

PENGARUH PERLAKUAN PANAS T-82 PADA AL 6013 YANG TELAH MENGALAMI PROSES PENGELASAN TERHADAP LAJU PERAMBATAN RETAK FATIK

Gunawan Dwi Haryadi¹ dan Jamasri²

ABSTRACT

The objective of this research is to investigate the influence of the T82 heat treatment of Al 6013 transversal and longitudinal butt joints with a TIG method on the fatigue crack growth rate. The T82 heat treatment was varied in three aging times, namely 6, 18 and 24 hours.

The treated of Al 6013 transversal and longitudinal butt joints were then tested for their fatigue crack growth rates at the base metal, the heat-affected zone (HAZ), and the joint metal zone using CT and CCT specimen. The test was performed at the conditions of 15-20% stress levels, the load frequency of 5-11Hz, and the stress ratio (R) of 0.3. The tensile test was also carried out in order to support the fatigue data.

The results of fatigue crack growth rate tests show that the treated Al 6013 with 18 hours aging time has the highest fatigue resistance for both type of specimens. The longitudinal butt joint has the Paris' Constant of $C = 1.95 \times 10^{-10}$ and $n = 3.63$. Similarly, the transversal butt joint has the Paris' Constant of $C = 2.21 \times 10^{-11}$ and $n = 3.63$.

Keywords: Al 6013, aging, T82, longitudinal butt joint, transversal butt joint

LATAR BELAKANG

Banyak struktur teknik di lapangan terbuat dari paduan aluminium, karena aluminium mempunyai sifat tahan korosi, ulet dan tahan fatik. Kelemahan pemakaian bahan tersebut adalah pada proses penyambungan dengan pengelasan, karena aluminium mempunyai konduktivitas dan angka koefisien termal yang relatif tinggi, sehingga pada sambungan las biasanya terjadi retak. Walaupun demikian, hanya pada paduan tertentu saja yang dapat dilakukan proses pengelasan. Munculnya retak dapat diatasi dengan proses *post-weld heat treatment* (PWHT). Dalam penelitian ini, telah dilakukan proses PWHT (*heat treatment* T82) terhadap sambungan las untuk mengetahui pengaruhnya pada laju perambatan retak (CGR).

Penelitian semacam ini telah banyak dilakukan pada baja, misalnya Rading (1993) telah meneliti pengaruh dari pengelasan terhadap laju perambatan retak fatik pada baja karbon rendah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan spesimen CT standar ASTM E-647 pada daerah *base metal*, daerah HAZ dan *weld metal*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perambatan retak pada daerah HAZ terbesar, dan laju perambatan retak terkecil terjadi pada *weld metal*. Hal ini disebabkan oleh pembentukan nitrida dan penggetasan hidrogen pada daerah HAZ. Untuk daerah dekat dengan *threshold*, laju perambatan retak terbesar terjadi pada *base metal* sedang laju perambatan retak terendah pada *weld metal*.

Murthy (1997) telah meneliti bentuk struktur mikro pada *weld metal* terhadap laju perambatan retak

fatik pada pelat paduan titanium Ti6Al-4V, dengan tebal 6 mm yang berbentuk *butt-weld joint*. Proses pengelasan menggunakan tiga metoda yaitu *electron beam (EB) welding*, TIG welding manual, dan TIG welding otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketahanan fatik pada daerah *weld metal* lebih tinggi daripada daerah *base metal*-nya, hal ini terjadi karena bentuk struktur mikro pada daerah *weld metal* untuk semua metoda pengelasan di atas didominasi oleh bentuk *lamelar*.

Wohlfahrt, dkk (1996) meneliti cara-cara untuk memperbaiki kekuatan fatik pada bahan yang telah dilas dengan perlakuan *post-weld treatment*. Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah baja St 52-3 dan St E-690, serta aluminium paduan yang terdiri dari AlMg 4.5 Mn (Al 5083) dan AlZn 4.5 Mg1 (Al 7020). Proses pengelasan aluminium tersebut menggunakan logam pengisi (*filler*) yang sama yaitu S-AlMg 4.5 Mn. Bentuk sambungan las yang dibuat untuk spesimen dari setiap bahan ini adalah *butt-weld joint* dan *cruciform-weld joint* dengan metode pengelasan TIG dan pengelasan MIG dengan/tanpa TIG-dressing. TIG-dressing yang menyertai setelah pengelasan MIG dilakukan pada daerah HAZ. Perlakuan *post-weld heat treatment* pada Al 7020 dengan pengerasan *aging*-nya dilakukan pada temperatur 100°C selama 8 jam kemudian dilanjutkan lagi pada temperatur 150°C selama 20 jam, dan untuk proses *post-weld shot peening* dilakukan dengan *double* dan *single peening* yang menggunakan *material shot* yang berbeda yaitu *steel shots* dan *glass beads*. Hasil pengujian menyimpulkan bahwa *post-weld shot peening* dan TIG-dressing dapat

¹ Gunawan Dwi Haryadi, ST, MT, Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin UNDIP Semarang

² Ir. Jamasri, Ph.D., Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT UGM Yogyakarta

meningkatkan kekuatan fatik untuk kedua jenis bahan diatas, disamping itu pengelasan TIG-buttt joint hasilnya lebih baik daripada pengelasan MIG-buttt joint.

Jamasri (1997) telah meneliti pengaruh perlakuan panas terhadap laju perambatan retak fatik baja tahan karat AISI 304. Penelitian dilakukan dengan menggunakan spesimen AISI 304 dengan ketebalan plat 3 mm. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pemanasan lokal pada baja tahan karat AISI 304 tidak mempengaruhi besar butir kristal austenit, tetapi dapat mempercepat perambatan retak fatik. Proses anil yang dilakukan setelah pemanasan lokal dapat memperbesar butiran kristal austenit, meningkatkan keuletan bahan dan memperlambat terjadinya perambatan retak, tetapi kekuatan bahan menurun cukup besar.

Nordmark dkk (1987) meneliti pengaruh ketidakkontinyuan las terhadap kekuatan fatik pada sambungan las plat aluminium paduan 5456-H116 dengan pengelasan butt joint transversal dan longitudinal, pada sambungan las yang terdapat ketidakkontinyuan sambungan. Viryazantsev dan Fedoseev (1997) meneliti pengaruh kondisi busur pengelasan dan komposisi filler terhadap sifat mekanik pada sambungan las aluminium paduan 1570.

Perambatan retak fatik pada daerah tegangan sisa pada sambungan las aluminium 2219-T851 dengan proses pengelasan plasma telah diteliti oleh Galatolo dan Lanciotti (1997). Berkovits dkk (1998) meneliti pengaruh variabel pengelasan dan tipe sambungan las pada pengelasan aluminium paduan terhadap kekuatan fatik. Sulardjaka dan Jamasri (2002) meneliti perilaku perambatan retak fatik pada hasil pengelasan TIG paduan Al 6061-T4. Pada penelitian tersebut diteliti perilaku perambatan retak fatik pada sambungan Al 6061-T4 untuk jenis sambungan butt joint transversal dan longitudinal.

LANDASAN TEORI

Proses perlakuan panas T82 adalah suatu perlakuan yang meliputi proses pelarutan (solution), pengerasan regangan (coldwork) dan penuaan (aging). Disini T8 menunjukkan perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, dan dilanjutkan dengan penuaan tiruan (artificial aging), sedangkan angka 2 menunjukkan besarnya pengerasan regangan sebesar 2%. Diharapkan bahwa dengan proses ini, paduan aluminium mempunyai sifat yang lebih kuat dan kaku, namun mempunyai ketahanan fatik yang tetap tinggi.

Salah satu cara untuk mengevaluasi ketahanan fatik bahan adalah dengan uji laju perambatan retak, yaitu mencari korelasi antara laju perambatan retak fatik dengan perubahan faktor intensitas tegangan

(da/dN vs ΔK) pada daerah stabil, yang diberikan oleh persamaan berikut:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (1)$$

dengan n = koefisien eksponensial (merupakan kemiringan dari kurva)

A = konstanta bahan

a = panjang retak (m)

N = jumlah siklus

ΔK = fluktuasi faktor intensitas tegangan (MPa√m)

Secara umum ΔK dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta K = F \Delta S \sqrt{\pi a} \quad (2)$$

Untuk spesimen CTT (center crack tension) harga F ditentukan dengan persamaan berikut :

$$F = \sqrt{\sec(\pi a / w)}, w = \text{lebar spesimen} \quad (3)$$

Sedangkan ΔS merupakan flutuasi tegangan, yaitu selisih antara tegangan maksimum dan minimum ($S_{maks} - S_{min}$).

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap laju perambatan retak fatik adalah besarnya rasio tegangan, yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$R = \frac{S_{min}}{S_{mak}} \quad (4)$$

CARA PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan pelat ketebalan 2,5 mm. Pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan mesin CNC, kecuali pembuatan retaknya dilakukan dengan EDM (Electro Discharge Machining). Spesimen-spesimen itu kemudian dikelompokkan menjadi tiga macam kondisi retak, yaitu retak tanpa pengaruh panas, retak dengan simulasi pengelasan (sambungan tegak lurus dan sambungan memanjang), dan retak dengan simulasi pengelasan dilanjutkan dengan perlakuan panas T82 dengan variasi aging (6 jam, 18 jam, dan 24 jam).

Spesimen-spesimen uji perambatan retak selanjutnya diuji dengan beban dinamik. Pertambahan panjang retak dipantau dengan dua buah traveling microscope dengan resolusi 0,01 mm. Pola pembebanan yang digunakan adalah sinusoidal dengan frekuensi antara 5-11 Hz dan pada amplitudo beban yang konstan. Perbandingan (R) diambil 0,3 dan tegangan maksimumnya 0,15-0,2 dari tegangan maksimum bahan dasar. Data yang perlu diambil

untuk menentukan karakteristik laju perambatan retak adalah penambahan retak sebagai fungsi jumlah siklus. Pada penelitian ini, panjang retak dicatat untuk setiap penambahan 0,13 mm. Spesimen-spesimen yang lain juga diuji sesuai dengan keperluan untuk mendukung data laju perambatan retak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian tarik pada proses pengelasan sambungan tumpul memanjang. Proses pengelasan menyebabkan penurunan kekuatan

tarik dan kekuatan luluh yang cukup signifikan. Pada proses *post-weld treatment*, terjadi penurunan kekuatan tarik maupun kekuatan luluh. Penurunan ini disebabkan karena proses pelarutan unsur paduan, sehingga bahan menjadi lunak. Kekuatan tarik akan naik kembali setelah bahan mengalami proses penuaan, karena terjadinya proses pengendapan unsur paduan. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh hasil pengujian tarik pada proses pengelasan sambungan tumpul tegak lurus sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil uji tarik *Longitudinal Butt Joint*

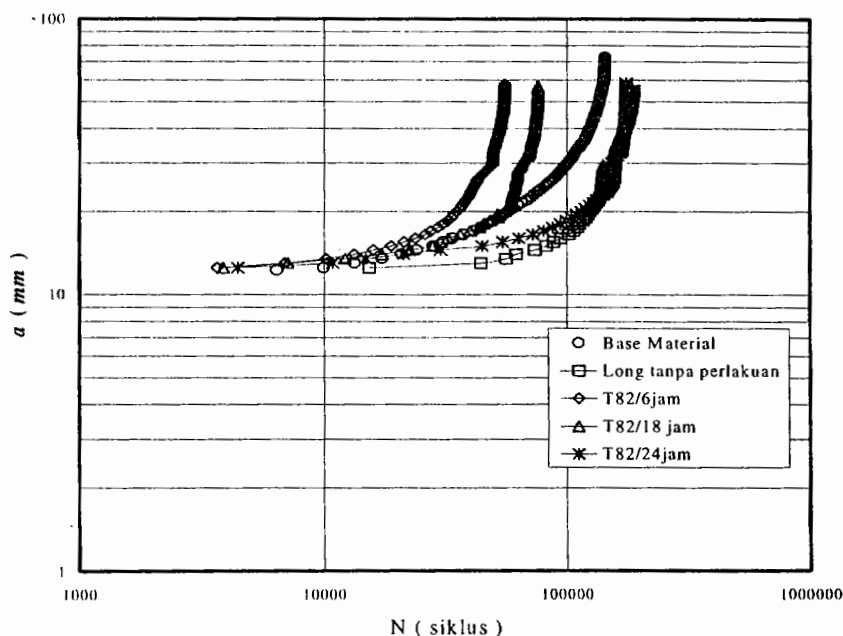
Jenis tegangan	BM	LBJ	LBJ+A6J	LBJ+A18J	LBJ+A24J
Tegangan ultimate (MPa)	346	234	117	224	195
Tegangan luluh (MPa)	243	117	93	115	113

Ket: BM=logam induk; LBJ=longitudinal butt joint; LBJ+A6J= longitudinal butt joint + aging 6 jam; LBJ+A18J= longitudinal butt joint + aging 18 jam; LBJ+A24J= longitudinal butt joint + aging 24 jam

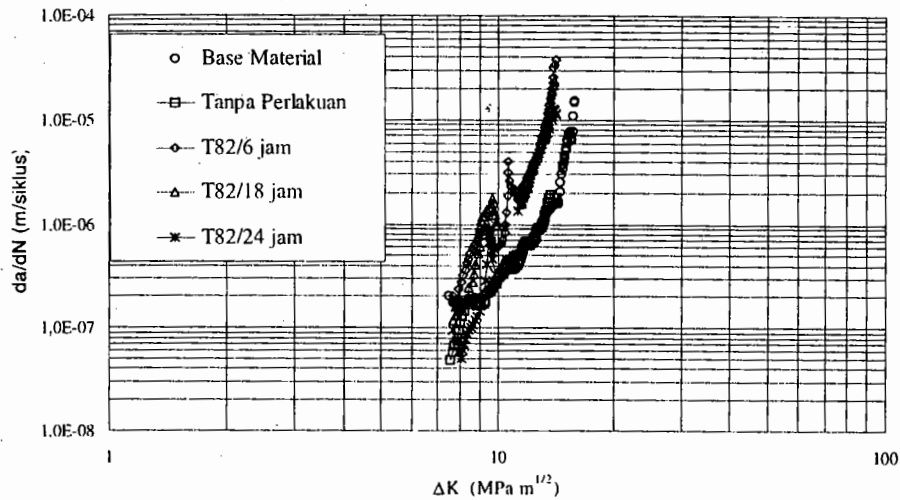
Tabel 2. Hasil uji tarik *Transversal Butt Joint*

Jenis Tegangan	BM	TBJ	TBJ+A6J	TBJ+A18J	TBJ+A24J
Tegangan Ultimate (MPa)	346	227	160	202	194
Tegangan Luluh (MPa)	243	141	82	107	102

Ket: BM=logam induk; TBJ=transversal butt joint; TBJ+A6J=transversal butt joint + aging 6 jam; TBJ+A18J=transversal butt joint + aging 18 jam; TBJ+A24J=transversal butt joint + aging 24 jam



Gambar 1. Kurva a vs N untuk bahan dasar dan spesimen jenis pengelasan sambungan tumpul memanjang



Gambar 2. Kurva da/dN vs ΔK untuk bahan dasar dan spesimen dengan pengelasan sambungan tumpul memanjang

Hasil uji laju perambatan retak ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pada pengujian ini diamati perubahan perambatan retak pada saat retak melalui logam induk, HAZ, dan *weld-metal*. Data untuk masing-masing pengujian diperoleh berupa pertambahan panjang retak (a) dan jumlah siklus (N) yang dicatat pada setiap interval pertambahan panjang retak tertentu. Data yang diperoleh kemudian diplot dalam bentuk kurva a vs N , kemudian diolah datanya dengan metode *polynomial incremental* tujuh titik kebentuk kurva da/dn vs ΔK .

Hasil pengolahan data uji laju perambatan retak yang berupa Konstanta Paris ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4. Gambar 2 dan 3 masing-masing menunjukkan kurva a vs N dan laju perambatan retak fatik untuk jenis pengelasan sambungan tumpul memanjang, sedangkan Gambar 4 dan 5 masing-masing menunjukkan kurva a vs N dan laju

perambatan retak fatik untuk jenis pengelasan sambungan tumpul melintang.

Pada pengujian perambatan retak pada spesimen sambungan tumpul memanjang dengan perlakuan T82 dan variasi *aging* terjadi penurunan kekuatan fatik jika dibanding spesimen tanpa perlakuan panas baik logam induk maupun logam lasan (Gambar 1). Penurunan ini disebabkan terjadinya pertumbuhan butir, sehingga butiran kristal membesar. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa ketahanan fatik tertinggi terjadi pada logam induk ($n=3,31$ dan $C=1,55 \times 10^{-10}$), kemudian spesimen lasan tanpa perlakuan panas ($n=3,35$ dan $C=1,01 \times 10^{-10}$). Spesimen T82 dengan *aging* 18 jam memberikan kekuatan fatik tertinggi dibanding dengan spesimen T82 dengan lama *aging* 24 jam dan 6 jam. Ini menunjukkan bahwa *aging* 18 jam untuk kasus ini merupakan perlakuan terbaik. Konstanta Paris selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh perlakuan panas T82 sambungan tumpul memanjang terhadap konstanta Paris

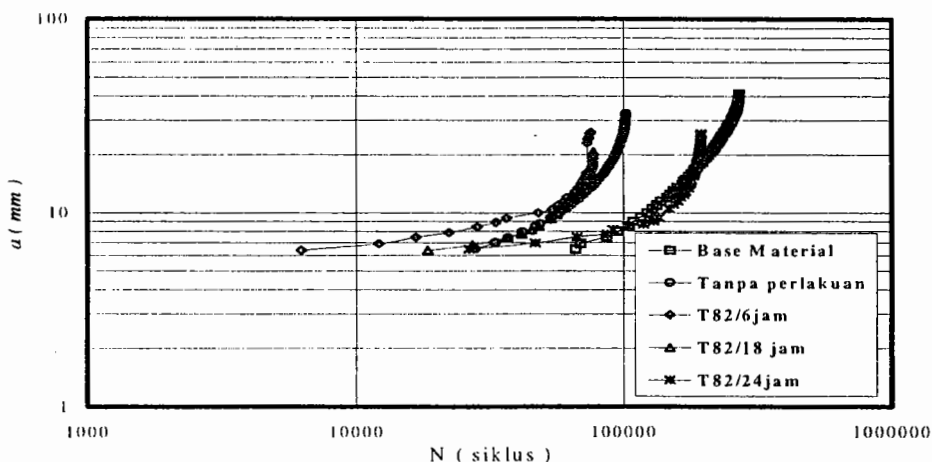
Jenis Spesimen	n	C
Logam induk	3,31	$1,55 \times 10^{-10}$
Longitudinal butt joint tanpa perlakuan panas	3,53	$1,01 \times 10^{-10}$
Longitudinal butt joint + T82 / 6 jam	3,80	$1,45 \times 10^{-10}$
Longitudinal butt joint + T82 / 18 jam	3,63	$1,95 \times 10^{-10}$
Longitudinal butt joint + T82 24 jam	3,70	$8,04 \times 10^{-11}$

Pada pengujian perambatan retak pada spesimen sambungan tumpul memanjang dengan perlakuan T82

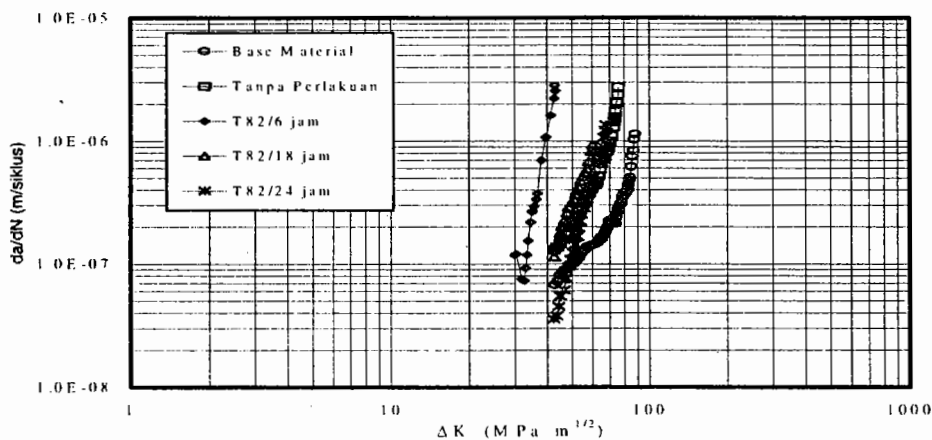
dan variasi *aging* juga terjadi penurunan kekuatan fatik jika dibanding spesimen tanpa perlakuan panas

baik logam induk maupun logam lasan (Gambar 2). Penurunan ini disebabkan terjadinya pertumbuhan butir, sehingga butiran kristal membesar. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa ketahanan fatik tertinggi terjadi pada logam induk ($n=3,66$ dan $C=2,21 \times 10^{-11}$), kemudian spesimen lasan tanpa perlakuan panas ($n=4,02$ dan $C=1,25 \times 10^{-11}$). Spesimen T82 dengan

aging 18 jam juga memberikan kekuatan fatik tertinggi dibanding dengan spesimen T82 dengan lama aging 24 jam dan 6 jam. Ini menunjukkan bahwa aging 18 jam untuk kasus ini merupakan perlakuan terbaik. Konstanta Paris selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 3. Kurva a vs N untuk bahan dasar dan spesimen jenis pengelasan sambungan tumpul tegak lurus



Gambar 4. Kurva da/dN vs ΔK untuk bahan dasar dan spesimen dengan pengelasan sambungan tumpul tegak lurus

Tabel 4. Pengaruh perlakuan panas T82 sambungan tumpul tegak lurus terhadap konstanta Paris

Jenis Bahan	n	C
Logam induk	3,09	$9,43 \times 10^{-11}$
Transversal butt joint tanpa perlakuan panas	3,25	$3,90 \times 10^{-11}$
Transversal butt joint + T82 / 6 jam	4,02	$1,25 \times 10^{-11}$
Transversal butt joint + T82 / 18 jam	3,66	$2,21 \times 10^{-11}$
Transversal butt joint + T82 / 24 jam	3,67	$1,25 \times 10^{-11}$

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pengelasan sambungan tumpul memanjang dan sambungan tumpul tegak lurus menurunkan kekuatan fatik, kekuatan tarik, kekuatan luluh dan regangan dengan harga yang signifikan.
2. Perlakuan panas T82 secara umum juga menurunkan kekuatan fatik, kekuatan tarik, kekuatan luluh dan regangan dengan harga yang signifikan.
3. Perlakuan panas T82 dengan waktu aging 18 jam memberikan kekuatan fatik tertinggi baik untuk jenis pengelasan sambungan tumpul memanjang maupun melintang, tetapi masih dibawah kekuatan fatik logam induk maupun sambungan lasan tanpa perlakuan panas

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, "DC-9 Structural Repair Manual", Douglas Aircraft CO. USA.

ASM Handbook Volume 6, 1995, "Welding, Brazing, and Soldering", ASM International.

ASM Metal Handbook Volume 9, 1985, "Metallography and Microstructures", ASM, Ohio

ASTM E-647, 1991 "Standart Practice For Conducting Constant Amplitude Axial Fatigue Test of Metallic Materials"

Broek, D., 1986, "Elementary Engineering Fracture Mechanics", 4th ed., Kluwer Academics pubs., Dordrecht, The Netherlands.

Collins, J. A., 1981, "Failure of Materials in Mechanical Design", John Wiley & Sons, New York.

Dieter, G. E., 1990, "Metalurgi Mekanik", Edisi ke-3, Jilid I dan II, Penerbit Erlangga Jakarta.

Dowling, E.N., 1993, "Mechanical Behavior of Material", Prentice-Hall International, Inc., Enlewood Cliffs, New Jersey.

Fuchs, H. O., dan Stephens, R.I., 1980, "Metal Fatigue In Engineering", John Wiley & Son, New York.

Goncharenko, S. E., 1997, "Optimization of Aging Regimens of Alloys in The Al-Mg System for Stabilizing The Structure and Mechanical Properties", Metal Science and Heat Treatment Vol.39, pp. 358-360.

Hartman, J. A., Beil, R.J., Hahn, T.G., 1987, "The Effect of Copper-Rich Regions on Tensile Properties of VPAA Weldments of 2219-T87 Aluminum", Welding Research Bulletin, New York, pp. 73-83.

Jamasri, 1995, "Faktor Intensitas Tegangan Kritis Pada Retak Yang Terbentuk Dari Sambungan Las", Media Teknik 17 (1), pp. 103-108.

Jamasri, 1997, "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Laju Perambatan Retak Fatik Baja Tahan Karat AISI 304", Media Teknik no. 3 Th. XIX, pp.32-36.

Kou, Sindo, 1987, "Welding Metallurgy", John Willey & Son, Inc, Canada.

Murthy, Keshava, K., 1997, "Fusion Zone Microstructure and Fatigue Crack Growth Behaviour in Ti - 6Al - 4V Alloy Weldment", Material Science and Technology, Vol.13, pp. 503-510.

Rading, G. O., 1993, "The Effect of Welding on The Fatigue Crack Growth Rate in a Structural Steel", Welding Research Bulletin, New York, pp. 307-311.

Rajan, T. V., Sharma, C.P., Sharma, Ashok, 1997, "Heat Treatment", Prentice Hall of India, New Delhi.

Rofle, Stanley, 1977, "Fracture and Fatigue Control in Structures", Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Surdia, Tata, Saito, Shinroku, 1995, "Pengetahuan Bahan Teknik", PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Wiryosumarto, Harsono, Okumura, Toshie, 1996, "Teknologi Pengelasan Logam", PT. Pradnya Paramita, Jakarta.