

Analisis Perhitungan Hasil Revisi Profil Baja Struktur Penutup Lubang Fasilitas Liner Roket RX-550 LAPAN

Oleh :
Setiadi*

Abstrak

Proses liner merupakan langkah kegiatan pembuatan lapisan insulasi termal sekaligus proses pengisian propelan ke dalam tabung motor roket berbahan bakar padat yang dibuat oleh LAPAN. Kegiatan ini memerlukan ruangan dengan luas dan ketinggian tertentu. Khusus untuk motor roket RX-550 diperlukan bangunan penggantung komponen motor roket setinggi 14 meter. Guna melaksanakan kegiatan ini maka hanggar integrasi roket telah dipilih sebagai bangunan yang digunakan dengan menggali sebagian permukaan lantai berbentuk empat persegi panjang sedalam 4 meter. Agar kegiatan lain tetap berjalan maka diperlukan penutup lubang yang akan dibuat.

Pada awalnya rancangan untuk penutup lubang adalah 2 buah pelat baja dengan tebal masing-masing 1 centimeter, dimana dibawah pelat diletakkan profil baja dengan bentuk WF. Tim pustekroket sebagai user meminta penggunaan pelat sebagai penutup diganti dengan profil baja yang lebih kecil, supaya lebih praktis, dan mudah dalam pengoperasian serta lebih kuat. Setelah dua kali revisi, penulis merencanakan profil penutup sebagai pengganti pelat tersebut diatas.

Makalah ini akan menganalisis perhitungan struktur penutup lubang untuk proses liner agar lebih praktis dalam handling, lebih kuat dan aman. Metode yang digunakan adalah statika struktur pada simple beam struktur statis tertentu dengan prinsip keseimbangan gaya luar dengan gaya dalam. Inti dari rancangannya adalah agar profil kuat menerima beban mobil launcher untuk roket RX-420 yang kemungkinan akan melewati lubang tersebut dan mudah mengangkat profil baja satu persatu oleh dua atau tiga orang. Dalam rangka menyesuaikan kebutuhan ini maka digunakan profil WF 100x100x6x8 dipasang berjajar rapat sebanyak 35 buah sebagai penutup lubang tersebut.

Berdasarkan analisis perhitungan diperoleh bahwa penggunaan profil WF 100x100x6x8 menghasilkan tegangan dan lendutan yang masih dibawah nilai ijinnya, dimana factor keamanan masing-masing baik tegangan maupun lendutannya sebesar 1,6. Bangunan peralatan proses liner ini telah berhasil digunakan pada proses liner sebanyak dua kali dan berhasil dengan baik.

Kata Kunci : Liner, Motor Roket RX-550, Struktur Penutup Lubang, Statika Struktur.

Abstract

Liner is a step process for setting up a thermal insulation on a layer as well as the process of filling the propellant into a tube solid fuel rocket motor made by LAPAN. This activity requires a room with an area and a specific height. Especially for RX-550 rocket motor mounting components necessary building rocket motors as high as 14 meters. To carry out this activity the hangar integration as building rockets have been used to dig up some of the floor surface rectangular depth of 4 meters. In order to keep running the other activities required manhole cover to be made.

Initially designed to cover the hole is 2 pieces of thick steel plate with each 1 centimeter, which is placed under the plate steel profile with a form WF. Team pustekroket as the user requests the use of a cover plate is replaced with a smaller steel profiles, to make it more practical, and easy to operate and more powerful. After two revisions, the authors plan profile cover plates in lieu of the above.

This paper will analyze the manhole structure calculations for the liner to be more practical in handling, more robust and secure. The method used is simple statics beam structure at a particular static structure with external force balance principle in style. The core of the design is so strong profile accept of load mobile launcher for rocket RX-420, is likely to pass through the hole and easily lift steel profiles one by one by two or three people. In order to adapt to this need then used profile posted lined WF 100x100x6x8 meeting as many as 35 pieces cover the hole.

Based on the analysis of the obtained calculation that uses WF 100x100x6x8 generate stress profile and a deflection that is still below the value of its license, where the safety factor of each well nad deflection stress of 1,6. Building liner process equipment has been successfully used in the liner twice and did well.

Keywords: Liner, Motor rocket RX-550, Structural Hole Covers, Structural Statics.

* Peneliti Pusat Teknologi Roket - LAPAN

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor roket berbahan bakar padat terdiri dari tabung, cap, nosel, propelan dan insulasi termal serta igniter. Hasil pembakaran propelan di dalam motor roket ini akan menghasilkan gas dgn tekanan dan temperatur yang tinggi. Oleh karena itu dinding tabung motor roket perlu dilindungi dengan lapisan penahan panas (insulasi termal). Proses pembuatan insulasi termal pada motor roket LAPAN dilakukan bersamaan dengan proses pengisian propelan ke dalam tabung motor roket yang disebut proses liner. proses ini memerlukan ruangan yang luas dan tinggi. Khusus untuk motor roket RX-550 diperlukan bangunan penggantung setinggi 14 meter dengan pertimbangan sebagai berikut : panjang tabung motor roket 6 meter, panjang propelan 5,50 meter, tinggi meja proses 1,60 meter dan masih diperlukan tali pengait hingga ke ujung penggantung. Dipilih hanggar sebagai tempat fasilitas proses nya karena bangunan fisik sudah ada, serta bangunan cukup tinggi dan terlindung. Tinggi bangunan hanggar yang ada 10 meter, jadi diperlukan galian dibawah permukaan lantai sedalam 4 meter. Galian dengan kedalaman 4 meter tersebut berbentuk lubang empat persegi panjang dengan ukuran 2,80 meter x 3,50 meter. Ketika kegiatan proses liner tidak ada, maka lubang tersebut haruslah ditutup agar kegiatan lainnya tetap bisa berjalan. Beberapa contoh kegiatan proses liner rokt RX 550 dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.



Gambar 1.1. Pengisian Propelan RX 550



Gambar 1.2. Pembuatan Insulasi Termal

Konstruksi penutup lubang direncanakan dibuat dari struktur baja dengan mempertimbangkan masih adanya kendaraan cukup berat yang mungkin akan melewati lubang tersebut, salah satu contohnya adalah *mobil launcher* yang sejak dahulu sudah dipakai untuk uji terbang. Selain launcher bersama roket RX-420, kemungkinan masih ada kendaraan cukup berat lainnya yang akan melewati penutup lubang tersebut. Dari catatan penulis, oleh pihak perencana rancangan awal untuk penutup lubang adalah 2 buah pelat baja dengan tebal masing-masing 1 centimeter, dimana dibawah pelat diletakkan gelagar dengan bentuk profil WF. Kemudian oleh pihak LAPAN khususnya tim pustekroket sebagai *user*, penggunaan pelat sebagai penutup perlu diganti dengan profil baja yang lebih kecil, agar lebih praktis dalam *handling* dan penggunaan serta lebih kuat. Lalu oleh pihak perencana pelat akan diganti oleh profil *light lip channels* yaitu profil seperti bentuk huruf C dengan pengait diujungnya. Sekali lagi pihak tim dari pustekroket sebagai *user*, termasuk penulis ketika itu minta agar tidak memakai profil tersebut, karena profil tersebut biasanya untuk konstruksi ringan. Selanjutnya penulis diminta untuk merencanakan profil penutup sebagai pengganti pelat tersebut diatas. Inti dari rancangannya adalah agar profil kuat menerima beban mobil launcher untuk roket RX-420 yang kemungkinan akan melewati lubang tersebut, mudah mengangkat profil baja satu

persatu, oleh dua atau tiga orang. Disepakati memakai profil WF 100x100x6x8 dipasang berjajar rapat sehingga dapat berfungsi sebagai penutup lubang.

1.2. Tujuan Penulisan

Seperti telah disampaikan diatas bahwa awalnya oleh pihak perencana, rancangan untuk penutup lubang adalah pelat baja, lalu tim user meminta agar penggunaan pelat diganti dengan profil baja yang lebih kecil, agar lebih praktis dalam *handling* dan penggunaan, serta lebih kuat. Lalu pilihan kedua juga masih belum memuaskan karena profil pilihan tersebut untuk konstruksi ringan.

Jadi tujuan dari makalah ini adalah menganalisis perhitungan struktur penutup lubang untuk proses liner agar lebih praktis dalam *handling* dan lebih kuat dan aman. Metode yang digunakan adalah statika struktur pada *simple beam* struktur statis tertentu dengan prinsip keseimbangan gaya luar dengan gaya dalam. Pemilihan jenis profil baja dilakukan agar tegangan bahan masih aman dan cukup ekonomis. Selanjutnya dari momen akhir yang diperoleh, dapat dihitung gaya-gaya dalam yang digunakan untuk perencanaan dimensi profil baja.

2. METODOLOGI

Guna menganalisis kekuatan struktur lubang galian tersebut, maka ada beberapa bagian struktur yang perlu dibahas. Konstruksi utama lubang galian untuk ruang proses liner atau *bunker* ini dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu pondasi dengan lantai kerjanya yang terbuat dari konstruksi beton, dinding lubang agar galian tidak runtuh ketika ada beban berat melewatinya, yang juga terbuat dari beton, dan bagian penutup lubang yang terbuat dari konstruksi baja. Dalam hal ini pembahasan dibatasi pada bagian penutup *bunker* saja.

Metode yang digunakan adalah statika struktur pada *simple beam* struktur statis tertentu dengan prinsip keseimbangan gaya luar dengan gaya dalam. Pemilihan jenis profil baja dilakukan agar tegangan bahan masih aman dan cukup ekonomis. Selanjutnya dari momen akhir yang diperoleh, dapat dihitung gaya-gaya dalam yang digunakan untuk perencanaan dimensi profil baja.

Asumsi beban terbesar yang akan melewati tutup bunker tersebut adalah mobil launcher untuk roket RX-420 yang sejak dahulu sudah ada dihanggar tersebut, beratnya diperkirakan 12 ton yang akan dibagi ke roda bagian depan dan belakang, masing-masing 45% dan 55%. Beban ini akan bekerja sebagai beban hidup pada konstruksi penutup lubang, dimana penutup lubang akan terdiri dari struktur gelagar melintang pada bagian atas (yang ketinggiannya rata dengan lantai) dan gelagar memanjang pada bagian bawahnya. Besaran beban ini tidak mengikuti ketentuan pembebanan untuk konstruksi jalan raya yang ditentukan oleh Bina Marga, seperti yang diberikan oleh pihak perencana.

3. LANDASAN TEORI

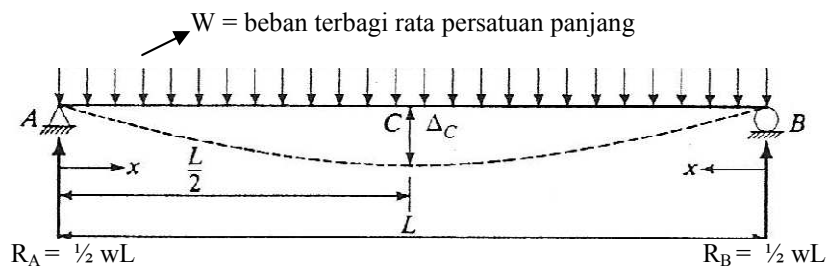
Pada dasarnya konstruksi penutup lubang terdiri dari dua lapis, lapis atas merupakan gelagar melintang yang ketinggiannya rata dengan lantai dan dibawahnya atau lapis bawah merupakan gelagar memanjang. Dari catatan penulis ketika pertemuan dengan tim perencana 28 September 2010, oleh pihak perencana rancangan awal untuk penutup lubang adalah 2 buah pelat baja dengan tebal masing-masing 1 centimeter, dimana dibawah pelat diletakkan profil baja WF 350x175x6x9. Selanjutnya penulis diminta untuk merencanakan profil penutup, karena revisi kedua pun tidak memuaskan *user*. Inti dari rancangannya adalah agar profil kuat menerima beban mobil launcher untuk roket RX-420 yang kemungkinan akan melewati lubang tersebut, mudah mengangkat profil baja satu persatu, oleh dua atau tiga orang. Setelah dihitung disepakati memakai profil gelagar yang lebih kecil WF 100x100x6x8 dipasang berjajar rapat sebanyak 35 buah, hingga mencapai lebar 350 centimeter, dapat berfungsi sebagai penutup layaknya sebagai pelat.

Beban yang bekerja pada suatu konstruksi umumnya terdiri dari beban mati dan beban hidup. Beban mati dalam hal ini adalah berat sendiri dari gelagar tersebut, yang dapat dilihat pada tabel baja sesuai dengan profil yang dipilih, sedangkan beban hidup adalah beban bergerak yang diperkirakan akan bekerja pada struktur tersebut. Asumsi beban hidup terbesar yang akan melewati tutup bunker adalah mobil launcher untuk roket RX-420, beratnya diperkirakan 12 ton yang akan dibagi ke roda bagian depan dan belakang, masing-masing 45% dan 55%. Sehingga beban hidup terbesar yang akan bekerja pada tutup bunker adalah 12 ton dikali 55% dibagi dengan 2, didapat hasil 3,3 ton.

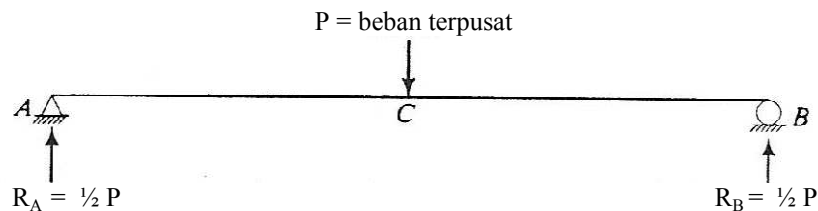
3.1. Gaya Dalam Pada Sistem Tumpuan Sederhana

Seperti telah disampaikan di atas bahwa bangunan penutup lubang proses liner di topang oleh gelagar melintang di atas dan gelagar memanjang dibawahnya, model matematis dari struktur tersebut adalah seperti terlihat pada gambar-1 dibawah ini. Analisa struktur pada balok atau gelagar melintang dapat langsung diselesaikan dengan keseimbangan momen = 0, atau keseimbangan gaya vertikal dan horizontal = 0 seperti layaknya struktur statis tertentu. Prinsip dasar statika pada sistem tumpuan sederhana, dapat menurunkan besaran gaya dalam, seperti reaksi tumpuan (R), persamaan momen lentur (M) dan gaya geser (D), sebagai fungsi dari besaran beban.

Akibat dari beban mati yang merupakan berat sendiri w , pada perletakan didapat reaksi $R_A = R_B = \frac{1}{2} wL$ (gambar 3.1.) dan pada setengah bentang didapat momen lentur maksimum M_{max} sebesar $\frac{1}{8} wL^2$, dimana w = beban persatuan panjang dan L = panjang bentang. Sedangkan akibat beban hidup P , pada perletakan didapat reaksi $R_A = R_B = \frac{1}{2} P$ (gambar 3.2.) dan pada setengah bentang didapat momen maksimum M_{max} sebesar $\frac{1}{4} PL$, dimana P = beban terpusat. Gaya geser maksimum (D_{max}) dalam model balok tumpuan sederhana ini = reaksi perletakannya. Hal ini merupakan metode yang dipakai untuk analisis struktur balok tumpuan sederhana statis tertentu.



Gambar 3.1. Tumpuan sederhana menerima beban terbagi rata w dengan reaksi $\frac{1}{2} wL$



Gambar 3.2. Tumpuan sederhana menerima beban hidup terpusat P dengan reaksi $\frac{1}{2} P$

3.2 Tegangan dan Lenturan

Indikator dari kekuatan struktur adalah bahwa tegangan yang terjadi pada penampang haruslah masih lebih kecil dibandingkan dengan batas kekuatan tegangan bahannya, baik itu tegangan lentur akibat momen lentur maupun tegangan geser akibat gaya geser. Jadi nilai momen lentur dan gaya geser yang didapat dari teori sub-bab 3.1. diatas, selanjutnya diurai menjadi tegangan lentur dan tegangan geser, dengan memasukkan nilai-nilai propertis penampang. Propertis penampang yang diperlukan disini misalnya dimensi lebar, tebal dan tinggi penampang, yang kemudian dari besaran tersebut dicari letak garis netral, nilai Inersia Momen (I) dan Statis Momen (S). Selanjutnya terdapat hubungan erat antara Tegangan Lentur (σ), Momen Lentur (M) dan Inersia Momen (I), dan hubungan antara tegangan geser (τ) dengan nilai inersia momen, statis momen serta gaya geser (D).

Besarnya nilai lenturan atau lendutan (*deflection*) pada suatu panjang bentang diperlukan untuk mengetahui kekakuan dari struktur tersebut. Dalam hal ini nilai kekakuan lentur tergantung dari besarnya perkalian antara Modulus Elastisitas Bahan (E) dengan Inersia Momen (I), dimana setiap bahan mempunyai nilai E yang berbeda-beda. Seperti pada tegangan yang mempunyai hubungan dengan inersia momen, maka pada lendutanpun terdapat hubungan antara besarnya beban (w atau P), panjang bentang (L) dengan modulus elastisitas (E) dan inersia momen (I). Sebagai contoh besarnya

lendutan maksimum (Δ_{\max}) pada balok tumpuan sederhana akibat beban terbagi rata (w), $\Delta_{\max} = 5 \cdot w \cdot L^4 / 384 \cdot EI$ (gambar 3.1). Sedangkan akibat beban terpusat (P), $\Delta_{\max} = P \cdot L^3 / 48 \cdot EI$ (gambar 3.2).

4. DATA DAN ANALISIS

4.1. Data Geometri Struktur

Ukuran lubang yang menjadi ruang kerja proses liner adalah 2,80m x 3,50m, dari ukuran tersebut masih dibutuhkan alas untuk dudukan gelagar melintang dan gelagar memanjang masing-masing kanan dan kiri selebar 35 cm, sehingga ukuran tutup menjadi 3,50m x 4,20m. Ukuran tutup tersebut menjadikan panjang gelagar melintang = 4,20m, ketinggian gelagar rata-rata dengan permukaan lantai, memakai profil WF 100x100x6x8 dipasang berjajar rapat sebanyak 35 buah, hingga mencapai lebar 350 centimeter (lihat gambar 4.1), 1 gelagar lebarnya 10 cm.

Dibawah gelagar melintang dipasang gelagar memanjang yang arahnya tegak lurus dengan gelagar melintang. Oleh pihak perencana, gelagar memanjang menggunakan profil baja WF 350x175x6x9, sebanyak 3 buah dengan panjang 3,50 m (lihat gambar 4.2.). Profil gelagar memanjang ini, masih sangat mungkin untuk dipilih dengan ukuran yang lebih optimal. Data propertis gelagar memanjang dan melintang ini diperlukan untuk analisis struktur berikutnya.



Gambar 4.1. Gelagar melintang, ketinggian permukaan rata dengan lantai



Gambar 4.2. Gelagar memanjang, berada dibawah gelagar melintang

4.2. Beban Kerja dan Berat Sendiri Profil

Beban mati adalah berat sendiri dari gelagar tersebut, yang dapat dilihat pada tabel baja sesuai dengan profil yang dipilih, sedangkan beban hidup adalah beban bergerak yang diperkirakan akan bekerja pada struktur tersebut. Asumsi beban hidup terbesar yang akan melewati tutup bunker adalah mobil launcher untuk roket RX-420, beratnya diperkirakan 12 ton yang akan dibagi ke roda bagian depan dan belakang, masing-masing 45% dan 55%. Sehingga beban hidup terbesar yang akan bekerja pada tutup bunker = $12 \times 55\% / 2 = 3,3$ ton. Beban ini akan bekerja pada gelagar paling atas atau gelagar melintang, sebagai beban terpusat seperti pada gambar 3.2. Berat sendiri WF 350x175x6x9 = 41,4 kg/m', dan berat sendiri WF 100x100x6x8 = 17,2 kg/m' sebagai beban terbagi rata seperti pada gambar 3.1.

4.3. Data Material Baja dan Penampangnya

Material baja yang dipakai untuk bangunan ini ASTM A36, dan nilai properties dari tabel baja sebagai berikut :

Tegangan Leleh $\sigma_y = 36000$ psi = 2535 kg/cm².

Tegangan Dasar $\sigma = 2535/1,5 = 1690$ kg/cm².

Tegangan Ultimit (Kuat Tarik) $\sigma_u = 60000$ psi = 4225 kg/cm²

Modulus Elastisitas Baja $E = 2,1 \times 10^6$ kg/cm².

Profil WF 350x175x6x9, Inersia Momen $I_x = 11100$ cm⁴, Momen Tahanan $W_x = 641$ cm³

Profil WF 100x100x6x8, Inersia Momen $I_x = 383$ cm⁴, Momen Tahanan $W_x = 26,7$ cm³

4.4. Perhitungan Gelagar Melintang

Profil WF 100x100x6x8 digunakan sebagai gelagar melintang, analisis akan diuraikan seperti dibawah ini, dengan menghitung tegangan lentur yang terjadi, lendutan dan tegangan geser :

Berat sendiri = $17,2 \text{ kg/m}^3$; Luas = $21,90 \text{ cm}^2$; Statis Momen $S = 42,1 \text{ cm}^3$
Tebal bagian badan = $6 \text{ mm} = 0,6 \text{ cm}$; Inersia Momen : $I_x = 383 \text{ cm}^4$
Momen tahanan : $W_x = 76,5 \text{ cm}^3$; Tegangan Dasar ijin = $\sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$.

Beban dan panjang bentang :

Beban hidup $P = 3,3 \text{ ton}$; Beban mati = berat sendiri, $g = 17,2 \text{ kg/m}^3$

Panjang bentang (L) = $1,10 \text{ m}$.

Gaya dalam dan Tegangan yang terjadi : $\sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$.

Momen maksimum $M_{max} = (g \cdot L^2 / 8) + (P \cdot L / 4) = 910,1 \text{ kg.m}$.

Tegangan Maksimum : $\sigma_{max} = M_{max} / W_x = 1190 \text{ kg/cm}^2 < 1690 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Check Lendutan Total : $\Delta_{ijin} = L / 400 = 0,275 \text{ cm}$

$\Delta_{total} = P \cdot L^3 / (48 \cdot EI) + 5 \cdot g \cdot L^4 / (384 \cdot EI) = 0,1142 \text{ cm} < 0,275 \text{ cm} \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Check Lendutan Akibat Beban Hidup : $\Delta_{ijin LL} = L / 600 = 0,183 \text{ cm}$

$\Delta_{LL} = P \cdot L^3 / (48 \cdot EI) = 0,1138 \text{ cm} < 0,183 \text{ cm} \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Check Tegangan Geser : $\tau_{ijin} = 0,58 \cdot 1690 = 980 \text{ kg/cm}^2$

$D_{max} = P + g \cdot L / 2 = 3309,5 \text{ kg}$.

$\tau_{max} = D_{max} \cdot S / b \cdot I = 607 \text{ kg/cm}^2 < 980 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Dengan demikian profil WF 100x100x6x8 memenuhi syarat, jika dipakai sebagai gelagar melintang, dipasang berjajar rapat sekaligus sebagai penutup lubang. Gelagar melintang ini, menumpu pada gelagar memanjang dibawah nya.

4.5. Perhitungan Gelagar Memanjang

Pihak perencana menggunakan profil WF 350x175x6x9 sebagai gelagar memanjang, profil ini akan dianalisis berdasarkan tegangan lentur, lendutan dan tegangan geser sebagai recheck :

Berat sendiri = $41,4 \text{ kg/m}^3$; Luas = $52,68 \text{ cm}^2$; Statis Momen $S = 355 \text{ cm}^3$

Tebal bagian badan = $6 \text{ mm} = 0,6 \text{ cm}$; Inersia Momen : $I_x = 11100 \text{ cm}^4$

Momen tahanan : $W_x = 641 \text{ cm}^3$; Tegangan Dasar ijin = $\sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$.

Beban dan panjang bentang :

Beban hidup $P = 3,3 \text{ ton}$; Beban mati = $g = 41,4 \text{ kg/m}^3$ dan panjang bentang (L) = $2,80 \text{ m}$.

Gaya dalam dan Tegangan yang terjadi : $\sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$.

Momen maksimum $M_{max} = (g \cdot L^2 / 8) + (P \cdot L / 4) = 2635 \text{ kg.m}$.

Tegangan Maksimum : $\sigma_{max} = M_{max} / W_x = 411 \text{ kg/cm}^2 < 1690 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Check Lendutan Total : $\Delta_{ijin} = L / 400 = 0,7 \text{ cm}$

$\Delta_{total} = P \cdot L^3 / (48 \cdot EI) + 5 \cdot g \cdot L^4 / (384 \cdot EI) = 0,066 \text{ cm} < 0,7 \text{ cm} \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Check Lendutan Akibat Beban Hidup : $\Delta_{ijin LL} = L / 600 = 0,4667 \text{ cm}$

$\Delta_{LL} = P \cdot L^3 / (48 \cdot EI) = 0,065 \text{ cm} < 0,4667 \text{ cm} \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Check Tegangan Geser : $D_{max} = P + g \cdot L / 2 = 3309,5 \text{ kg}$.

$\tau_{max} = D_{max} \cdot S / b \cdot I = 177 \text{ kg/cm}^2 < 980 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \text{Ok aman !}$

4.6. Alternatif Profil Gelagar Memanjang

Melihat hasil analisis yang didapat dari pemakaian profil WF 350x175x6x9, dimana tegangan dan lendutan yang terjadi masih sangat aman, maka akan dicoba memakai profil gelagar memanjang yang lebih kecil. Dipakai profil WF 250x125x6x9 dengan data propertis dan perhitungannya seperti dibawah ini :

Berat sendiri = $29,6 \text{ kg/m}^3$; Luas = $37,66 \text{ cm}^2$; Statis Momen $S = 176 \text{ cm}^3$

Tebal bagian badan = 6 mm = 0,6 cm ; Inersia Momen : $I_x = 4050 \text{ cm}^4$
 Momen tahanan : $W_x = 324 \text{ cm}^3$; Tegangan Dasar ijin = $\sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$.
 Panjang bentang (L) = 2,80 m.

Gaya dalam dan Tegangan yang terjadi : $\sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$.
 Momen maksimum $M_{max} = (g \cdot L^2 / 8) + (P \cdot L / 4) = 233901 \text{ kg.cm}$.
 Tegangan Maksimum : $\sigma_{max} = M_{max} / W_x = 722 \text{ kg/cm}^2 < 1690 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Check Lendutan Total : $\Delta_{ijin} = L/400 = 0,7 \text{ cm}$
 $\Delta_{total} = P \cdot L^3 / (48 \cdot EI) + 5 \cdot g \cdot L^4 / (384 \cdot EI) = 0,180 \text{ cm} < 0,7 \text{ cm} \Rightarrow \text{Ok aman !}$

Check Tegangan Geser : $\tau_{ijin} = 0,58 \cdot 1690 = 980 \text{ kg/cm}^2$
 $D_{max} = P + g \cdot L / 2 = 3342 \text{ kg}$.
 $\tau_{max} = D_{max} \cdot S / b \cdot I = 242 \text{ kg/cm}^2 < 980 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \text{Ok aman !}$

5. PEMBAHASAN

5.1. Pemakaian Profil Gelagar Memanjang WF 350x175x6x9 dan WF 250x125x6x9

Pertama disini akan dibahas pemakaian profil gelagar memanjang oleh pihak perencana, yaitu WF 350x175x6x9. Didalam analisis struktur kekuatan bahan, terdapat hubungan antara tegangan lentur (σ), momen lentur (M) dan inersia momen (I) dengan rumus : $\sigma = M \cdot y / I$, dimana y merupakan jarak dari sumbu netral terhadap serat paling atas atau serat paling bawah. Hubungan I/y disebut momen tahanan penampang (W), dengan demikian rumus dapat disederhanakan menjadi $\sigma = M / W$. Tegangan lentur maksimum dan tegangan geser maksimum yang terjadi harus lebih kecil dari tegangan ijin masing-masing. Untuk tegangan lentur $\sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan untuk tegangan geser $\tau_{ijin} = 980 \text{ kg/cm}^2$. Demikian pula untuk lendutan yang terjadi. Dari hasil hitungan tegangan lentur maksimum yang terjadi $\sigma_{max} = 411 \text{ kg/cm}^2$ dan tegangan geser maksimum $\tau_{max} = 177 \text{ kg/cm}^2$. Tegangan yang terjadi nilainya jauh lebih kecil dibandingkan nilai ijinnya, demikian pula dengan lendutan $0,065 \text{ cm} < 0,4667 \text{ cm}$, sehingga rancangan meskipun aman tetapi kurang ekonomis. Untuk itu dapat dicoba profil lain yang lebih kecil agar lebih ekonomis.

Selanjutnya dicoba profil yang lebih kecil yaitu WF 250x125x6x9, dari hasil hitungan diatas didapat hasil yang lebih mendekati nilai ijinnya. Untuk tegangan lentur, $\sigma_{max} = 722 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan tegangan geser $\tau_{max} = 242 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{ijin} = 980 \text{ kg/cm}^2$, demikian juga untuk lendutannya $0,180 \text{ cm} < 0,4667 \text{ cm}$. Maka profil WF 250x125x6x9 sebenarnya dapat digunakan untuk tujuan lebih optimum atau ekonomis.

5.2. Pemakaian Profil Gelagar Melintang WF 100x100x6x8

Seperti telah disampaikan diatas bahwa rancangan awal dari pihak perencana, penutup lubang adalah 2 buah pelat baja dengan tebal masing-masing 1 centimeter. Penggunaan pelat sebagai penutup lubang tidak praktis dalam *handling*, karena ketika tutup dibuka untuk proses liner, ukuran pelat baja 122 cm x 288 cm harus diangkat semua, disamping itu ukuran pelat kurang sesuai dengan ukuran lubang, sehingga perlu sambungan yang dapat mengurangi kekuatan. Dari hitungan yang penulis lihat, dimensi tebal pelat menghasilkan kekuatan yang lebih kecil dibandingkan dengan memakai profil WF, demikian pula dari segi kekakuan profil WF akan lebih kaku.

Selanjutnya dari analisis perhitungan beberapa pilihan yang dicoba-coba, dan dengan berbagai pertimbangan, diambil profil WF 100x100x6x8. Dari hasil hitungan diatas didapat hasil yang lebih mendekati nilai ijinnya. Untuk tegangan lentur, $\sigma_{max} = 1190 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 1690 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan tegangan geser $\tau_{max} = 607 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{ijin} = 980 \text{ kg/cm}^2$, demikian juga untuk lendutannya $0,114 \text{ cm} < 0,183 \text{ cm}$. Maka profil WF 100x100x6x8 dapat digunakan untuk tujuan lebih praktis, optimum dan ekonomis. Untuk pertimbangan berat material, jika menggunakan pelat dengan ukuran tutup lubang 350 cm x 420 cm dan tebal pelat 2 cm, berat nya = 2323 kg. Sedangkan dengan menggunakan WF 100x100x6x8, panjang 420 cm, sebanyak 35 buah, berat per batang = 72,2 kg, berat total = 2527 kg. Hal ini berarti berat profil WF lebih besar 8,8% dibandingkan dengan berat pelat.

Sebagai informasi tambahan, bangunan ini telah dipakai dua kali proses liner dalam rangka persiapan uji statik motor roket RX-550. Uji statik pertama dilaksanakan pada tanggal 25 Oktober

2011, sedangkan uji statik kedua tanggal 29 September 2012. Jadi setidaknya bangunan ini sudah dipakai oleh user untuk dua kali uji statik RX-550. Hal ini menunjukkan bahwa bangunan ini layak untuk dipakai, dapat berfungsi dan bermanfaat sesuai peruntukannya.

6. KESIMPULAN

- Pemakaian konstruksi penutup lubang galian untuk proses liner terdiri dua lapis, lapis atas sebagai gelagar melintang memakai profil baja WF 100x100x6x8, dan lapis bawah sebagai gelagar memanjang memakai profil baja WF 350x175x6x9. Dari analisis perhitungan pada bagian pembahasan hasil, penggunaan gelagar memanjang WF 350x175x6x9 menghasilkan tegangan dan lendutan yang jauh lebih kecil dibandingkan tegangan dan lendutan ijinnya, masing-masing faktor keamanan tegangan = 4,1 dan faktor keamanan lendutan = 7,1. Jadi meskipun aman tetapi tidak ekonomis.
- Sebagai alternatif rancangan gelagar memanjang, dapat memakai profil yang lebih kecil misalnya WF 250x125x6x9. Dari perhitungan pada pembahasan hasil, profil ini menghasilkan tegangan dan lendutan yang lebih mendekati nilai ijinnya, masing-masing faktor keamanan tegangan = 2,3 dan faktor keamanan lendutan = 2,6 sehingga sebenarnya profil ini dapat digunakan agar lebih optimum dan ekonomis.
- Penggunaan profil WF 100x100x6x8 sebagai lapisan atas, lebih baik dibandingkan dengan penggunaan dua pelat dengan ketebalan masing-masing 1 cm. Penggunaan pelat sebagai penutup lubang tidak praktis dalam *handling*, Disamping itu ukuran pelat kurang sesuai dengan ukuran lubang, sehingga perlu sambungan yang dapat mengurangi kekuatan. Dimensi tebal pelat menghasilkan kekuatan yang lebih kecil dibandingkan dengan memakai profil WF, demikian pula dari segi kekakuan profil WF akan lebih kaku. Untuk pertimbangan berat material, berat profil WF lebih besar hanya 8,8% dibandingkan dengan berat pelat.
- Dari analisis pada pembahasan hasil, penggunaan profil WF 100x100x6x8 sebagai gelagar melintang menghasilkan tegangan dan lendutan yang lebih mendekati nilai ijinnya. Masing-masing faktor keamanan tegangan = 1,6 dan faktor keamanan lendutan juga = 1,6 sehingga profil ini dapat digunakan untuk tujuan lebih praktis, optimum dan ekonomis. Sebagaimana terlihat pada foto dokumentasi, gelagar ini dapat digunakan pula sebagai alas kerja yang praktis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini terima kasih disampaikan kepada rekan satu tim Ir. Jaelani, atas kerjasamanya ketika proses pelaksanaan pembangunan ini berjalan, dan rekan peneliti dari bidang propelan Ir. Sutrisno Msi yang memberikan dokumentasi foto-foto pelaksanaan proses liner dan beberapa sarannya untuk isi makalah.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan, T., Margaret, S, Ir., ” *Diktat Teori Soal dan Penyelesaian Konstruksi Baja I*”, Edisi ke-6, Delta Teknik Group, Jakarta, 1990.
- LAPAN, Konsultan Perencana., *Gambar Perencanaan Pembangunan Fasilitas Proses Liner* Tahun 2010.
- Rudi G, Morisco, *Tabel Profil Konstruksi Baja*, Cetakan ke-7 Penerbit Kanisius Yogyakarta 1993.
- Setiadi., “*Analisis Perhitungan Bunker Proses Liner*” Dokumen Rancangan Oktober 2010
- Wang, Chu-Kia., “*Intermediate Structural Analysis*”, Mc Graw-Hill Book Company New York, 1983.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Ir. Setiadi MT
Tempat & Tgl. Lahir : Jakarta, 23 Nopember 1959
Jenis Kelamin : Laki-laki
Instansi Pekerjaan : LAPAN
NIP. / NIM. : 19591123 198703 1 001
Pangkat / Gol. Ruang : Pembina Tk.I / Gol.IVb
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti Madya
Agama : Islam
Status Perkawinan : 1 istri, 3 anak

DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMAN 12 Jakarta Tahun: 1977
STRATA 1 (S.1) : Teknik Sipil Struktur UI Tahun: 1986
STRATA 2 (S.2) : Bidang Ilmu Teknik Sipil Struktur UI Tahun: 1994

ALAMAT

Alamat Rumah : Komplek Perumkar DKI Pondok Kelapa Jak Tim
HP. : 08164809135
Alamat Kantor / Instansi : Lapan Rumpin Tarogong
Telp. :
Email: seti1159@biz.net.id

HASIL DISKUSI DALAM PELAKSANAAN SEMINAR

Pertanyaan :

1. Beban roket mobil launcher rx-420 hanya 1 ban. mungkin sudah tidak ekonomis? (Agus Bayu Utama-LAPAN)
2. Perlu tambahan gambar agar dimengerti. posisi dimana, tumpuan dimana? (Bagus H. Jihad-LAPAN)
3. Layak untuk uji statik RX-550. bagaimana kedepannya, ada pengujian di morotai untuk ukuran yang lebih besar? (Husni)

Jawaban :

1. Sudah diperhitungkan.
2. Tumpuan 2 dengan berbeda perhitungan. Waktu terbatas sehingga gambar2 tidak ditampilkan.
3. Dengan kondisi di morotai, desain akan berubah mengikuti ukuran yang tersedia dimorotai.