

KELELAHAN DAN TEGANGAN YANG DIIZINKAN PADA SAMBUNGAN LAS

Kemas Rifian

Jurusan Teknik Mesin ITB

RINGKASAN

Sambungan las yang dibebani secara berulang sangat rawan terhadap kelelahan. Hal ini disebabkan oleh adanya konsentrasi tegangan yang bersumber dari perubahan geometri, bentuk profil lasan dan cacat-cacat mikroskopik pada lasan tersebut. Tegangan yang diizinkan untuk sambungan las yang dibebani secara berulang harus mengacu pada harga-harga empirik.

Abstract

Welded joints loaded cyclically are prone to fatigue because they provide stress concentrations due to geometry changes, weld profile shapes and microscopic defects in the welds. Allowable stresses for welded joints under cyclically loading must be based on empirical values.

Keywords: Fatigue, crack, cyclically loading, stress-concentration, base metal, weld metal, filler metal, groove weld, fillet weld, complete penetration, partial penetration, matching filler metal.

1. PENDAHULUAN

Struktur-struktur yang dilas sangat rawan terhadap *kelelahan*. Hal ini disebabkan oleh banyaknya tempat *pengintian retak* pada sambungan las. Keadaan ini bertambah parah bila perancangan sambungan las tidak didasarkan atas *design code* yang ada.

Penentuan *tegangan yang diizinkan* pada sambungan las yang *dibebani secara berulang* harus didasarkan pada *harga-harga empirik* (Diberikan oleh suatu *Design Code*).

Memperkecil risiko terjadinya *kegagalan lelah* hendaklah dilakukan selama tahap-tahap desain, fabrikasi dan inspeksi. Tiap personil yang terlibat dalam tahap-tahap ini hendaknya memiliki pengetahuan yang jelas tentang *faktor-faktor yang mempengaruhi sifat lelah*.

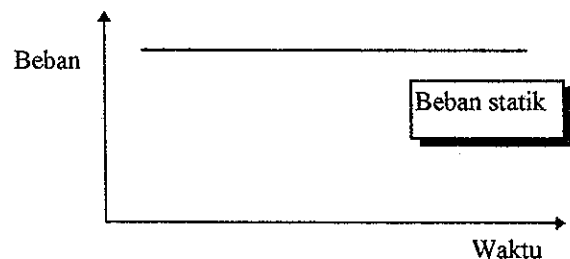
Dalam tulisan ini, hanya akan dibahas faktor-faktor yang mempengaruhi sifat lelah pada tahap desain.

2. KELELAHAN PADASAMBUNGAN LAS

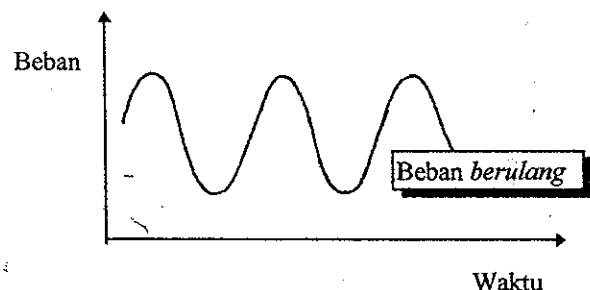
Kelelahan adalah suatu proses kerusakan kumulatif, berupa *perambatan retak* yang progresif yang terjadi di dalam bahan bila dibebani secara *berulang*.

Kelelahan terjadi bila :

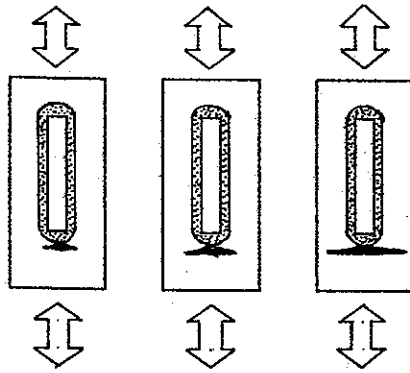
- bekerja beban *berulang*.
- terjadi *perambatan retak*.



Gambar 1a. Beban statik



Gambar 1b. Beban berulang



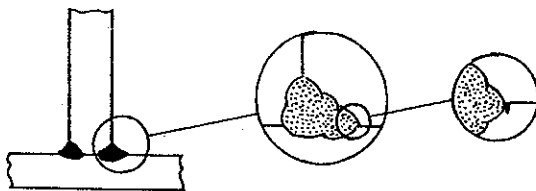
Gambar 2. Kelelahan melibatkan perambatan retak.

2.1 PENGARUH KONSENTRASI TEGANGAN

Pengaruh konsentrasi tegangan merupakan faktor yang paling penting dalam kasus *lelah*. Konsentrasi tegangan memberikan tegangan yang tinggi dan dapat menyebabkan *pengintian retak*. Jika keadaan ini terjadi dalam kondisi pembebanan *berulang*, maka tahap *pengintian* yang sudah terjadi akan dilanjutkan dengan tahap *perambatan retak*.

Sumber konsentrasi tegangan pada sambungan las adalah :

- Perubahan geometri (Gbr.3a)
- Bentuk profil lasan (Gbr.3b)
- Cacat mikroskopik pada lasan (Gbr.3c)



a. Bentuk geometri b. Bentuk profil las c. Cacat las

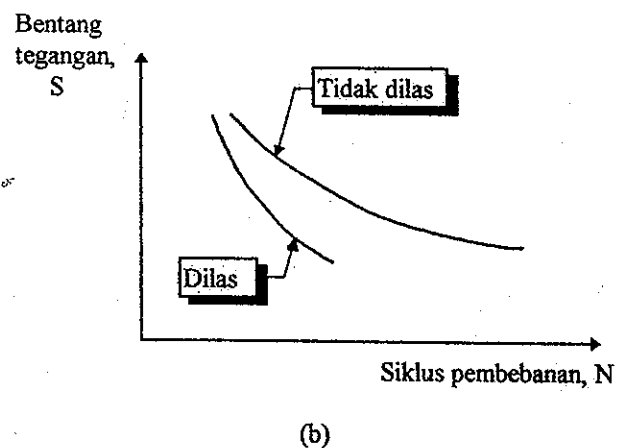
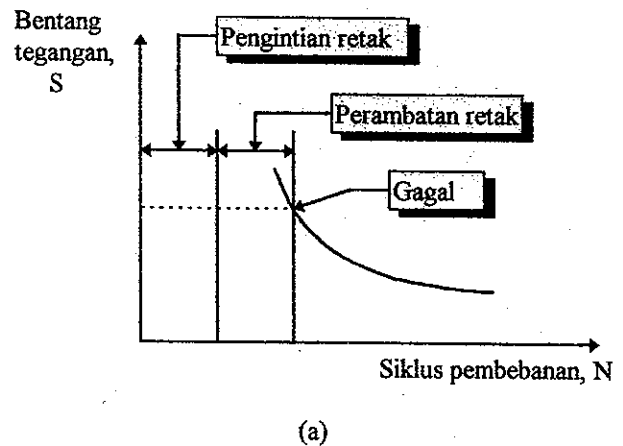
Gambar 3. Sumber konsentrasi tegangan pada sambungan las.

2.2 PENGARUH TAKIK PADA KURVA S-N

Pada kurva S-N (Kurva *Bentang tegangan* vs. *Siklus pembebanan*), tahap *pengintian retak* dan tahap *perambatan retak* sudah termasuk di dalamnya (Gbr.4). Jika terdapat cacat atau takik pada bahan, maka tahap inisiasi retak tidak ada dan *umur lelah* dihitung hanya dari lamanya *perambatan retak* saja.

Hal ini penting pada sambungan las, karena adanya cacat las yang bersifat sebagai takik.

Adanya cacat-cacat las menyebabkan *umur lelah sambungan las* yang dibebani pada suatu *bentang tegangan* menjadi lebih pendek jika dibandingkan dengan bahan yang tidak dilas.



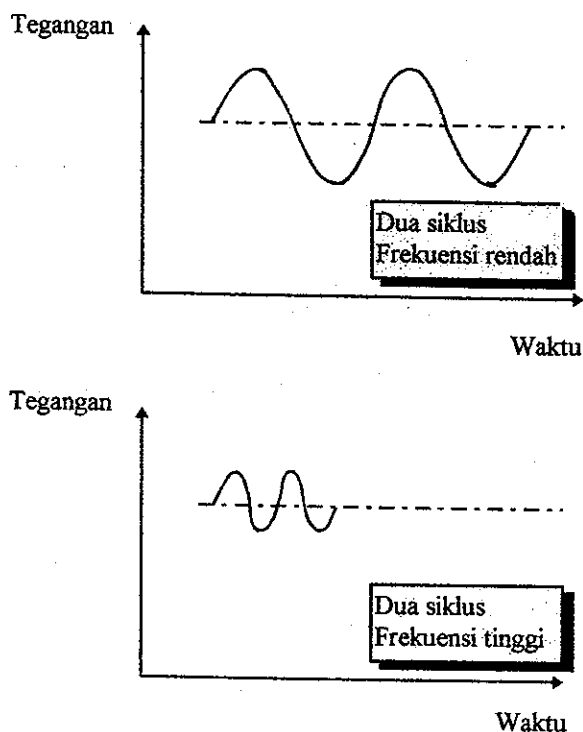
Gambar 4. (a) Tahap pengintian dan perambatan retak.
(b) Pengaruh pengelasan pada kurva S-N

2.3 PENGARUH FREKUENSI PEMBEBANAN

Pada prinsipnya, *umur lelah* tidak tergantung pada lamanya pembebanan, tetapi tergantung pada jumlah siklus pembebanan. Pada temperatur ruang, frekuensi pembebanan tidak berpengaruh pada sifat *lelah* (Gbr.5). Frekuensi merupakan suatu faktor yang berpengaruh pada fatik bila disertai oleh terjadinya korosi.

Pada temperatur ruang dapat diasumsikan bahwa hanya jumlah siklus pembebanan yang penting untuk diperhitungkan.

Beban yang diterapkan secara tiba-tiba (beban kejut) biasanya diperlakukan melalui pemberian suatu faktor pada beban yang bekerja dan selanjutnya, penyelesaian permasalahan dilakukan secara statik.

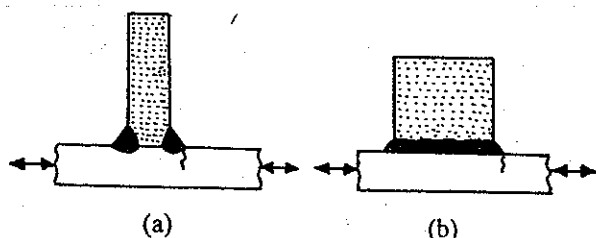


Gambar 5. Frekuensi pembebanan.

2.4 LASAN YANG TIDAK MEMBAWA BEBAN

Efek profil lasan dan keberadaan cacat-cacat pada kaki lasan mempunyai implikasi yang penting pada lasan yang tidak membawa beban. Meskipun sebuah lasan tidak membawa beban, ia tetap mempengaruhi kekuatan *lelah* bahan.

Gambar 6 menunjukkan sebuah batang-tambahan yang disambungkan ke batang utama melalui sambungan las sudut. Batang utama dibebani, sedangkan batang-tambahan tidak dibebani. Karena adanya konsentrasi tegangan dan tempat *pengintian retak* pada kaki lasan, maka kekuatan *lelah* batang utama akan turun.



Gambar 6. Batang-tambahan yang dilas pada batang utama.

3. PENDEKATAN DESAIN YANG BARU

Pada desain struktur las akhir-akhir ini, ketentuan desain terhadap *kelelahan* didasarkan atas asumsi bahwa **tegangan rata-rata tidak berpengaruh terhadap kelelahan**, sehingga kriteria desain sambungan las menjadi :

- *Bentang tegangan* tidak melampaui *bentang* tegangan yang diizinkan.
- *Tegangan maksimum* tidak melampaui tegangan izin statik.

4. TEGANGAN YANG DIIZINKAN

Tegangan yang diizinkan pada sambungan las yang dibebani secara *berulang* harus mengacu pada harga-harga empirik. Harga-harga ini ada pada suatu **design code**. Pada tulisan ini, tegangan yang diizinkan pada sambungan las didasarkan pada **Structural Welding Code - Steel, ANSI/AWS D1.1-96**, dengan *batasan penggunaan* sebagai berikut :

- Berlaku untuk baja karbon dan baja paduan rendah.
- Tidak diperuntukkan bagi baja dengan kekuatan luluh minimum yang lebih besar dari 100 ksi (690 MPa).
- Tidak diperuntukkan bagi baja yang ketebalannya kurang dari 1/8 inci (3,2 mm).
- Tidak berlaku untuk batang yang berbentuk tabung.

• Tabel-tabel yang ditampilkan adalah :

- Tabel 1, memuat tegangan izin statik untuk sambungan las dari batang bukan berbentuk tabung (*nontubular*).
- Tabel 2, memuat ketentuan tegangan *lelah* untuk sambungan las dari batang bukan berbentuk tabung.

Istilah-istilah pada Tabel 1 :

- *Matching filler metal* = logam pengisi (*filler metal*) yang berada satu grup dengan logam induk.
- *Faying surfaces* = permukaan-permukaan bahan (logam induk) yang berkontak pada las isi bulat (*plug weld*) atau pada las isi memanjang (*slot weld*).

Tabel 1. Tegangan izin statik untuk sambungan las dari batang bukan berbentuk tabung.

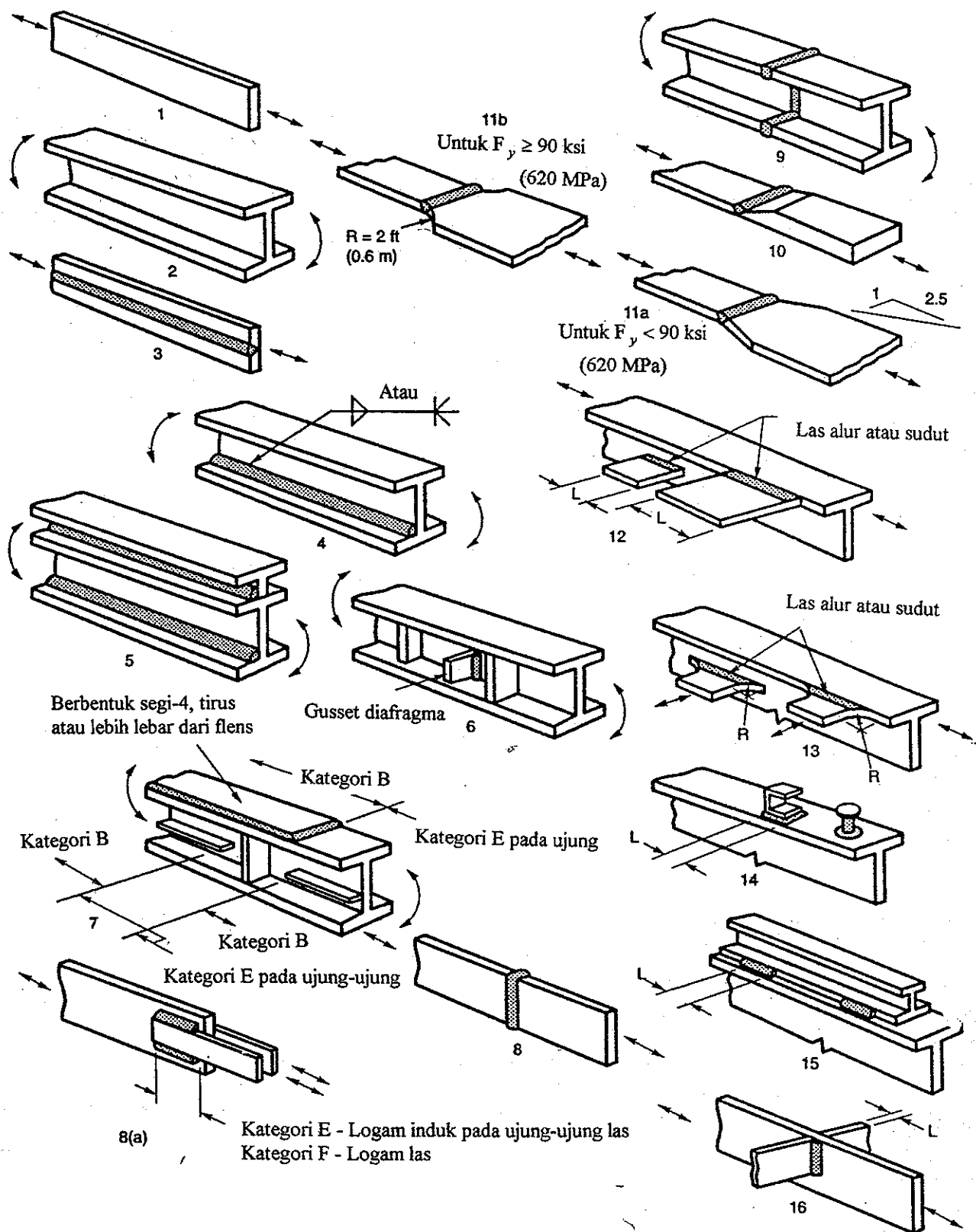
Jenis Las	Tegangan pada Las		Tegangan yang Diizinkan	Tingkat Kekuatan Logam Pengisi yang Dibutuhkan
Las alur penetrasi penuh (CJPG Welds - Complete Joint Penetration Groove Welds)	Tegangan tarik tegak lurus daerah efektif.		Sama dengan logam induk	Digunakan <i>matching filler metal</i> .
	Tegangan tekan tegak lurus daerah efektif.		Sama dengan logam induk	Boleh digunakan logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau satu klasifikasi (10 ksi[69 MPa]) lebih rendah dari <i>matching filler metal</i> .
	Tegangan tarik atau tekan yang sejajar dengan sumbu las.		Sama dengan logam induk	Boleh digunakan logam pengisi dengan tingkat kekuatan yang sama atau lebih rendah dari <i>matching filler metal</i> .
	Tegangan geser pada daerah efektif.		0,30 x kekuatan tarik nominal dari logam pengisi, kecuali tegangan geser pada logam induk tidak melebihi 0,40 x kekuatan luluh dari logam induk.	
Las alur penetrasi sebagian (PJPG Welds - Partial Joint Penetration Groove Welds)	Tegangan tekan tegak lurus daerah efektif	Sambungan tidak didesain untuk menopang	0,50xkekuatan tarik nominal dari logam pengisi, kecuali tegangan pada logam induk tidak melebihi 0,60xkekuatan luluh logam induk	Boleh digunakan logam pengisi dengan tingkat kekuatan sama atau lebih rendah dari <i>matching filler metal</i>
		Didesain untuk menopang	Sama dengan logam induk	
	Tegangan tarik atau tekan sejajar dengan sumbu las		Sama dengan logam induk	
	Tegangan geser sejajar dengan sumbu las		0,30 x kekuatan tarik nominal dari logam pengisi, kecuali tegangan geser pada logam induk tidak melebihi 0,40 x kekuatan luluh logam induk.	
	Tegangan tarik tegak lurus terhadap daerah efektif.		0,30 x kekuatan tarik nominal dari logam pengisi, kecuali tegangan tarik pada logam induk tidak melebihi 0,60 x kekuatan luluh logam induk.	
Las sudut (Fillet welds)	Tegangan geser pada daerah efektif		0,30 x kekuatan tarik nominal dari logam pengisi	Boleh digunakan logam pengisi dg. tingkat kekuatan yg. sama atau lebih rendah dari <i>matching filler metal</i> .
	Tegangan tarik atau tekan sejajar sumbu las		Sama dengan logam induk	
Las isi bulat dan isi memanjang (Plug and Slot Welds)	Tegangan geser sejajar dgn. <i>Faying Surfaces</i> (pada daerah efektif)		0,30 x kekuatan tarik nominal dari logam pengisi, kecuali tegangan geser pada logam induk tidak melebihi 0,40 x kekuatan luluh logam induk.	Boleh digunakan logam pengisi dg. tingkat kekuatan yang sama atau lebih rendah dari <i>matching filler metal</i> .

Tabel 2. Tegangan-tegangan yang diizinkan pada sambungan las batang tidak berongga yang mengalami beban berulang - Menurut *Structural Welding Code, ANSI/AWS D1.1-96*.

KONDISI UMUM	KEADAAN	KATEGORI TEGANGAN (GBR.7)	CONTOH (GBR.7)			
Logam induk yang tidak dilas	Logam induk dengan permukaan-permukaan yang dirol atau dibersihkan. Sisi-sisi yang dipotong dengan <i>Pemotongan Gas Oksigen</i> dengan kehalusan <i>ANSI</i> sebesar 1000 atau kurang.	A	1,2			
Built-up member	Logam induk dan logam las pada <i>members</i> tanpa <i>attachments</i> , <i>built-up</i> dari pelat-pelat atau bentuk-bentuk yang disambung dengan CJPG Welds atau PJPG Welds yang kontinyu atau oleh <i>fillet welds</i> yang kontinyu yang sejajar dengan arah tegangan yang bekerja.	B	3,4,5,7			
	Tegangan lentur yang dihitung pada kaki las <i>pengaku lintang (transverse stiffener)</i> dari web atau flens suatu girder.	C	6			
	Logam induk pada ujung dari panjang parsial <i>cover plates</i> yang dilas yang mempunyai ujung-ujung persegi atau tirus.	E	7			
Las Alur (Groove welds)	Logam induk dan logam las pada sambungan CJPG dari bagian-bagian yang dirol dan dilas yang mempunyai profil sama bila las digerinda dan diperiksa dengan <i>uji tak merusak (NDT)</i>	B	8,9			
	Logam induk dan logam las pada atau disekitar sambungan las CJPG pada transisi lebar atau tebal, dengan las yang digerinda untuk memberikan kemiringan (<i>slope</i>) yang tidak lebih tajam dari 1:2,5 untuk kekuatan luluh yang kurang dari 90 ksi (620 MPa) dan radius $R \geq 2$ ft (0,6m) dan las diperiksa dengan <i>uji tak merusak</i> .	B	10,11a,11b			
Sambungan las alur	Logam induk pada detail tiap panjang yg. disatukan oleh las alur dan dibebani oleh beban lintang atau memanjang, atau kedua-duanya, bila las yg. melintang arah tegangan diperiksa dgn. NDT dan detail membentuk radius transisi R, dgn. Ujung las digerinda bila	Pembebanan lintang			Contoh (Gbr.7)	
		Pembebanan longitudinal	Bahan dgn. Tebal sama atau tidak sama ditiriskan, lasan digerinda, sambungan web tidak termasuk.	Bahan dgn. Tebal sama, tidak digerinda; sambungan web tidak termasuk.		Bahan dgn. Tebal tidak ditiriskan atau digerinda, termasuk sambungan web.
		B	B	C	E	13
		C	C	C	E	13
		D	D	D	E	13
		E	E	E	E	12,13
	(a) $R \geq 24$ in. (610 mm)	B	B	C	E	13
	(b) $24 \text{ in.} > R \geq 6 \text{ in.}$ (150 mm)	C	C	C	E	13
	(c) $6 \text{ in.} > R \geq 2 \text{ in.}$ (50 mm)	D	D	D	E	13
	(d) $2 \text{ in.} > R \geq 0$	E	E	E	E	12,13

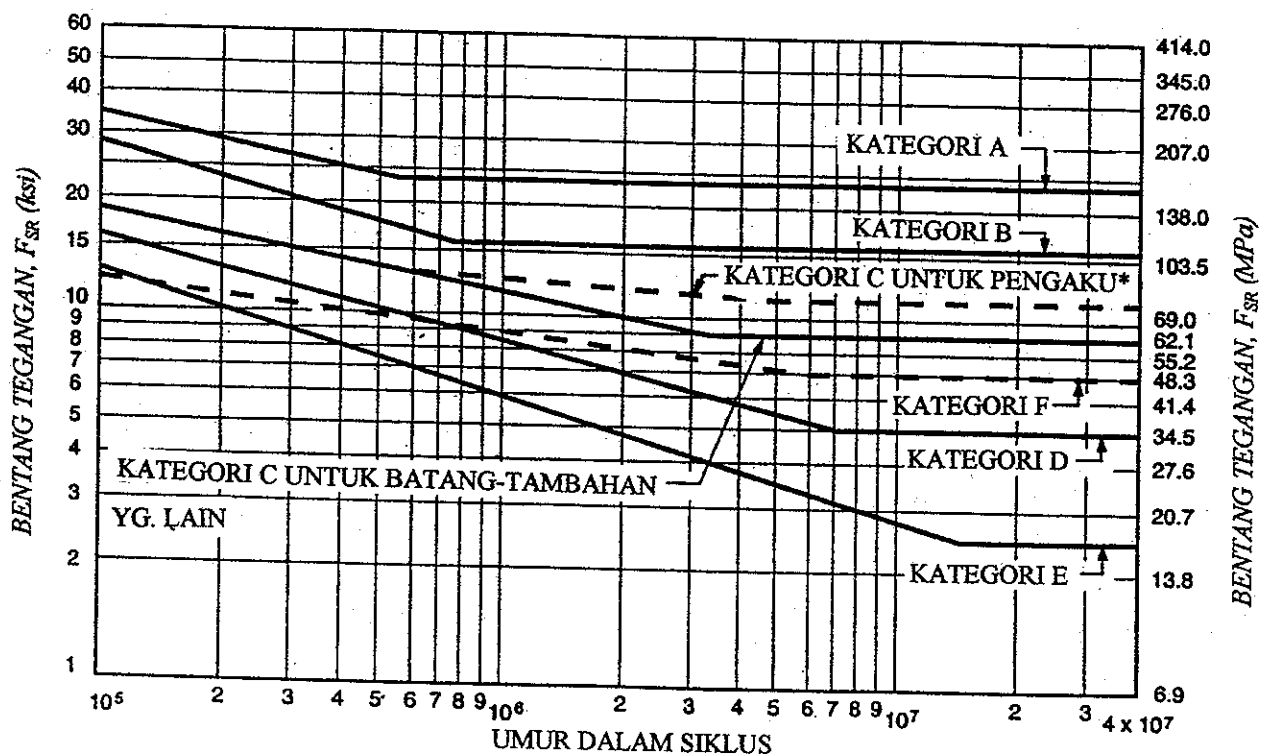
TABEL 2 (Lanjutan)

KONDISI UMUM	KEADAAN	KATEGORI TEGANGAN (GBR.7)	CONTOH (GBR.7)
Las alur (Groove welds)	Logam induk dan logam las yang berada atau berdampingan dengan sambungan <i>las alur penetrasi penuh</i> (CJPG welds), baik tidak terdapat transisi atau bila terdapat transisi dengan kemiringan yang tidak lebih dari 1:2,5 untuk kekuatan luluh yang kurang dari 90 ksi (620 MPa) dan radius $R \geq 2$ ft (0,6 m) untuk kekuatan luluh ≥ 90 ksi, dan bila pada kedua kasus tadi <i>reinforcement</i> tidak dibuang dan las diperiksa dengan <i>uji tak merusak</i>	C	8,9,10,11a, 11b
Sambungan las alur atau las sudut	Logam induk pada bagian yang dilas alur atau las sudut yang menerima pembebanan longitudinal, serta bagian tersebut membentuk radius transisi R yang kurang dari 2 inci dan bila panjang bagian (L) sejajar dengan garis kerja tegangan adalah		
	a. < 2 inci (50 mm)	C	12,14,15,16
	b. $2 \text{ inci} \leq L < 4 \text{ inci}$ (100 mm)	D	12
	c. $L \geq 4$ inci	E	12
Sambungan las sudut	Logam induk pada bagian yang dilas sudut yang sejajar dengan arah tegangan tanpa memperhatikan panjang bagian, bila bagian tersebut membentuk radius transisi R sebesar 2 inci atau lebih besar dan dengan akhir-las yang digerinda.		
	a. Bila $R \geq 24$ inci (610 mm)	B	13
	b. Bila $24 \text{ inci} > R \geq 6 \text{ inci}$ (100 mm)	C	13
	c. Bila $6 \text{ inci} > R \geq 2 \text{ inci}$ (50 mm)	D	13
Las sudut	Tegangan geser pada leher las sudut	F	8a
	Logam induk pada las terputus-putus yang mengikat <i>pangaku lintang</i> (transverse stiffeners) dan konektor geser <i>jenis lantak</i> (stud-type)	C	7,14
	Logam induk pada las terputus-putus yang mengikat <i>pengaku longitudinal</i> (longitudinal stiffeners)	E	-
Las lantak (stud welds)	Tegangan geser pada daerah geser nominal dari konektor geser jenis B	F	14
Las isi bulat dan isi memanjang (Plug and slot welds)	Logam induk yang berdampingan dengan / atau dihubungkan dengan <i>las isi bulat</i> dan <i>las isi memanjang</i> .	E	-



Catatan : Nomor-nomor tiap contoh dirujuk oleh Tabel 2.

Gambar 7. Contoh-contoh kategori kelelahan.



- Lasan-lasan pengaku lintang pada web atau flens dari girder.

Gambar 8. Kurva-kurva *bentang tegangan* desain untuk kategori A sampai dengan F, Struktur *nonredundant* - Batang bukan berbentuk tabung.

5. CATATAN PENUTUP

Dari uraian pada Bagian 1 sampai dengan 4, dan pengamatan pada Tabel 1, Tabel 2, Gambar 7 serta Gambar 8, dapatlah disarikan hal-hal berikut :

- Sambungan las yang dibebani secara *berulang* sangat rawan terhadap *kelelahan*.
- Kekuatan *lelah* bahan akan turun dengan adanya sambungan las.
- Desain struktur las terakhir menganggap bahwa tegangan rata-rata tidak berpengaruh pada *kelelahan*.
- Tegangan yang diizinkan pada sambungan las yang dibebani secara *berulang* harus mengacu pada harga harga empirik.

6. PUSTAKA

1. Welding Institute of Canada, *Fatigue - Fundamentals*, 1987.
2. Welding Institute of Canada, *Fatigue - Applications*, 1987.
3. American Welding Society, *Structural Welding Code - Steel*, ANSI/AWS D1.1-96, Miami, FL : American Welding Society, 1996.
4. Blodgett, O. W., *Design of Welded Structures*, 12th Printing, Cleveland, OH : The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1982.