

TESIS

UJI *BENDING* PATAH LELAH PADA AA7075 YANG MENDAPATKAN PERLAKUAN PANAS T6



Oleh:

ADRYAN WIJAYA

03032682125002

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK

MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

TESIS

UJI *BENDING* PATAH LELAH PADA AA7075 YANG MENDAPATKAN PERLAKUAN PANAS T6

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Magister Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



Oleh:

ADRYAN WIJAYA

03032682125002

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK

MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**UJI BENDING PATAH LELAH PADA AA7075
YANG MENDAPATKAN PERLAKUAN PANAS T6
TESIS**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Magister Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

OLEH:

ADRYAN WIJAYA

03032682125002

Palembang, Desember 2023

**Menyetujui,
Pembimbing Skripsi**



Prof. Dr. Ir. Nukman, MT.

NIP. 195903211987031001

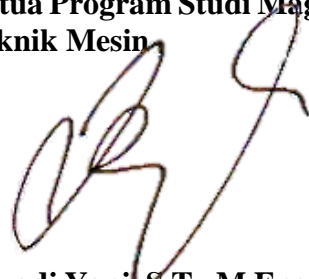
Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**



**Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T
NIP. 196706151995121002**

**Ketua Program Studi Magister
Teknik Mesin**



**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. NI
197112251997021001**

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa tesis ini dengan judul “Uji *Bending* Patah Lelah Pada AA7075 Yang Mendapat Perlakuan Panas T6”, telah dipertahankan di hadapan Panitia Seminar Proposal berupa tesis Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 10 Desember 2022, diperiksa serta disetujui sesuai dengan masukan Panitia Seminar Proposal berupa tesis Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Palembang, Desember 2023
Panitia Sidang Tesis Berupa

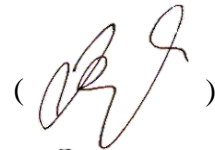
Pembimbing :

1. Prof. Dr.Ir. Nukman, M.T
NIP. 195903211987031001

()

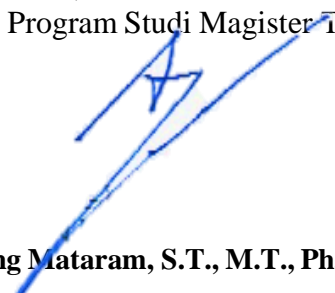
Tim penguji:

1. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001
2. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004

()

()

Mengetahui,
Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin


Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

TESIS

NAMA ADRYAN WIJAYA
NIM 03032682125002
JURUSAN TEKNIK MESIN
BIDANG STUDI MATERIAL DAN MANUFAKTUR
JUDUL UJI *BENDING* PATAH LELAH AA7075 YANG
MENDAPATKAN PERLAKUAN PANAS T6
DIBUAT TANGGAL 01 FEBRUARI 2023
SELESAI TANGGAL 25 DESEMBER 2023

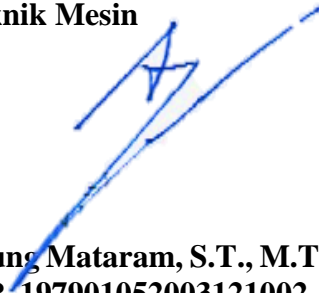
Palembang, Desember 2023

Menyetujui
Dosen Pembimbing



**Prof. Dr. Ir. Nukman, MT.
NIP. 195903211987031001**

Mengetahui,
**Ketua Program Studi Magister
Teknik Mesin**



**Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002**

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Nama : Adryan Wijaya
NIM : 03032682125002
Judul Tesis : Uji *Bending* Patah Lelah Pada AA7075 Yang Mendapat Perlakuan Panas T6

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2023



Adryan Wijaya
03032682125002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Adryan Wijaya

NIM 03032682125002

Judul : Uji *Bending* Patah Lelah Pada AA7075 Yang
Mendapat Perlakuan Panas T6

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku. Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2023



Adryan Wijaya
03032682125002

RINGKASAN

UJI *BENDING* PATAH LELAH PADA AA7075 YANG MENDAPATKAN PERLAKUAN PANAS T6

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 09 Desember 2023

Adryan Wijaya; Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.

RINGKASAN

Pengujian kelelahan atau pengujian fatik adalah metode pengujian material yang bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana suatu material atau struktur bereaksi terhadap beban siklik atau variasi tegangan seiring waktu. Tujuan utama dari pengujian fatik adalah untuk memahami perilaku dan ketahanan material terhadap beban siklik, yang dapat menyebabkan kegagalan materi atau struktur dalam jangka waktu yang lama. Pengujian fatik dilakukan pada material AA7075 yang telah melalui serangkaian kegiatan mulai dari pembentukan material sesuai standar *JIS Z 2273*, pemanasan (*solution treatment*) pada suhu 475 °C selama 5 jam sampai dengan pemanasan T6 *artificial aging* (penuaan) pada temperature 120°C selama 4, 6 8 jam. Hasil pengujian spesimen NHT pada beban 4 derajat material tersebut patah pada siklus 17083 pada tegangan geser sebesar 0,2208 N/mm². Pada beban 5 derajat material tersebut parah pada siklus 15133 pada tegangan geser sebesar 0,2760 N/mm² sedangkan, pada beban 6 derajat material tersebut patah pada siklus 13700 pada tegangan geser 0,3312 N/mm². Hasil pengujian spesimen HT selama 4 jam pada beban 4 derajat material tersebut patah pada siklus 60417 pada tegangan geser sebesar 0,1809 N/mm². Pada beban 5 derajat material tersebut parah pada siklus 32500 pada tegangan geser sebesar 0,2261 N/mm² sedangkan, pada beban 6 derajat material tersebut patah pada siklus 22850 pada tegangan geser 0,2714 N/mm². Hasil pengujian spesimen HT selama 6 jam pada beban 4 derajat material tersebut patah pada siklus 72333 pada tegangan geser sebesar 0,2599 N/mm². Pada beban 5 derajat material tersebut parah pada siklus 42167 pada tegangan geser sebesar 0,3249 N/mm² sedangkan, pada beban 6 derajat material tersebut patah pada siklus 27067 pada tegangan geser 0,3898 N/mm². Hasil pengujian spesimen HT selama 8 jam pada beban 4

derajat material tersebut patah pada siklus 101833 pada tegangan geser sebesar $0,2396 \text{ N/mm}^2$. Pada beban 5 derajat material tersebut parah pada siklus 47250 pada tegangan geser sebesar $0,2995 \text{ N/mm}^2$ sedangkan, pada beban 6 derajat material tersebut patah pada siklus 24167 pada tegangan geser $0,3594 \text{ N/mm}^2$. Dapat dianalisa bahwa semakin lama spesimen mendapatkan perlakuan panas maka spesimen tersebut mengalami patah Lelah pada siklus yang lama dengan tegangan geser yang relatif tinggi. Dari sini terlihat bahwa semakin besar beban yang diberikan akan mempercepat terjadinya patah pada sampel tersebut.

Kata Kunci : *Non Heat Treatment*, *Heat Treatment*, Pengujian Fatik, Siklus, Tegangan.

SUMMARY

FATIGUE FRACTURE BENDING TEST ON T6 HEAT-TREATED AA7075

Scientific paper in the form of a Thesis, December 9, 2023

Adryan Wijaya; Supervised by Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.

SUMMARY

Fatigue testing or fatigue testing is a method of material testing that aims to evaluate how a material or structure reacts to cyclic loads or stress variations over time. The main purpose of fatigue testing is to understand the behavior and resistance of materials to cyclic loads, which can lead to material or structural failure over long periods of time. Fatigue testing is carried out on AA 7075 material which has gone through a series of activities ranging from material crushing according to JIS Z 2273 standards , heating (solution treatment) at a temperature of 475 °C for 5 hours to heating T6 artificial aging (aging) at a temperature of 120 °C for 4.6 8 hours. The test result of the NHT specimen at a load of 4 degrees of the material broke at cycle 17083 at a shear stress of 0.2208 N/mm². At a load of 5 degrees the material is severe in cycle 15133 at a shear stress of 0.2760 N/mm² whereas, at a load of 6 degrees the material breaks at cycle 13700 at a shear stress of 0.3312 N/mm². The test results of the HT specimen for 4 hours at a load of 4 degrees the material broke at cycle 60417 at a shear stress of 0.1809 N/mm². At a load of 5 degrees the material is severe in cycle 32500 at a shear stress of 0.2261 N/mm² whereas, at a load of 6 degrees the material breaks at cycle 22850 at a shear stress of 0.2714 N/mm². The test results of the HT specimen for 6 hours at a load of 4 degrees the material broke in cycle 72333 at a shear stress of 0.2599 N/mm². At a load of 5 degrees the material is severe in cycle 42167 at a shear stress of 0.3249 N/mm² whereas, at a load of 6 degrees the material breaks in cycle 27067 at a shear stress of 0.3898 N/mm². The test results of the HT specimen for 8 hours at a load of 4 degrees of the material broke in the 101833 cycle at a shear stress of 0.2396 N/mm². At a load of 5 degrees the material is severe at cycle 47250 at a shear stress of 0.2995 N/mm² whereas, at a load of 6 degrees the material breaks at cycle 24167 at a shear stress of 0.3594 N/mm². It can be analyzed that the longer the specimen gets heat

treatment, the specimen breaks tired on long cycles with relatively high shear stress. From this it can be seen that the greater the load given will accelerate the occurrence of fractures in the sample.

Keywords: Non Heat Treatment, Heat Treatment, Fatigue Testing, Cycle, Stretch.

KATA PENGANTAR

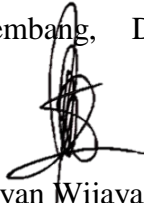
Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan yang Maha Esa berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul “*Uji Bending Patah Lelah Pada AA 7075 Yang Mendapat Perlakuan Panas T6*”, disusun untuk melengkapi salah satu syarat mendapatkan Gelar Magister Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan proposal ini kepada:

1. Bapak Endang Priyanto,S.E dan Ibu Surbaiti,S.Pd, kedua orang tua penulis yang telah memberikandoa dan dukungan.
2. Prof. Dr. Ir. Nukman, MT. Selaku dosen pembimbing dan pembimbing akademik.
3. Ketua jurusan, dosen-dosen, dan jajaran staf dan karyawan JurusanTeknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam hal pembelajaran khususnya bagi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Palembang, Desember 2023



Adryan Wijaya

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
JURUSAN TEKNIK MESIN AGENDA NO	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	vii
RINGKASAN	viii
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Alumunium.....	4
2.2 Sifat – Sifat Alumunium.....	5
2.3 Paduan Alumunium	5
2.3.1 Aluminium Murni.....	5
2.3.2 Aluminium Paduan (<i>Alloy</i>).....	6
2.4 Alumunium Paduan Seri 7075.....	10
2.5 Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>) T6.....	11

2.6	Rencana Perlakuan Panas	11
2.7	Diagram Fasa.....	13
2.8	Fatik.....	14
2.9	Perhitungan Tegangan Bending (σ_b) Pada Pengujian Fatik.....	15
2.10	Kurva S-N.....	16
2.11	Kajian Pustaka	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2	Studi Literatur	22
3.3	Tempat dan Waktu Pengujian.....	22
3.4	Metode Penelitian	22
	3.4.1 Penyiapan Spesimen	22
	3.4.2 Peralatan yang digunakan	23
3.5	Prosedur Penelitian	24
3.6	Analisa dan Pengolahan Data	25
3.7	Hasil Yang Diharapkan.....	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Data Hasil Pengujian Fatik.....	27
4.2	Data Hasil Perhitungan Pengujian Fatik	32
4.3	Kurva S-N	33
4.4	Pengamatan Visual.....	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		40
5.1	Data Hasil Pengujian Fatik.....	40
5.2	Data Hasil Perhitungan Pengujian Fatik	40
DAFTAR PUSTAKA		41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alumunium Paduan Seri 7075	10
Gambar 2.2 Rencana Perlakuan Panas	12
Gambar 2.3 Diagram Fasa Al-MgZn ₂	14
Gambar 2.4 Variasi Tegangan	15
Gambar 2.5 Dimensi Spesimen Uji Fatik Bending	15
Gambar 2.6. Grafik Kurva S-N.....	17
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2 Gambar Teknik Spesimen Pengujian Bending Fatik JIS Z 2273....	23
Gambar 3.3 Spesimen Pengujian Bending Fatik JIS Z 2273.....	23
Gambar 3.4 Furnace.....	24
Gambar 3.5 <i>Repeated Torsion and Bending Fatigue Testing Machine</i>	24
Gambar 4.1 Kurva S-N Spesimen AA7075 NHT	33
Gambar 4.2 Kurva S-N Spesimen AA7075 HT 4 jam	34
Gambar 4.3 Kurva S-N Spesimen AA7075 HT 6 jam	35
Gambar 4.4 Kurva S-N Spesimen AA7075 HT 8 jam	36
Gambar 4.5 Kurva S-N Spesimen AA7075 NHT dan HT	37
Gambar 4.6 Hasil Pengamatan Makro Uji Fatik NHT	38
Gambar 4.7 Hasil Pengamatan Makro Uji Fatik HT 4 Jam.....	38
Gambar 4.8 Hasil Pengamatan Makro Uji Fatik HT 6 Jam.....	38
Gambar 4.9 Hasil Pengamatan Makro Uji Fatik HT 8 Jam.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat Fisik Alumunium	6
Tabel 2.2. Sifat-sifat Mekanik Alumunium	6
Tabel 2.3. Klasifikasi perlakuan bahan.....	7
Tabel 2.4. Kelompok Aluminium Paduan	7
Tabel 2.5 Klasifikasi perlakuan bahan.....	9
Tabel 2.6 komposisi Alumunium Paduan Seri 7075	10
Tabel 4.1. Data hasil pengujian fatik tanpa perlakuan panas (NHT).....	27
Tabel 4.2. Data hasil pengujian fatik dengan perlakuan panas (HT) 4 Jam.....	27
Tabel 4.3. Data hasil pengujian fatik dengan perlakuan panas (HT) 6 Jam.....	27
Tabel 4.4. Data hasil pengujian fatik dengan perlakuan panas (HT) 8 Jam.....	28
Tabel 4.5. hasil pengujian fatik tanpa perlakuan panas	32
Tabel 4.6. hasil pengujian fatik HT 4 jam	32
Tabel 4.7. hasil pengujian fatik HT 6 jam	32
Tabel 4.8. hasil pengujian fatik HT 8 jam	33

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan aluminium dan logam paduan di dunia industri terus berkembang, menuntut manusia untuk melakukan rekayasa guna memenuhi kebutuhan yang semakin kompleks. Jika diperhatikan, peralatan yang sering digunakan sehari-hari seperti pesawat terbang, kapal, mobil, sepeda motor, dan suku cadang otomotif banyak yang menggunakan bahan dasar aluminium (Surdia dan Saito, 1999).

Aluminium merupakan salah satu logam *non ferro* yang secara umum terbagi menjadi dua yaitu aluminium murni dan aluminium paduan. Salah satu aluminium paduan yang sering digunakan pada industri pesawat terbang sekarang ini yaitu *Aluminium Alloy 7075 (AA7075)*. AA7075 merupakan aluminium yang mempunyai komposisi utama yaitu *Al, Zn, Mg, Cu*, serta sebagian kecil ditambah logam lainnya (*ASM Handbook Vol 2, 1992*). Kombinasi ini menghasilkan AA7075 yang memiliki kekuatan tertinggi diantara aluminium paduan seri lainnya dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaannya. Material AA7075 digunakan untuk rangka pesawat terbang dan konstruksi lainnya (Surdia dan Saito, 1999).

Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat-sifat bahan dengan jalan memanaskan bahan tersebut sampai suhu tertentu, kemudian di dinginkan ke suhu yang lebih rendah, pelunakan, penormalan, pengerasan, dan penemperan. Dalam perlakuan panas T6 dilakukan penuaan tiruan (*artificial aging*) setelah perlakuan perlarutan (Surdia dan Saito, 1999). Berdasarkan buku (*ASM Handbook Vol 2, 1992*) Temperatur perlakuan panas T6 Untuk AA7075 yang disarankan adalah 120°C dan *solution temperature* yang dianjurkan 465°C - 480°C berada dibawah temperatur *solidus* yaitu 477°C.

Salah satu jenis kegagalan yang terjadi pada komponen material diakibatkan oleh adanya beban dinamis (pembebanan berulang-ulang), kegagalan

ini tidak diinginkan karena ciri-ciri akan terjadi kegagalan atau patahnya tidak dapat diketahui secara langsung. Kegagalan ini dimulai dari *crack* terus berkembang hingga terjadi perambatan *crack* sampai kemudian menjadi patah. Diperkirakan 50%-90% kegagalan mekanis disebabkan oleh kelelahan (Tawaf, Suprpto, and Purnowidodo 2014).

Untuk mengetahui sifat mekanik dari material maka diperlukan pengujian-pengujian. Salah satu pengujian yang dapat dilakukan yaitu uji lelah (*Fatigue*). Pengujian ini diharapkan dapat memperkirakan kelelahan dan memperoleh data yang dapat digunakan untuk memprediksi ketahanan lelah material.

Didasari latar belakang tersebut, penulis menyusun tugas akhir/tesis yang didasari dari temperatur solidus yang didapat dari *TGA*. Dimana perlakuan panas yang diberikan berupa T6, sehingga judul dari pada penelitian adalah : “UJI *BENDING* PATAH LELAH PADA AA7075 YANG MENDAPAT PERLAKUAN PANAS T6”.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini akan dilakukan analisa Uji bending patah lelah pada material AA7075 yang mendapatkan perlakuan panas T6. Dalam hal ini akan dianalisis seberapa besar pengaruh proses perlakuan panas T6 terhadap kelelahan yang dialami oleh material AA7075. Pembebanan yang dilakukan pada uji bending yaitu perbedaan sudut lengkung 4°, 5° dan 6° saat pengujian *repeated bending fatigue testing machine*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Material yang digunakan adalah aluminium AA7075.
2. Perlakuan panas T6 dilakukan pada temperatur 475° dengan *holding time* 2 jam dengan media *quenching* yang digunakan yaitu air. Serta dilakukan penuaan material (*Artificial Aging*) pada suhu 120° C selama 4, 6 dan 8 jam.

3. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian fatik (lelah) menggunakan *repeated bending fatigue testing machine*.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui nilai kekuatan lelah pada alumunium AA7075 baik yang diperlakukan panas maupun tidak diperlakukan panas.
2. Untuk memperbandingkan kurva S-N besarnya kekuatan lelah dari material AA7075 yang diperlakukan panas dan yang tidak diperlakukan panas.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat hasil penelitian ini antara lain :

1. Penelitian ini diharapkan bisa dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.
2. Untuk mendapatkan kurva S-N.
3. Untuk mengetahui langkah-langkah pengujian analisa kekuatan lelah dengan menggunakan mesin uji lelah *Repeated bending fatigue testing machine*.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dalam pembuatan skripsi ini, yaitu :

1. Literatur

Mengambil data dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan referensi lainnya yang berhubungan dengan penelitian ini.

2. Eksperimental

Kegiatan yang bertujuan untuk melakukan percobaan atau pengujian terhadap spesimen uji yang untuk mendapatkan data-data laboratorium kemudian dianalisa untuk mendapatkan umur fatik material dan mengetahui retak awal hasil uji fatik. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amira, N., Anindito, P., dan Putu, H.S. 2019. Pengaruh Waktu Solution Treatment Terhadap Kekuatan Tarik Alumunium Paduan AA 7075-T6. Malang: Universitas Brawijaya.
- ASM Handbook, 1991. Heat Treating. Vol.4. United states of America: ASM International Handbook Committee.
- ASM Handbook, 1992. Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special – Purpose Materials. Vol. 2. United states of America: ASM International Handbook Committee.
- Dianasanti, 2014. Pengaruh Penambahan Komposisi Al Pada Paduan Fe-Ni-Al. Jakarta: Sekolah Tinggi Manajemen Industri.
- Firdaus, dkk. 2019. The Effect of Heat Treatment on Fatigue Testing of Alumunium Cans. Journal of Physics: Conf. Series 1198.
- Fitri M. 2020. Pengaruh Beban Lentur Pada Poros Stainless Steel Terhadap Siklus Kegagalan Fatik. Jurnal Teknik mesin 09(3):149–155.
- Khurmi, R. dan J.K. Gupta, 2005. A Textbook of Machine Design First Mult., New Delhi.
- M. Pangoloan., 2017. Skripsi: Analisa Umur Patah Lelah Pada Logam Komersial Sampel Alumunium, Tembaga, Kuningan, dan Baja Bertakik V dengan Variasi Sudut 1°, 2°, 3°, dan 4°. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- H. Mayer, 2005, Jurnal : Ultrasonic torsion and tension–compression fatigue testing: Measuring principles and investigations on 2024-T351 aluminium alloy. Vienna : Austria.
- Nukman., Irsyadi Y., Amir A., dan Firdaus. 2020. Buku Ajar Pelumas Bekas Sebagai Bahan Bakar Untuk Melebur Alumunium Bekas: Cara Peleburan, Uji Komposisi Kimia, Uji Sifat Mekanik, Uji Sifat Fatik Serta Oksidasi Material. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Najmuldeen, dkk. 2020. Effect of Cyclic Heat Treatment on Microstructure an Mechanical Properties of AA 6061 – T6 Alumunium Alloy. Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences NJES 23 (4) 383-387.
- Nugroho E, Handono SD, Budiyanto E. 2020. Analisa uji ketahanan fatigue Alumunium scrap hasil remelting sepatu rem (brake shoe) terhadap variasi beban menggunakan tipe rotary bending. 1(2):96–107.
- Surdia, T., Shinroku, S. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta : Pradnya Paramita.

- Tawaf, N., Suprpto, W., dan Purnowidodo, A. 2014. Analisis Fatigue Failure Suhu Rendah Struktur Batang Duralumin dengan Mesin Siklus Bending. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Volume 5 (No 3), hal. 239-245.
- Totten, G. E., & MacKenzie, D. Scott. (2003). *Handbook of aluminum, Alloy Production and Materials Manufacturing*. Vol. 2: United states of America: Marcel Dekker
- William D. Callister, J. and Rethwisch, D. G. (2009) *Materials Science and Engineering*. Eight. John Wiley and Sons, Inc.
- Zainun, A., dan Hendrawan, H.P. 2015. *Kaji Eksperimen Umur Lelah Poros Pada AL 6061 – Abu Batubara Yang Mendapat Perlakuan Panas*. Surabaya: Universitas 17 Agustus 1945