

ANALISIS KEKUATAN SAMBUNGAN LAS PADA KOMPONEN LIFTING LUG PANSER

Dadang Jatnika¹, Nanda Kesuma²

¹Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung, ²PT Pindad (Persero)

Abstrak

Untuk mendukung mobilitas terutama pada saat pemindahan Panser dari darat ke Kapal laut dan sebaliknya, ataupun pemindahan menggunakan helikopter diperlukan alat bantu angkat (lifting lug) yang menempel pada Panser, sehingga perlu dilakukan analisis terhadap kekuatan las lifting lug tersebut agar dapat diketahui kemampuan kekuatan las dalam menahan beban dari Panser itu. Saat ini dalam pelaksanaan proses pemindahan tersebut selalu terganggu oleh rasa kekhawatiran akan kekuatan las pada lifting lug dari pihak asuransi karena Panser yang akan dipindahkan tersebut mempunyai nilai yang cukup mahal dan apabila ternyata tidak kuat maka akan mengganggu rencana yang telah ditetapkan. Dari hasil analisis dan perhitungan maka dapat diketahui tegangan geser maksimum yang terjadi pada sambungan las lifting lug adalah $114,59 \text{ N/mm}^2$, harga ini lebih kecil dari tegangan geser yang diijinkan ($\tau_{ijin} = 289,6 \text{ N/mm}^2$), sehingga dapat disimpulkan bahwa sambungan las pada lifting lug dapat beroperasi dengan aman dengan faktor keamanan sebesar 2,53.

Kata Kunci: las, pengelasan,

1. PENDAHULUAN

Kendaraan Tempur merupakan salah satu alat utama sistem senjata (alutsista) yang dibutuhkan oleh TNI dalam hal menjaga keamanan dan pertahanan negara, yang merupakan perangkat dalam menjalankan tugasnya. Jenis dari kendaraan tempur TNI terbagi menjadi dua kelompok besar yaitu: kendaraan tempur beroda ban yang disebut Panser dan kendaraan tempur beroda rantai yang disebut *Tank*. Adapun Panser dibedakan dalam beberapa tipe antara lain: Panser Angkut Personil, Panser Logistik, Panser Komando, Panser Mortir, Panser Ambulan dan Panser Recovery.

Untuk mendukung mobilitas terutama pada saat pemindahan Panser dari darat ke Kapal laut dan sebaliknya, ataupun pemindahan menggunakan helikopter diperlukan alat bantu angkat yang menempel pada Panser dinamakan

lifting lug yang berfungsi sebagai dudukan angkat apabila akan dilakukan proses pemindahan Panser.

Berdasarkan hal tersebut diatas penulis tertarik untuk menganalisa kekuatan las komponen *lifting lug* yang menempel pada Panser 6x6 Pindad sehingga dapat diketahui kekuatan maksimum dan batas aman yang diijinkan.

Dalam menganalisis kekuatan las pada komponen *lifting lug* Panser 6x6 Pindad dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu :

- Bagaimana menentukan geometri, dimensi dan konstruksi lasan agar didapat hasil perhitungan yang sederhana namun dapat diketahui kekuatan beban maksimum dan aman dalam pengoperasiannya.
- Bagaimana menginventarisir data-data yang dibutuhkan sehingga dapat

mendukung kebutuhan dalam menganalisa hal tersebut diatas.

Pada saat dilaksanakan operasi tempur ataupun latihan tempur, dimungkinkan akan melalui proses pemindahan baik melalui kapal laut ataupun melalui helikopter. Saat ini dalam pelaksanaan proses pemindahan tersebut selalu terganggu oleh rasa kekhawatiran akan kekuatan las pada *lifting lug* dari pihak asuransi karena Panser yang akan dipindahkan tersebut mempunyai nilai yang cukup mahal dan apabila ternyata tidak kuat maka akan mengganggu rencana yang telah ditetapkan.

Karena dalam menganalisa kekuatan las pada komponen *lifting lug* ini memerlukan disiplin ilmu yang cukup luas, serta mengingat keterbatasan waktu yang tersedia maka analisis dibatasi pada perhitungan tegangan tarik (σ), tegangan geser (τ) penampang A₂ *lifting lug* bagian depan sebelah kanan.

Maksud dari penelitian ini adalah menganalisis kekuatan las dengan perhitungan yang memadai sehingga dapat diketahui kekuatan beban maksimal yang diijinkan sesuai dengan yang diinginkan dan tidak mengganggu Panser pada saat beroperasi.

1.1 Tinjauan Pustaka Gaya, Massa dan Berat

Pengertian gaya ialah kekuatan dari luar, berupa dorongan atau tarikan. Dengan mendorong atau menarik, dapat menimbulkan kecepatan, makin besar dorongan, perubahan makin besar, menimbulkan percepatan.

Gaya adalah penyebab perubahan gerak, atau perubahan kecepatan, yang menyebabkan adanya percepatan.

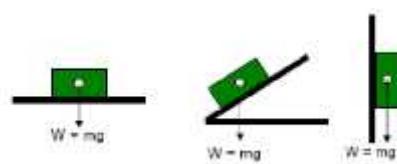
Hukum Newton menyatakan hubungan antara gaya, massa dan gerak benda. Hukum ini berdasarkan pada prinsip Galileo yaitu untuk merubah kecepatan, diperlukan pengaruh luar yaitu gaya luar, tetapi untuk mempertahankan kecepatan tidak perlu gaya luar.

Hukum Newton I : Sebuah benda akan berada terus dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali apabila dan hanya bila ada gaya atau kekuatan dari luar yang bekerja pada benda tersebut. Hukum ini merupakan pernyataan kesetimbangan (statis dan dinamis).

Massa didefinisikan sebagai ukuran inersia suatu benda. Makin besar massa suatu benda maka akan menjadi lebih sulit untuk mengubah gerakannya.

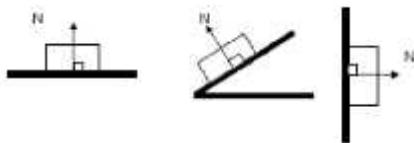
Benda diam yang mempunyai massa yang besar, akan sulit untuk menggerakkannya. Begitu juga dengan benda yang bergerak dan mempunyai massa yang besar akan sulit untuk menghentikannya.

Gaya berat (W) adalah gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda. Gaya berat selalu tegak lurus kebawah dimanapun posisi benda diletakkan, apakah bidang horizontal, vertical ataupun bidang miring.



Gambar Arah vektor gaya berat

Gaya normal adalah gaya yang bekerja pada bidang sentuh antara dua permukaan yang bersentuhan, dan arahnya selalu tegak lurus bidang sentuh.



Gambar 2-2 Arah vektor gaya normal

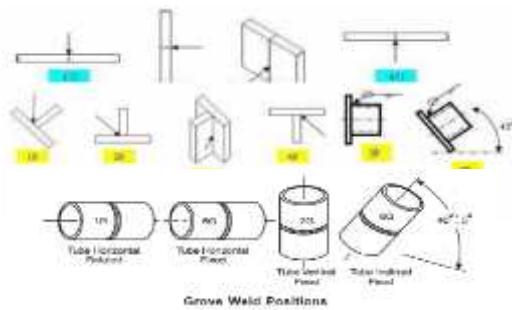
Dasar-dasar Pengelasan

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Mengelas menurut Alip (1989) adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

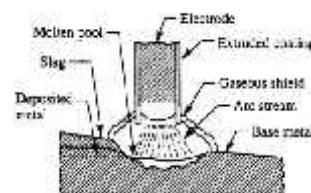
Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuhan bagian bahan yang disambung.

Berdasarkan kode yang ditetapkan oleh *American Welding Standard* (AWS), posisi las dikaitkan pada jenis teknik sambungan las, jika sambungan berkampuh (*groove*) maka kode posisinya dengan huruf **G**, untuk posisi *down-hand* 1G, horizontal 2G, vertikal 3G, *over-head* 4G, pipa dengan sumbu horizontal 5G, dan pipa miring 45° 6G. Jika sambungan las tidak berkampuh/tumpul (*fillet*) maka kodennya adalah **F**, untuk posisi *down-hand* 1F, horizontal 2F, vertikal 3F, dan *over-head* 4F.



Proses pengelasan secara umum dibedakan menjadi dua kelompok besar yaitu :

- Las dengan menggunakan panas saja atau *Fusion Welding* (cair/lebur) yang meliputi *thermit welding*, *gas welding* atau las karbit/las asitelin dan *electric welding* (las listrik).
- Las dengan menggunakan panas dan tekanan atau *forge welding* (tempa).



Gambar Skema Pengelasan

Cara kerja pengelasan :

- Benda kerja yang akan disambung disiapkan terlebih dahulu mengikuti bentuk sambungan yang diinginkan.
- Pengelasan dilakukan dengan memanaskan material pengisi (penyambung) sampai melebur (mencair).
- Material pengisi berupa material tersendiri (las asitelin) atau berupa elektroda (las listrik).
- Setelah ditingginkan maka material yang dilas akan tersambung oleh material pengisi.

Metoda pengelasan diklasifikasikan berdasarkan metoda pemanasan untuk

mencairkan logam pengisi serta permukaan yang disambung.

Cara mengelas yang sering dipergunakan dalam praktik dan termasuk klasifikasi las busur listrik adalah : las elektroda terbungkus, las busur dengan pelindung gas dan las busur dengan pelindung bukan gas. Panas diaplikasikan oleh busur listrik antara elektroda las dengan benda kerja.

Las busur elektroda terbungkus (*Shielded Metal Arc Welding/SMAW*) adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.

Las Busur Logam Gas (*Gas Metal Arc Welding/GMAW*) merupakan proses penyambungan dua buah logam atau lebih yang sejenis dengan menggunakan bahan tambah yang berupa kawat gulungan dan gas pelindung melalui proses pencairan. Las ini disebut juga *metal inert gas (MIG) welding* karena menggunakan gas mulia seperti argon dan helium sebagai pelindung busur dan logam cair.

Las Busur Tungsten Gas Mulia (*GTAW*) yaitu proses pengelasan di mana sumber panas berasal dari loncatan busur listrik antara elektroda terbuat dari wolfram/tungsten dan logam yang dilas. Pada pengelasan ini logam induk (logam asal yang akan disambung dengan metode pengelasan biasanya disebut dengan istilah logam induk) tidak ikut terumpan (*non consumable electrode*). Untuk melindungi elektroda dan daerah las digunakan gas mulia (argon atau helium).

Las Busur rendam (*Submerged Arc Welding/SAW*) yaitu proses pengelasan di mana busur listrik dan logam cair

tertutup oleh lapisan serbuk fluks sedangkan kawat pengisi (*filler*) diumpankan secara kontinyu. Pengelasan ini dilakukan secara otomatis dengan arus listrik antara 500-2000 Ampere.

Las resistansi listrik adalah suatu cara pengelasan dimana permukaan pelat yang disambung ditekankan satu sama lain dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan tersebut menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik. Dalam las ini terdapat dua kelompok sambungan yaitu sambungan tumpang dan sambungan tumpul.

Pengelasan dengan gas dilakukan dengan membakar bahan bakar gas dengan O_2 sehingga menimbulkan nyala api dengan suhu yang dapat mencairkan logam induk dan logam pengisi. Sebagai bahan bakar dapat digunakan gas-gas asetilen, propan atau hidrogen.

Tabel Perbandingan penggunaan las oksi asetilen dan las busur elektroda terbungkus

Jenis las Besarini	Las Oksi-asetilen	Las Busur Elektroda terbungkus
Efisiensi	Rendah (suhu 3000°C)	Tinggi (suhu 6000°C)
Sifat mampu las	Kurang baik	Baik
Harga perlakuan	Murah	Mahal
Harga bahan las	Sama	Sama
Ketepatan juru las	Sama	Sama
Penggunaan	Terbatas pada las tipis	Luas

Teknologi las baru yang sedang dikembangkan antara lain adalah las sinar elektron, las busur plasma dan las laser. Dalam bidang tertentu, cara pengelasan tersebut telah digunakan, tetapi untuk penggunaan secara umum yang menguntungkan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

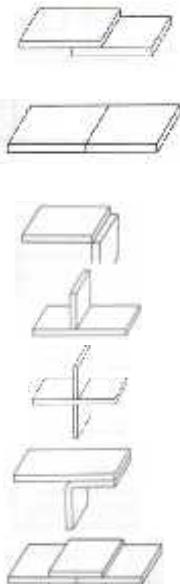
Sambungan Las

Sambungan las adalah sambungan antara dua atau lebih permukaan logam

dengan cara mengaplikasikan pemanasan lokal pada permukaan benda yang disambung.

Tipe sambungan las

- Sambungan tumpang (*lap joint* atau *fillet joint*)
- Sambungan tumpul (*butt joint*)
- Sambungan sudut (*corner joint*)
- Sambungan T (*tee joint*)
- Sambungan silang (*cross joint*)
- Sambungan sisi (*edge joint*)
- Sambungan dengan pelat penguat



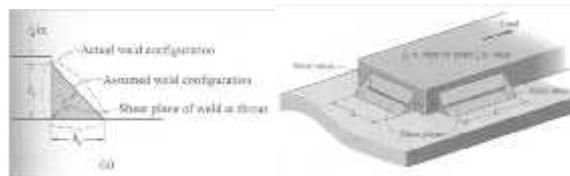
Tegangan pada sambungan las yang mendapat beban statik

Beban yang bekerja pada struktur sambungan dengan tipe *fillet* dapat berbentuk beban paralel, beban melintang (*transverse*), beban torsional dan beban *bending*. Untuk menganalisis tegangan yang terjadi pada sambungan las terlebih dahulu perlu diperhatikan geometri sambungan las.

Konfigurasi sambungan las jenis *fillet* dinyatakan dengan panjang *leg*, h_e . Umumnya panjang *leg* adalah sama besar, tetapi tidak selalu harus demikian. Untuk keperluan *engineering* praktis, tegangan pada sambungan las yang terpenting adalah tegangan geser pada leher *fillet* (*throat*).

Panjang leher, t_e didefinisikan sebagai jarak terpendek dari interseksi pelat ke garis lurus yang menghubungkan *leg* atau kepermukaan *weld bead*.

Untuk kasus yang umum panjang leher adalah pada posisi 45° dari *leg*, atau $t_e = 0,707 h_e$. Jadi luas leher yang digunakan untuk perhitungan tegangan adalah $A_w = t_e L$, dimana L adalah panjang las.



Gambar 2-25 Geometri dan bidang geser sambungan *fillet weld*

Beban paralel dan beban melintang

Struktur sambungan las akan mengalami kegagalan geser pada penampang terkecil yaitu pada bagian leher. Hal ini berlaku baik untuk pembebanan paralel maupun pembebanan melintang. Nilai tegangan geser pada penampang leher dapat dihitung dengan persamaan :

$$\tau = \frac{P}{t_e L_w} = \frac{P}{0,707 h_e L_w} = \frac{1,414 P}{h_e L_w} \quad [N/mm^2]$$

dimana : t_e = panjang leher

h_e = panjang *leg*

L_w = panjang sambungan las

Jadi untuk menghindari kegagalan pada sambungan, maka tegangan yang terjadi haruslah lebih kecil dari kekuatan

$$\tau = \frac{P}{t_e L_w} < (S_{xy})_{uw} \quad [N/mm^2]$$

Mengingat geometri sambungan las, maka efek konsentrasi tegangan perlu dipertimbangkan dalam perancangan konstruksi las. penelitian yang dilakukan oleh *Salakian* dan *Norris* tentang distribusi tegangan disepanjang leher las *fillet* menunjukkan adanya fenomena konsentrasi tegangan tersebut.

Beban torsional

Untuk struktur sambungan las yang mendapat beban torsional maka resultan tegangan geser yang terjadi pada suatu grup sambungan las adalah jumlah vektor tegangan geser melintang dengan tegangan geser torsional. Tegangan geser akibat gaya melintang (*transverse load*) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\tau_d = \frac{V}{A} = \frac{\text{gaya geser}}{\text{luas penampang leher}} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Sedangkan tegangan geser torsional adalah :

$$\tau_t = \frac{T_r}{J} \quad [\text{N/mm}^2]$$

dimana : T_r = torsi yang bekerja

r = jarak titik pusat masa ke titik terjauh

J = momen inersia polar penampang las

Seperti halnya pada beban paralel dan melintang, penampang kritis untuk beban torsional adalah pada penampang leher. Momen inersia polar penampang lasan dapat dinyatakan dalam satuan momen inersia polar grup las sebagai :

$$J = I_{eq} J_{le} = 0.707 h_r J_u \quad [\text{mm}^4]$$

dimana : J_u adalah satuan momen inersia polar untuk berbagai konstruksi sambungan las *fillet* yang umum digunakan.

Jadi untuk menghindari struktur sambungan gagal akibat beban torsional maka haruslah dirancang sedemikian rupa sehingga resultan tegangan geser yang terjadi lebih kecil dari kekuatan geser material.

$$\tau = \tau_d + \tau_t < (S_{gy}) \quad [\text{N/mm}^2]$$

Beban bending

Pada pembebanan bending, sambungan las akan mengalami tegangan geser

melintang dan juga tegangan normal akibat beban bending. Tegangan normal dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{M_c}{I} \quad [\text{N/mm}^2]$$

dimana : c = jarak dari sumbu neutral

I = momen inersia penampang

$$I = I_c J_u L_w = 0.707 h_r I_u L_w \quad [\text{mm}^4]$$

L_w = panjang las

Gaya persatuan panjang dari las adalah

$$w = \frac{\mu a}{l_w} \quad [\text{N/mm}]$$

dimana : a = jarak antara posisi sambungan dengan aplikasi beban.

Setelah tegangan geser dan tegangan normal yang terjadi didapatkan, maka selanjutnya dapat ditentukan *principal stress* tertinggi pada sambungan. Kegagalan sambungan dapat ditentukan dengan menggunakan teori tegangan geser maksimum (MSST) atau teori energi distorsi (DET).

Tegangan boleh dan faktor keamanan (SF)

Tegangan boleh dalam las adalah tegangan tertinggi yang boleh terjadi dalam suatu konstruksi las dengan tidak membahayakan yang didasarkan atas sifat mekanik logam induk dan logam las, jenis dari beban serta jenis dari sambungan. Di samping itu besarnya tegangan boleh, juga tergantung dari tingkat kepentingan dan kegunaan dari konstruksi dan biasanya ditentukan antara 0,8 sampai 1,0 kali kekuatan tarik logam induk. Dalam perencanaan besarnya tegangan yang terjadi harus lebih rendah dari pada tegangan boleh.

Tabel 2-4 Beberapa harga tegangan boleh (tidak memperhitungkan kekuatan fisik)

Jenis las	Faktor keamanan	Tegangan boleh (kg/cm ²)	
		SM41	SM50
Tegangan statis	Las simple dengan σ_y radikal	tarik tekan santai ekar gesek	1503 1303 1800 1643 1170 800
	Las simple dengan σ_y radikal	tarik tekan santai ekar gesek	1603 1403 1900 1743 1260 900
Las model	tarik tekan santai ekar gesek	800	1100
Angka pengamatan	tarik tekan santai ekar gesek	9,2 9,9 9,4	

Faktor keamanan dalam perencanaan konstruksi las didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya tegangan yang direncanakan terhadap besarnya batas luluh (σ_y) atau terhadap kekuatan patah (σ_p). Dalam pengelasan faktor keamanan perlu diambil karena adanya hal-hal yang kurang pasti dan adanya ketidak tetapan dalam mutu las.

Menurut Joseph P Vidosic ("Machine Design Project"), faktor keamanan berdasarkan tegangan luluh adalah :

Faktor keamanan (SF)	Uraian
1,25 - 1,5	Kondisi terkontrol dan tegangan yang bekerja dapat ditentukan dengan pasti.
1,5 - 2,0	Bahan yang sudah diketahui, kondisi lingkungan beban dan tegangan yang tetap dan dapat ditentukan dengan mudah.
2,5 - 3,0	Bahan yang beroperasi secara rata-rata dengan beban batasan yang diketahui.
3,0 - 4,5	Bahan yang sudah diketahui. Kondisi beban, tegangan dan lingkungan yang tidak pasti.

Sedangkan menurut Dobrovolsky ("Machine element"), faktor keamanan berdasarkan jenis beban adalah

Faktor keamanan (SF)	Beban
1,25 - 2,0	Beban statis
2,0 - 3,0	Beban dinamis
3,0 - 5,0	Beban kejut

Kekuatan Material Sambungan Las

Elektroda yang digunakan pada *electric arc welding* ditandai dengan huruf E dan diikuti empat digit angka. Contoh E6018. Dua angka pertama menandakan kekuatan material setelah menjadi sambungan dalam ribuan pound

per inchi kuadrat (ksi). Angka ke tiga menunjukkan posisi las seperti misalnya posisi flat, vertikal, atau *overhead*. Sedangkan angka terakhir menandakan variabel dalam pengelasan seperti misalnya besarnya arus. Dengan diketahuinya kekuatan *yield material* dan tegangan yang terjadi akibat beban yang bekerja, maka perancang dapat menentukan tegangan perancangan dan faktor keamanan yang diinginkan. Sesuai dengan klasifikasi elektroda *carbon steel* menurut AWS A5.18-93, elektroda *carbon steel* diberi penomoran sebagai berikut :



Gambar Model penomoran elektroda ferro

Tabel 2-5 Kekuatan elektroda las

Electrode number	Ultimate tensile strength, S_u , ksi	Yield strength, S_y , ksi	Elongation, e_b , percent
E60XX	62	50	17-25
E70XX	70	57	22
E80XX	80	67	19
E90XX	90	77	14-17
E100XX	109	87	13-16
E120XX	120	107	14

Kekuatan Fatigue Sambungan Las

Pada saat konstruksi sambungan las mendapat beban bolak-balik (*cyclic*) maka kemungkinan kegagalan *fatigue* adalah merupakan pertimbangan utama dalam perancangan. Adanya *void* dan inklusi pada sambungan las memberikan efek yang tidak terlalu signifikan pada beban statik, tetapi menurunkan kekuatan *fatigue* secara signifikan.

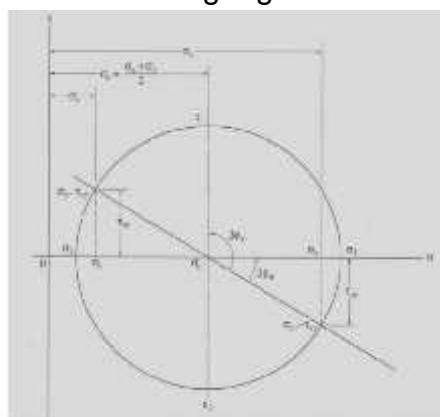
Retak biasanya merambat pada daerah *heat-affected-zone* (HAZ), karena daerah ini merupakan daerah yang paling lemah dalam sambungan. Sangat jarang sekali perambatan retak

terjadi pada logam pengisi. Beberapa *textbooks* menyarankan tidak menggunakan sambungan las untuk komponen yang mendapat beban fatigue. Hal ini tidak membantu *engineer* dalam perancangan karena komponen mesin umumnya mendapat beban dinamik. Untuk keperluan praktis, nilai faktor konsentrasi tegangan fatigue untuk beberapa jenis sambungan las diberikan pada tabel berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Jennings. Tabel Faktor konsentrasi tegangan fatigue

Type of Weld	Fatigue stress concentration factors, K_t
Reinforced butt weld	1.2
Toe of Transverse fillet weld	1.5
End of parallel fillet weld	2.7
T-but joint with sharp corner	2.0

Lingkaran Mohr

Untuk memberikan gambaran kondisi tegangan pada berbagai arah dalam bentuk grafis, Otto Mohr (1914) memperkenalkan Mohr's Circle. Lingkaran Mohr ini sangat representatif untuk kondisi tegangan dua dimensi.



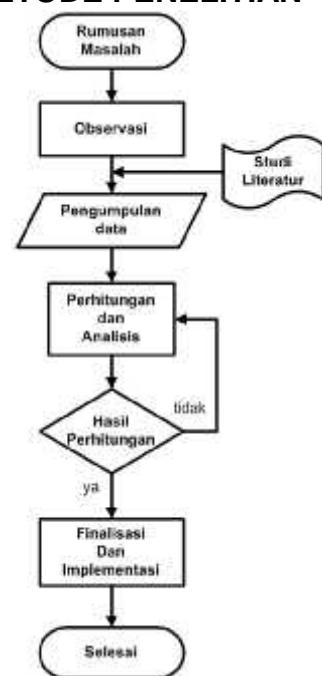
Gambar Lingkaran Mohr

Sedangkan untuk kasus tiga dimensi, lingkaran Mohr cukup kompleks kecuali untuk kasus-kasus tertentu seperti misalnya saat salah satu tegangan utama berhimpit dengan salah satu sumbu koordinat. Langkah-langkah

untuk menggambar Lingkaran Mohr adalah sebagai berikut :

- Hitung kondisi tegangan dua dimensi untuk mendapatkan nilai x , y ,
- Buat sumbu datar dan sumbu vertikal
- Buat titik pusat lingkaran ($\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$)
- Buat dua titik yang saling berlawanan yaitu ($x, -xy$) dan (y, xy). Lingkaran dapat digambar dengan titik pusat pada step 2
- Radius lingkaran dapat dihitung dengan $\sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2}$
- Tegangan utama terletak pada posisi garis lingkaran memotong sumbu ($1, 2$)
- Tegangan geser maksimum sama dengan radius lingkaran
- Sudut orientasi tegangan utama adalah = setengah dari sudut yang dibentuk oleh garis yang menghubungkan titik ($x, -xy$) dan (y, xy) dengan sumbu datar
- Untuk mendapatkan nilai tegangan pada arah tertentu (ϕ) : gambar busur 2ϕ dari garis yang menghubungkan titik ($x, -xy$) dan (y, xy).

2. METODE PENELITIAN

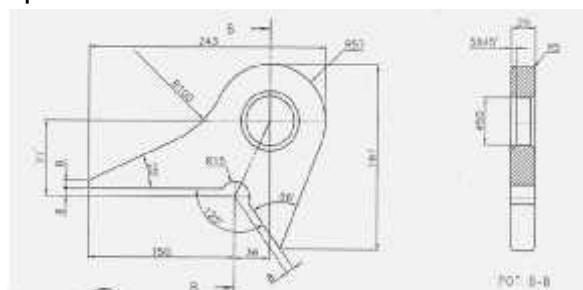


2.1 Pengumpulan Data

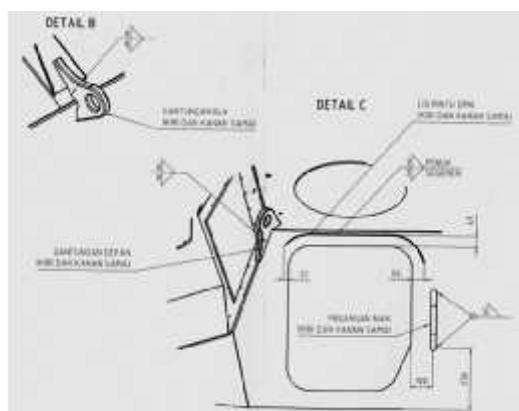
Dalam suatu analisa sangat dibutuhkan dukungan data-data yang memadai, demikian pula halnya dengan analisa kekuatan las *lifting lug* memerlukan data-data yang meliputi data jenis material yang digunakan, dimensi produk, dimensi las, jenis mesin las yang digunakan beserta elektrodanya dan berat kendaraan. Dibawah ini akan disajikan data-data utama yang diperlukan untuk melakukan suatu analisa terhadap *lifting lug*.

Jenis Material dan Dimensi Lifting Lug

Lifting Lug depan (kiri/kanan) dengan spesifikasi bahan St-42

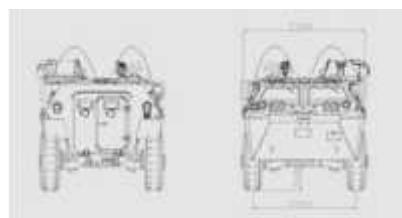


Simbol pengelasan *lifting lug* pada bodi pancer



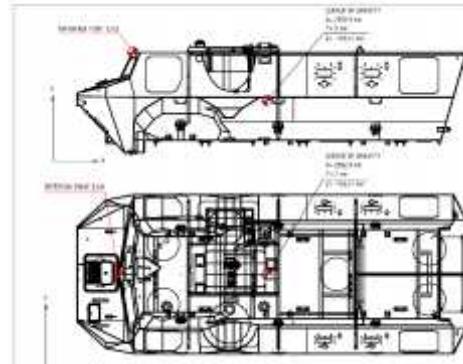
Data Panser :

Crew	: 12 persons
Configuration	: 6 x 6 WD
Curb Weight	: $\pm 13,000$ kg
GCW	: $\pm 14,500$ kg
Power to Weight Ratio	: ≥ 20 Hp / ton
Dimension (LxWxH) mm	: $\pm 6,000 \times 2,500 \times 2,170$ (hull) $\pm 6,000 \times 2,500 \times 2,500$ (coupla)
Wheel Base	: $\pm 1,510$ mm
Ground Clearance	: ± 400 mm
Angle of Approach/Departure	: $45^\circ / 45^\circ$



Titik berat kendaraan (CG) :

X = 2092,9 mm ; Z = - 753,41 mm



Jenis mesin las dan kawat las yang digunakan :

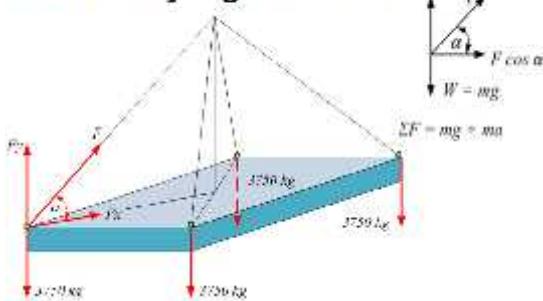
- Mesin yang digunakan : Mesin Las GMAW merk. Esab Mig 325
- Kawat las yang digunakan : AWS ER70S-6

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan dan analisa kekuatan las komponen *lifting lug* Panser Anoa Pindad didasarkan atas rasa kekhawatiran akan kekuatan las pada komponen *lifting lug* tersebut oleh pihak asuransi dalam pelaksanaan pengiriman mengingat harga produk tersebut cukup mahal, sehingga kebutuhan data teknis terutama bidang analisis produk sangatlah penting.



Data-data yang diketahui :



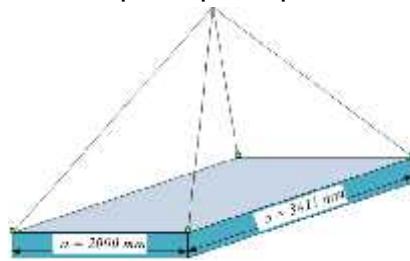
- Berat total Panser (W) adalah 15000 kg. Asumsi beban terdistribusi secara merata terhadap 4 buah *lifting lug* yang menempel pada Panser yaitu : $W/4 = 15000/4 = 3750 \text{ kg} = 37500 \text{ N}$
- Percepatan crane pada saat mengangkat (a) = $0,5 \text{ m/s}^2$: $F = m.a = (3750) (0,5) = 1875 \text{ N}$
Maka :
 $\Sigma F = mg + ma = 37500 + 1875 = 39375 \text{ N}$

Menghitung tegangan tarik (\uparrow) dan tegangan geser (\ddagger) yang diijinkan :

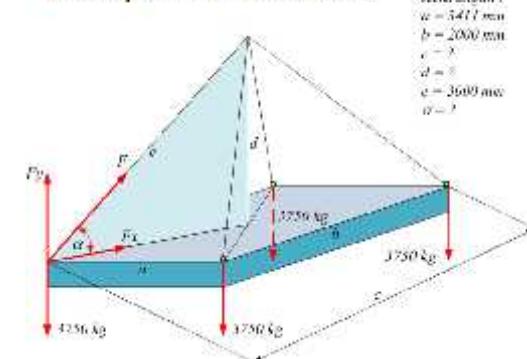
- Material :
Material *lifting lug* yang digunakan adalah St-42, dimana :
Tegangan tarik (σ) = $42 - 54 \text{ kg/mm}^2$
Tegangan geser ijin (\ddagger_{ijin})
= $0,6 \cdot \uparrow$ (PPBBI pasal 8.2)
= $(0,6) (42) = 25,2 \text{ kg/mm}^2 = 252 \text{ N/mm}^2$
- Kawat las :
Kawat las yang digunakan adalah tipe AWS ER 70 S6, dimana :
Kuat tarik = $70 \text{ ksi} = 70000 \text{ psi} = 4826,33 \text{ bar} = 4826,33 \text{ kg/cm}^2 = 48,26 \text{ kg/mm}^2$
(catatan : 1 bar = 14,5 psi ; 1 bar = 1 kg/cm²)
Maka :
Tegangan tarik ijin (\uparrow_{ijin}) = $48,26 \text{ kg/mm}^2 = 482,6 \text{ N/mm}^2$
Tegangan geser ijin (\ddagger_{ijin}) = $0,6 \cdot \uparrow$
= $(0,6) (48,26) = 28,96 \text{ kg/mm}^2 = 289,6 \text{ N/mm}^2$

Menghitung gaya-gaya yang terjadi :

- Jarak tumpuan pada panser :



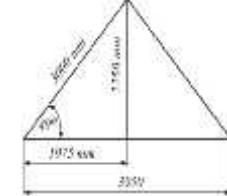
- Panjang kawat baja pengangkat 3 m, terdapat 4 buah kawat.



- Menghitung panjang c dengan rumus Phytagoras :

$$c^2 = a^2 + b^2 = (3,411)^2 + (2)^2 = 15,63$$

$$c = \sqrt{15,63} = 3,95 \text{ m}$$



- Menghitung sudut :

$$\cos \alpha = \frac{1,97}{3} = 0,66$$

$$= \text{arc cos } 0,66 = 49^\circ$$

- Menghitung tinggi d :

$$d = 3 \sin 49^\circ = 2,25 \text{ m}$$

- Menghitung tegangan tali :

$$dF_y = 0$$

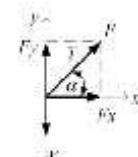
$$F_y = W = 37500$$

$$F_y = T \sin$$

$$T = \frac{F_y}{\sin \alpha} = \frac{37500}{\sin 49^\circ} = \frac{37500}{0,7547} = 49.688,62 \text{ N}$$

$$F_x = T \cos \alpha = (49688,62) \cdot \cos 49^\circ$$

$$= (49688,62) \cdot (0,656) = 32595,73 \text{ N}$$



Perhitungan kekuatan material :

- Menghitung luas penampang untuk menahan beban :

$$A = t \cdot l = (25) (32) = 800 \text{ mm}^2$$

Terdapat 2 penampang geser, maka : $2 \cdot A = 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}^2$

- Menghitung tegangan yang terjadi :

$$\tau = \frac{F_y}{1600} = \frac{37500}{1600} = 23,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_x}{1600} = \frac{32595,73}{1600} = 20,37 \text{ N/mm}^2$$

Maka :

$$\tau = 23,44 \text{ N/mm}^2 < \tau_{ijin} = 420 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 20,37 \text{ N/mm}^2 < \tau_{ijin} = 252 \text{ N/mm}^2$$

→ aman

Perhitungan kekuatan las :

Dalam perhitungan ini, yang dihitung adalah penampang A_2 pada *lifting lug* depan kiri (asumsi penampang A_1 tidak dilas).

Diketahui :

$$b = 25 \text{ mm}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

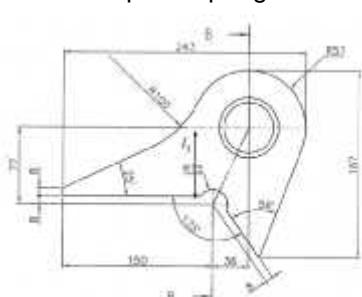
$$c = d/2 = 150/2 = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang } A_2 = 2b + 2d = 50 + 300 = 350 \text{ mm}^2$$

Tegangan geser pada penampang A_2 akibat F_x :

$$\tau = \frac{F_x}{A_2} = \frac{32595,73}{350} = 93,13 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan normal penampang A_2 akibat F_x :



$$\text{Momen : } M = F_x \cdot I_1 = (32595,73) (77) = 2509871,47 \text{ N mm}$$

Sumbu netral : $c = 75 \text{ mm}$

Momen inersia penampang :

$$I = t_e I_u L_w = 0,707 h_e I_u L_w$$

dimana :

$$I_u = b \cdot d + d^2/3$$

$$= ((25)(150)) + ((150)^2/3)$$

$$= 11250 \text{ mm}^4$$

$$L_w = 350$$

Maka :

$$I = (0,707)(8)(11.250)(350) = 22270500 \text{ mm}^4$$

Tegangan normal yang terjadi karena bending :

$$\tau_1 = \frac{Mc}{I} = \frac{(2509871,47)(75)}{(22270500)} = 8,45 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan normal pada penampang A_2 akibat F_y

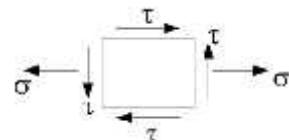
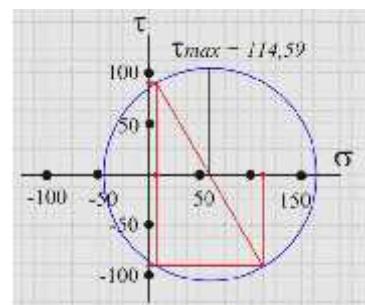
$$\tau_2 = \frac{F_y}{A_2} = \frac{(49688,62)}{(350)} = 141,97 \text{ N/mm}^2$$

Pada sambungan las, tegangan yang terjadi :

$$\text{Tegangan geser } \tau = 93,13 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tarik : } \tau &= \tau_1 + \tau_2 \\ &= 8,45 + 141,97 = 150,42 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Lingkaran Mohr :



$$\tau_{max} = r = \sqrt{\left(\frac{\tau_x - \tau_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{8,45 - 141,97}{2}\right)^2 + (93,13)^2}$$

$$= \sqrt{1313009} = 114,59 \text{ N/mm}^2$$

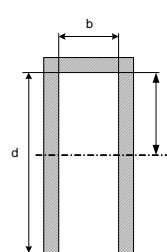
Maka :

$$\tau_{max} \text{ yang terjadi} = 114,59 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{ijin} = 289,6 \text{ N/mm}^2$$

Maka Faktor keamanan :

$$SF = \frac{\tau_{ijin}}{\tau_{max}} = \frac{289,6}{114,59} = 2,53 \approx \text{aman}$$



4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dari hasil pengumpulan data dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Jenis material/bahan dari *lifting lug* menggunakan baja St-42 dimana tegangan tarik yang diijinkan sebesar $420\text{--}540 \text{ N/mm}^2$. Berdasarkan hasil perhitungan, tegangan tarik yang terjadi sebesar $23,44 \text{ N/mm}^2$ lebih kecil dari tegangan tarik yang diijinkan sehingga material aman.
- Kawat las yang digunakan adalah AWS ER 70 S6 dengan kuat tarik 70 ksi atau sama dengan 483 N/mm^2 . Berdasarkan hasil perhitungan, tegangan tarik yang terjadi sebesar $150,42 \text{ N/mm}^2$ lebih kecil dari tegangan tarik yang diijinkan sehingga kekuatan las aman.
- Tegangan geser yang diijinkan dari kawat las adalah $289,6 \text{ N/mm}^2$. Berdasarkan hasil perhitungan bahwa tegangan geser maksimal yang terjadi sebesar $114,59 \text{ N/mm}^2$ lebih kecil dari tegangan geser yang diijinkan dengan faktor keamanan sebesar 2,53.

4.2 Saran

Data analisa teknis sangat penting sehingga diharapkan terdapat kajian dan analisis untuk setiap produk yang dihasilkan oleh Divisi Kendaraan Khusus sehingga bisa di standarkan dan menjadi rujukan untuk kedepan.

- Dari hasil analisis yang telah dilakukan belum sepenuhnya mewakili kebutuhan data di Departemen Enjiniring sehingga diharapkan dapat berlanjut.
- Setiap kajian yang dilakukan apabila melalui proses analisis yang tepat bermanfaat bagi peningkatan mutu produk, kapasitas produksi suatu produk dan biaya yang dibutuhkan sehingga dapat efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus Edy Pramono, "Buku Ajar Elemen Mesin II", Politeknik Negeri Jakarta, 2009.
- [2] E.P. Popov, "Mekanika Teknik", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
- [3] Ferdinand P. Beer, "Mekanik untuk Insinyur", Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta 1994.
- [4] Harsono Wiryo Sumarto, Toshie Okumura "Teknologi Pengelasan Logam", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1979.
- [5] J.L. meriam L.G. Kraige "Mekanika Teknik : Statika", Jilid I versi SI edisi kedua (alih bahasa oleh Tony Mulia Ph.D), Penerbit Erlangga, Jakarta 1988.
- [6] Robert Whyte, "NASCC : The Steel Conference Welding Symbols and Presentation for Designers and Detailers".
- [7] R.S. Khurmi, J.K. Gupta, "A Textbook of Machine Design", 2005.
- [8] Sularso, Kiyokatsu suga, "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin", Edisi Ketujuh, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1991.
- [9] Wegs, Author C.W. 1983. "Stahl Schlussel". Verlag Stahl Schlussel Wegst GMBH.