karena struktur *space frame* terdiri dari rangkaian pipa baja yang tersusun dalam bentuk segitiga yang saling mengunci sehingga menghasilkan kekakuan (*stiffness*) yang tinggi.

Tujuan perencanaan ini adalah untuk mendesain sebuah struktur atap rangka ruang untuk digunakan pada bangunan hanggar yang diharapkan dapat menampung satu buah pesawat jenis Boeing 747-400, yang memiliki bentang sayap selebar 64,4 meter, panjang badan pesawat 70,7 meter, dan tinggi 19,4 meter. Pesawat jenis ini dipilih karena ia merupakan yang terbesar yang dapat dilayani oleh bandara-bandara utama di Indonesia, termasuk Bandara Sultan Iskandar Muda. Gambar teknis pesawat Boeing 747-400 dapat

dilihat pada lampiran A.3 halaman 38.

Bentuk *Braced Barrel Vault* dipilih karena efektif mengakomodir badan pesawat yang mempunyai lebar yang besar namun mempunyai elemen yang tinggi di tengah. Kerangka baja akan langsung terhubung dengan lantai. Sementara beban-beban dari struktur atas akan didistribusikan ke beton *pavement* melalui *base plate*, yang berupa plat baja yang diperkuat dengan angkur. Rangka-rangka baja pada struktur ini akan disambung dengan menggunakan *ball joint*. Tipe sambungan ini dipilih karena memungkinkan batang rangka untuk dihubungkan dari berbagai sudut. Selain itu, tipe sambungan ini menggunakan baut, sehingga lebih mudah dikerjakan karena tidak memerlukan keahlian khusus.

II. TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1. Hanggar

Hanggar berarti bangunan tertutup tempat menaruh (menyimpan, memperbaiki, dan sebagainya) pesawat terbang. Kata hanggar berasal dari Bahasa Perancis klasik yaitu *hanghart* yang artinya gudang dekat rumah. Hanggar digunakan untuk tempat perlindungan pesawat dari cuaca, termasuk sinar matahari langsung, dan juga berfungsi sebagai tempat pemeliharaan, perbaikan, pembuatan, perakitan dan penyimpanan pesawat dipabrik perakitan maupun di kawasan bandara Hariyanto (2015).

Hanggar membutuhkan sistem struktur yang khusus. Bagian utama dari sebuah hanggar, yaitu ruang di mana pesawat ditempatkan, harus mempunyai rentang yang sangat luas namun bebas kolom. Lebar pintu masuk hanggar juga harus besar untuk memungkinkan pesawat terbang masuk dengan mudah.

2.2 SAP 2000

Anonim (2011b) berpendapat bahwa SAP2000 adalah sebuah perangkat lunak dari *Computer and Structures, Inc.* untuk menganalisa dan mendesain struktur. SAP2000 memiliki sistem yang terintegrasi untuk memodelkan, menganalisa, mendesain dan mengoptimalkan suatu struktur. SAP2000 sering digunakan untuk struktur umum, seperti stadium, tower, pabrik, struktur lepas pantai, sistem pemipaan, bangunan, dam, dan lainnya.

Analisa dari SAP2000 menyediakan beberapa fitur, di antaranya:

- a. Analisa statis dan dinamis;
- b. Analisa linier dan non-linier;
- c. Analisa dinamis gempa dan analisis *pushover* statis;
- d. Analisa tekuk;
- e. Analisa struktur *frame* dan *shell*, termasuk analisa balok, kolom, *truss*, *membrane*, dan plat;

Analisis struktur modern pada umumnya menggunakan model diskrit untuk mempresentasikan sistem struktur yang sebenarnya. Dengan cara ini sistem struktur terbagi menjadi bagian-bagian kecil yang dinamakan elemen yang dibatasi dua *joint* sebagai ujungnya. Dewobroto (2007) berpendapat bahwa penyelesaian analisa struktur berbasis

komputer dilakukan dengan membagi model menjadi elemen-elemen kecil. Adapun elemen adalah identik dengan 'unit pendekatan', yaitu suatu formulasi matematis dari suatu model struktur yang dianggap sebagai representasi yang paling mendekati sifat struktur real.

2.3 Pembebanan

2.3.1 Beban Mati

Anonim (1989) berpendapat beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktur lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Dalam perencanaan ini, struktur seluruhnya terdiri dari material baja. Berat jenis baja ditentukan sebesar 7850 kg/m³ atau 76982,2 N/m³. Sementara berat plat *zincalume* adalah 51,1 N/m².

2.3.2. Beban Hidup

Anonim (1989) berpendapat beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban gempa, atau beban mati. Di dalamnya termasuk beban-beban pada atap yang berasal dari beban pekerja, bahan-bahan yang dapat berpindah, mesin-mesin dan peralatan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung, sehingga menyebabkan perubahan dalam pembebanan atap. Beban hidup untuk komponen struktur atap utama yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai adalah 980,655 N/m².

2.3.3 Beban Angin

Anonim (1989) berpendapat beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Tekanan angin diperbitungkan sebesar:

$$P = \frac{v^2}{16}$$

Dimana:

P = Tekanan Angin (kg/m²)

V = Kecepatan angin (m/s)

2.3.4. Beban gempa

Anonim (2012) berpendapat pengaruh beban gempa adalah gaya elemen struktur aksial, geser, dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya seismik horizontal dan vertikal. Beban gempa yang digunakan untuk perencanaan ini berasal dari data analisis respons spektrum, yang didapat dari aplikasi analisis respons spektrum gempa pada situs Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pemodelan Struktur

Pada perencanaan ini digunakan model dengan sistem lengkung 2 sendi dengan base plate yang terletak langsung di atas lantai. Sistem lengkung 2 sendi dengan tanpa kolom ini memiliki komponen desain berupa:

- a. Rangka lengkung atas (RLA): Elemen ini berfungsi sebagai penyangga gording melintang (GDL) dan gording memanjang (GDM). Pada sisi atas RLA terdapat dudukan gording (DGD) sebagai elemen yang menghubungkan gording ke rangka lapis atas. Rangka lengkung atas menerima beban yang berasal dari gording dan meneruskannya ke redundant (RDN);
- b. Rangka lengkung bawah (RLB): Elemen ini berfungsi sebagai dudukan redundant, menerima beban yang berasal dari *redundant* untuk kemudian disalurkan ke kolom (KLM);
- c. *Redundant* (RDN): Elemen ini berfungsi untuk membagi rangka lengkung atas (RLA) maupun rangka lengkung bawah (RLB) menjadi beberapa bagian sehingga kemungkinan terjadinya tekuk lokal menjadi lebih kecil. *Redundant* menerima beban yang berasal dari rangka atas untuk kemudian menyalurkannya ke rangka bawah;
- d. Rangka bagi bawah (RBB): Elemen ini berfungsi untuk memperkaku rangka lengkung bawah sehingga tidak berubah posisinya. Rangka bagi bawah menghubungkan antar rangka lengkung bawah;
- e. Rangka bagi atas (RBA): Elemen ini berfungsi untuk memperkaku rangka lengkung atas sehingga tidak berubah posisinya. Rangka bagi atas menghubungkan antar rangka lengkung atas;
- f. Gording memanjang (GDM): Elemen ini berfungsi sebagai dudukan atap, menerima beban dari atap dan menyalurkannya gording melintang (GDL);
- g. Gording melintang (GDL): Elemen ini berfungsi sebagai dudukan gording memanjang, menerima beban dari gording memanjang dan menyalurkannya ke rangka lengkung bawah;
- h. Pelat atap: Elemen ini berfungsi sebagai penutup atap. Pelat atap direncanakan dari pelat baja *zincalume* tebal 0,5 mm;

3.2 Pemasukan Data

Data-data yang dimasukkan ke dalam program SAP2000 berupa data bangunan, mutu bahan yang digunakan, beban yang bekerja pada struktur, dan pendimensian awal.

3.3 Pembebanan

Beban-beban yang akan ditinjau dalam perencanaan struktur ini adalah beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban gempa (*earthquake load*), dan beban angin (*wind load*).

a. Beban mati

Beban mati dalam perencanaan struktur rangka atap berasal dari berat sendiri struktur. Berat sendiri struktur dipengaruhi oleh berat jenis struktur yang digunakan. Untuk struktur baja memiliki berat jenis $76982,2 N/m^3$ yang berasal dari struktur rangka dan $51,1 N/m^2$ dari pelat atap.

b. Beban hidup

Anonim (1989) berpendapat bahwa beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh (1989) mensyaratkan beban hidup untuk struktur gedung adalah $980,665 N/m^2$

c. Beban gempa

Anonim (2012) menyatakan bahwa pengaruh beban gempa adalah gaya elemen struktur aksial, geser, dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya gempa horizontal dan vertikal. Bangunan hanggar ini merupakan struktur lengkung 2 sendi dengan ketinggian lebih besar dari 10m, beban gempa yang digunakan untuk perencanaan berasal dari analisis respon spektrum. Posisi Bandara Iskandar Muda terdapat pada koordinat bujur (*latitude*) = $5,5482904$ N dan koordinat lintang (*longitude*) = $95,323756$ E, dengan kondisi tanah sedang. Posisi koordinat dan kondisi tanah ini digunakan untuk menentukan Spektra maksimum gempa tertarget (S_s dan S_i) dengan menggunakan aplikasi penghitung yang disediakan di website Kementerian Pekerjaan Umum.

3.4 Analisis Struktur

SAP2000 v.18 merupakan program komputer yang digunakan dalam tahap analisis struktur ini. Pada tahap ini standar yang digunakan adalah SNI-1729-2002 Baja untuk menghitung analisis struktur baja bangunan.

Tahap ini diawali dengan pemasukan data-data yang telah dihitung pada tahap pertama berupa model struktur, dimensi elemen-elemen, sifat bahan, dan beban-beban yang telah dihitung secara manual ke dalam program SAP2000. Kombinasi pembebanan juga dimasukkan ke dalam program ini, di mana kombinasi maksimum akan menghasilkan gaya-gaya dalam dan reaksi tumpuan yang menentukan dalam perhitungan dimensi struktur.

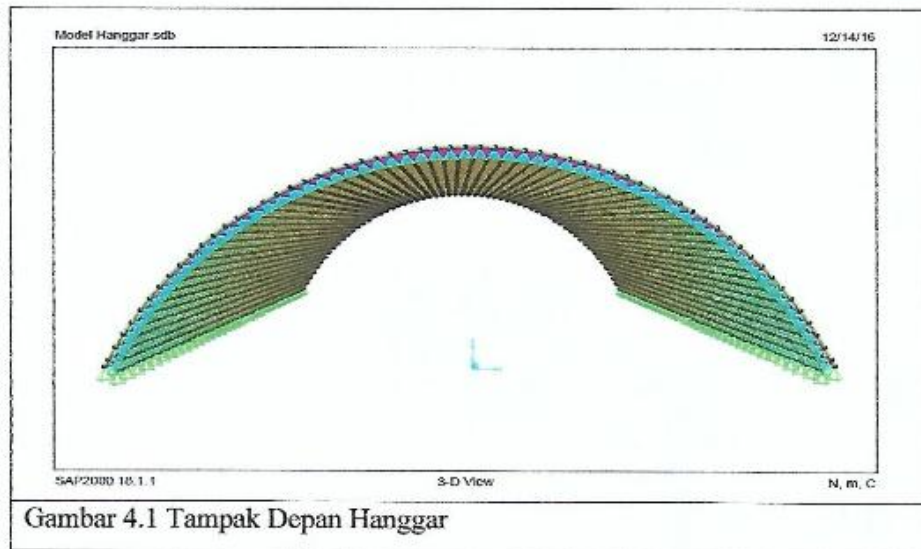
Gaya-gaya dalam terdiri dari momen, gaya normal (*axial*), dan gaya lintang (*shear*). Gaya-gaya dalam yang akan digunakan adalah gaya-gaya maksimum yang dihasilkan dari perhitungan. Hal ini bertujuan untuk memastikan struktur dapat memikul beban terbesar yang mungkin akan muncul baik saat proses konstruksi maupun selama masa layannya.

Setelah gaya-gaya luar (momen, gaya normal, gaya lintang, dan reaksi tumpuan) didapat dari tahap analisis struktur, tahap berikutnya adalah mengecek desain kapasitas penampang profil pipa baja, *ball joint*, dan *base plate* yang dapat langsung diperoleh dengan menggunakan SAP2000 dan perhitungan manual. Jika ternyata kemudian ditemukan yang bahwa dimensi awal tidak memenuhi syarat keamanan, maka akan dilakukan uji coba menggunakan profil dengan dimensi yang lebih besar hingga ditemukan profil yang tepat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Bentuk Bangunan dan Perletakan Tumpuan

Mengacu pada rencana awal kapasitas dan fungsi bangunan, yaitu untuk menarampung sebuah pesawat Boeing 747-400 yang memiliki dimensi 64,4 x 70,7 x 19,4 meter serta sebuah bangunan kantor, maka desain bentuk bangunan serta perletakan tumpuan hangar adalah sebagai berikut:



- Bentuk hangar menggunakan struktur *space frame* dengan system rangka *braced barrel vault* (BBV) 2 lapis. Ketinggian puncak system rangka adalah 30 meter, lebar 100 meter, dan panjang 120 meter, dengan lengkungan pada arah bentang lebar bangunan. Tipe rangka BBV dipilih berdasarkan kebutuhan struktur yang membutuhkan elevasi tinggi hanya di tengahnya saja, sedangkan pada sisi kiri dan kanannya dapat didesain dengan elevasi lebih rendah.
- Digunakan 162 buah tumpuan pada kedua sisi bangunan pada arah memanjang 120 meter. Perletakan tumpuan berinterval 2 m, yakni pada setiap sambungan rangka yang berada di sisi paling bawah. Hal ini dilakukan untuk memperkecil dan membagi beban kerja struktur pada rangka atap dan tumpuan. Gording atap dipasang pada interval 4 meter, mengikuti dimensi plat *zincalume*.

4.2. Dimensi Batang Struktur

Pendimensian batang struktur pada pereneanaan struktur rangka baja *space frame* dengan sambungan *ball joint* ini direneanakan berdasarkan gaya aksial maksimum yang diterima oleh batang tersebut. Gaya batang tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Gaya Batang Maksimum Elemen Struktur

Btg	Gaya	Camb 1	Camb 2	Camb 3	Camb 4x	Camb 4y	Camb 5	Camb 6x	Camb 6y
RLB	P (kg)	2192904,36	1908885,14	1938139,28	2877243,72	2877243,72	1449929,17	2389052,62	2389052,62
	M _{xx} (kg-cm)	3385,45	3389,26	3299,34	3826,85	3826,85	2333,54	2861,83	2861,83
	M _{yy} (kg-cm)	15834,06	14296,32	14301,18	8281,39	8281,39	10468,48	15960,81	15960,81
RLA	P (kg)	-9039738,64	-2829458,3	-2776393,35	-3404791,53	-3404701,93	-1985053,26	-2613361,84	-2613361,84
	M _{xx} (kg-cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	M _{yy} (kg-cm)	169,23	145,08	145,08	145,08	145,08	108,81	108,81	108,81
RDB	P (kg)	134173,79	116376,09	118229,25	173664,77	173660,77	88621,48	143393	143393
	M _{xx} (kg-cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	M _{yy} (kg-cm)	435,57	373,35	373,35	373,35	373,35	280,01	280,01	280,01
GDB	P (kg)	-151198,78	-188076,69	-103476,63	-1297474,58	-1297474,58	-63931,12	-89373,77	-89373,77
	M _{xx} (kg-cm)	3176,46	1841,78	18353,7	14446,83	14446,81	7589,76	14899,94	14899,94
	M _{yy} (kg-cm)	-289737,46	-232223,28	-227967,74	-294632,77	-294632,77	-197307,38	-217442,46	-217442,46
GDL	P (kg)	-1131198,58	-1048076,73	-1030079,53	-1276774,22	-1276774,22	-778631,12	-983325,81	-983325,81
	M _{xx} (kg-cm)	13173,46	12341,31	11953,8	14753,58	14753,51	8599,93	11399,64	11399,64
	M _{yy} (kg-cm)	-289737,46	-232223,28	-227967,74	-282382,77	-282382,77	-163307,38	-217442,4	-217442,46
DGD	P (kg)	352925,9	325120,34	328733,86	401389,78	401389,78	238974,23	311639,15	311639,15
	M _{xx} (kg-cm)	27777,95	25687,54	25245,65	31848,44	31848,41	18169,36	24772,32	24772,32
	M _{yy} (kg-cm)	77502,99	144434,74	38800,02	175066,02	175066,02	10387,58	67381,64	67381,64
RBB	P (kg)	71692,58	64879,73	64488,71	86686,38	86686,38	48982,91	69100,58	69100,58
	M _{xx} (kg-cm)	-445,48	-394,3	-394,3	-578,9	-578,9	-294,79	-478,99	-478,99
	M _{yy} (kg-cm)	748,81	663,74	663,74	934,06	936,06	488,98	761,31	761,31
RBA	P (kg)	-18883,64	-15332,4	-15800,48	-24478,37	-24470,37	-11905,33	-20975,22	-20975,22
	M _{xx} (kg-cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	M _{yy} (kg-cm)	19,88	16,97	16,97	16,97	16,97	12,73	12,73	12,73

Hasil yang dipaparkan di atas didapatkan setelah melewati enam kali proses pendimensian ulang pada komponen-komponen rangka. Pada percobaan pertama, dengan spesifikasi awal seperti tertera pada tabel 4.2 halaman 27, didapatkan rasio kekuatan maksimum mencapai 24. Ini adalah angka yang sangat ekstrim, mengingat rasio keanginan yang ideal adalah di bawah 1. Selain rasio yang tidak aman, sebagian komponen batang juga tidak memenuhi kriteria kelangsingan.

Untuk mengatasi kedua permasalahan tersebut, dilakukan pendimensian ulang pada seluruh rangka, kecuali rangka bagi bawah, yang memang sudah memiliki rasio kekuatan yang aman dan sudah memenuhi kriteria kelangsingan. Setelah dimensi rangka-rangka pipa dan kanal diperbesar, didapatlah spesifikasi komponen-komponen rangka yang aman sebagaimana tersaji dalam Tabel 4.2 halaman 27. Pada tabel tersebut tampak bahwa rasio tertinggi, yakni 0,94125 pada gording melintang, masih di bawah syarat maksimum rasio kekuatan $\ll(0,95)$. Selain itu, defleksi maksimum yang terjadi pada struktur juga sangat aman, hanya

sebesar 0,102 m, di mana syarat maksimumnya adalah 0,83 m.

Perencanaan *base plate* dan baut angkur didasarkan pada reaksi tumpuan dan momen ultimit, yakni sebesar $P_u = 1640120,336$ N dan $M_u = 95555555556$ N-mm. Dari hasil perhitungan dengan metode *trial and error*, didapatkan dimensi *base plate* yang sesuai adalah 2000 x 1800 mm dengan ketebalan 210 mm, Untuk baut angkur, digunakan 30 buah baut M42 dengan diameter 45,6.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Desain menggunakan *space frame* tipe *Braced Barrel Vault* (BBV) karena struktur hanggar ini membutuhkan adanya elevasi tinggi di tengah bentang dan elevasi yang lebih rendah pada kedua sisi.

Desain struktur *space frame* terdiri dari 4800 batang Rangka Lengkung Bawah berukuran *Circular Section Steel* (eSS) 250,00 x 45,00; 4941 batang Rangka Lengkung Atas berukuran ess 250,00 x 36,00; 4960 batang Rangka Bagi Atas berukuran ess 76,3 x 3,2; 4819 batang Rangka Bagi Bawah berukuran ess 114,3 x 3,5; 19520 batang Rangka Redundant berukuran ess 165,20 x 30,00; 5022 batang Rangka Dudukan Gording berukuran ess 237,00 x 70,00; 4941 batang Rangka Gording Melintang berukuran ess 240 x 70,00; dan 4880 batang Rangka Gording Memanjang berukuran C 150 x 75 x 4,5; dengan total rangka baja 53883 batang;

Defleksi maksimum struktur yang terjadi adalah 10,19 em pada joint 16520 di tengah bentang dengan defleksi maksimum yang boleh terjadi adalah 83 cm. Sambungan menggunakan 4880 buah *ball joint* tipe I berdiameter 28 cm pada rangka bawah, 5022 buah *ball joint* tipe II berdiameter 28 em pada rangka atas;

Base plate yang digunakan untuk tumpuan struktur atap berdimensi (2000 x1800) rnm dengan ketebalan 210 mm, dengan menggunakan 30 angkur berdiameter 45,6 mm yang ditanam sedalam 1055 mm ke dalam pondasi beton.

5.2. Saran

Setelah mengerjakan perencanaan ini, penulis dapat menyarankan beberapa hal, di antaranya adalah metode dan perhitungan yang digunakan dalam perencanaan ini dapat dikembangkan untuk tipe-tipe *space frame* dan tipe-tipe sambungan lainnya.

Dalam mendesain struktur dengan jumlah elemen *danjoint* yang banyak, pemodelan pada program SAP2000 sebaiknya dilakukan dengan rapi dan berurutan, terutama saat *me-replicate* model, sehingga penomoran elemen *danjoint* menjadi berurutan. Hal ini akan memudahkan pengolahan data.

Diharapkan agar ke depannya dapat tersedia jenis material yang lebih ringan namun tetap kuat. Hal ini akan memungkinkan pembangunan struktur *space frame* dengan bentang yang lebih besar dan pengerjaan yang lebih mudah. Diharapkan ke depannya dilakukan penelitian lebihjauh mengenai struktur rangka ruangjenis *braced barrel vault* agar didapat pendekatan-pendekatan barn dalam merencanakan struktur yang lebih optimal dari segi

biaya, pelaksanaan, dan kemampuan layan. Perencanaan ini dapat dijadikan sebagai modul untuk perencanaan *space frame* di masa yang akan datang.

VI. DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Adrian L., R, 2011, *Desain Software Space Frame Menggunakan MERO Sistem Terintegrasi dengan SAP2000 V14.1*, FTSP ITS, Surabaya,
- Anonim, 1989, Standar Nasional Indonesia 1727-1989: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim, 1998, SAP2000: Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, CS! Inc, Berkeley, California, USA.
- Anonim, 2002, Standar Nasional Indonesia 1729-2002: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, 2008, Baut dan Mur Segi-Enam untuk Penggunaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, 2011 a, Structure and Form Analysis System, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA.
- Anonim, 2011 b, CSI Analysis Reference Manual: For SAP2000, ETABS, SAFE, and Csiliridge, CSI Inc, Berkeley, California, USA.
- Anonim, 2012, Standar Nasional Indonesia 1726-2012: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung, Departemen Pekerjaan Umum.
- Dewobroto, W., 2007, Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- DeWolf, J. T., David T. B., 2003, Steel Design Guide Series: Column Base Plates, American Institute of Steel Construction Inc., USA.
- Diansyah, T., 2015, Perencanaan Struktur Space Frame Rangka Baja Dengan Sambungan Ball Joint (Studi Kasus pada Gudang Batu Bara PLTU Nagan Raya), Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Hariyanto, A., Sudarmo, BS & Soekirno, A. Penerapan Struktur Space Frame Pada Hanggar Pemeliharaan Pesawat Di Bandara Samarinda Baru, Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya