

SKRIPSI

KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI PEGAS DAUN DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED* *TORSION*

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



ALFIAN LUIS FERNANDES

03051181722009

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

SKRIPSI

KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI PEGAS DAUN DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED* *TORSION*

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



Oleh:

ALFIAN LUIS FERNANDES

03051181722009

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

**KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI PEGAS DAUN DENGAN
PEMBEBANAN *REPEATED TORSION***

SKRIPSI

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

Oleh:

ALFIAN LUIS FERNANDES

03051181722009

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

Inderalaya, Juni 2022
Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi



**Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.
NIP. 196004071990031003**

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : ALFIAN LUIS FERNANDES
NIM : 0305181722009
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL : **KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI PEGAS
DAUN DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED*
*TORSION***
DIBUAT : JUNI 2021
SELESAI : JULI 2022



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Irsyadh Yani, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19711226 199702 1 001

Indralaya, 18 Juli 2022
Diperiksa dan disetujui oleh :
Pembimbing Skripsi



Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.
NIP. 196004071990031003

HALAMAN PERSETUJUAN


Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI PEGAS DAUN DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*” telah dipertahankan di hadapan tim penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada Tanggal 18 Mei 2022.

Palembang, 20 Juni 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

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

()

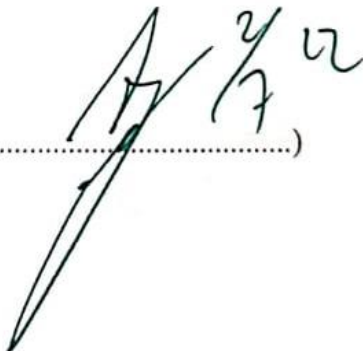
Sekretaris :

2. Qomarul Hadi, S.T., M.T.
NIP. 196902131995031001

()

Amggota :

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

()

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112351997021001

Indralaya, 20 Juni 2022
Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi

()

Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.
NIP. 196004071990031003

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat Seminar dan Sidang Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Ketahanan Lelah Baja Konstruksi Pegas Daun Dengan Pembebanan *Repeated Torsion*”.

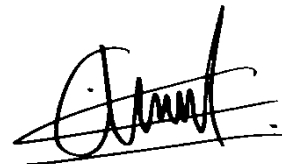
Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala macam bimbingan dan bantuan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasih karunia-NYA.
2. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Amir Arifin, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, mendidik, memotivasi, serta banyak memberikan saran kepada penulis dari awal hingga skripsi ini selesai.
5. Ibu Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
7. Kedua Orang Tua dan Adik penulis Priskila yang selalu mendukung penulis baik moral dan materi serta doa yang tulus untuk penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.
8. Teman sepenelitian Andri, Polado, Dzaky yang telah memberi dukungan dan semangat serta berjuang bersama untuk menyelesaikan skripsi ini.

9. Bapak Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T. sebagai kepala Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah memberikan izin melakukan penelitian di Laboratorium Metalurgi
10. Bapak Yahya sebagai penjaga Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang membantu saya dalam mengerjakan penelitian di Laboratorium Metalurgi.

Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penelitian ini menjadi lebih baik. Semoga penulisan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak yang berkepentingan.

Indralaya, Juli 2022



Alfian Luis Fernandes

03051181722009

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Alfian Luis Fernandes


NIM : 03051181722009

Judul : KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI PEGAS DAUN
DENGAN PEMBEBANAN REPEATED TORSION

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.

Indralaya, 18 Juli 2022



Alfian Luis Fernandes
NIM. 03051181722009

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alfian Luis Fernandes

NIM : 03051181722009

Judul : KETAHAN LELAH BAJA KONSTRUKSI PEGAS DAUN
DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi 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.



Indralaya, Juli 2022



METERAI
TEMPEL
0FAJX906327530

Alfian Luis Fernandes
NIM. 03051181722009

RINGKASAN

KETAHANAN LELAH BAJA KONSTRUKSI PEGAS DAUN DENGAN PEMBEBANAN *REPEATED TORSION*

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juli 2022

Alfian Luis Fernandes;

Dibimbing oleh Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

Fatigue Resistance of Leaf Spring Construction Steel with Repeated Torsion Loading

XXVII + 46 halaman, 9 tabel, 17 gambar

Gejala *Fatigue* berkaitan dengan perpatahan dini yang dialami logam yang menerima tegangan rendah secara berulang-ulang. Gejala *fatigue* ini sangat penting pada berbagai bidang rekayasa (misal pada konstruksi pesawat terbang, poros, dan lain-lain). Penyebab terjadinya *fatigue* adalah adanya retak yang berawal pada daerah yang konsentrasi tegangannya tinggi. Daerah ini antara lain lekukan, lubang pada material, permukaan yang kasar, dan rongga baik di dalam maupun di permukaan material. Jadi terjadinya *fatigue* adalah retak yang terus bertambah panjang hingga komponen tidak lagi mempunyai toleransi terhadap tegangan dan regangan yang lebih tinggi, dan akhirnya terjadi patah statis secara tiba-tiba. Panjang retak ini akan terus bertambah karena pembebanan dinamis yang terus-menerus. Semakin besar amplitudo pada pembebanan dinamis maka semakin cepat retak merambat. Pada pengujian baja pegas daun diberi tegangan yang berulang secara cepat agar mendapatkan hasil yang dibutuhkan. Kegagalan yang disebabkan oleh kelelahan lebih berbahaya daripada kegagalan statis dikarenakan kegagalan tersebut terjadi tanpa peringatan terlebih dahulu, secara tiba-tiba dan menyeluruh. Lebih dari 90% penyebab kegagalan mekanik

disebabkan oleh kegagalan lelah. Penelitian dilakukan menggunakan alat uji *fatigue* dengan tipe *repeated torsion*. Material yang di analisis adalah baja pegas daun. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 5 variasi sudut pembebanan yang berbeda yaitu 1°, 2°, 3°, 4° dan 5°. Dari hasil pengujian kelelahan (*fatigue*) spesimen baja pegas daun dengan sudut pembebanan 1° menghasilkan tegangan 119 MPa, Siklus 1929800 dalam waktu 38596 detik. Pada sudut pembebanan 2° menghasilkan tegangan 238 MPa, Siklus 1463900 dalam waktu 29278 detik. Pada sudut pembebanan 3° menghasilkan tegangan 364 MPa, Siklus 936150 dalam waktu 18723 detik. Pada sudut pembebanan 4° menghasilkan tegangan 483 MPa, Siklus 510850 dalam waktu 10217 detik. Pada sudut pembebanan 5° menghasilkan tegangan 609 MPa, Siklus 325700 dalam waktu 6514 detik. Pada sudut 5° dengan perlakuan panas *normalizing* menghasilkan tegangan 609 MPa, siklus 112150 dalam waktu 2243 detik. Maka semakin besar sudut pembebanan yang diberikan kepada spesimen maka semakin cepat spesimen mengalami kegagalan lelah. Proses perlakuan panas *normalizing* juga berpengaruh pada ketahanan lelah material dimana pada saat spesimen diberi perlakuan panas *normalizing* maka spesimen mengalami kegagalan lelah lebih cepat dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan.

Kata Kunci : Baja Pegas Daun, *Normalizing*, Uji *Fatigue*

Kepustakaan : 14(1996-2021)

SUMMARY

FATIGUE RESISTANCE OF LEAF SPRING CONSTRUCTION STEEL WITH REPEATED TORSION LOADING

Scientific Writing in the form of a thesis, July 2022

Alfian Luis Fernandes;

Supervised of Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

Ketahanan Lelah Baja Konstruksi Pegas Daun dengan Pembebanan *Repeated Torsion*

XXVII + 46 pages, 9 tables, 17 images

Fatigue symptoms are related to the premature fracture experienced by metals that receive repeated low stresses. This fatigue phenomenon is very important in various engineering fields (eg in aircraft construction, shafts, etc.). The cause of fatigue is the presence of cracks that start in areas of high stress concentration. These areas include indentations, holes in the material, rough surfaces, and voids both within and on the surface of the material. So the occurrence of fatigue is a crack that continues to grow in length until the component no longer has tolerance for higher stresses and strains, and finally a sudden static fracture occurs. The length of this crack will continue to increase due to continuous dynamic loading. The greater the amplitude of dynamic loading, the faster the crack propagates. In the leaf spring steel test, the stress is repeated rapidly in order to get the required results. Failures caused by fatigue are more dangerous than static failures because they occur without warning, suddenly and completely. More than 90% of the causes of mechanical failure are caused by fatigue failure. The study was conducted using a fatigue test with repeated torsion type. The material being

analyzed is leaf spring steel. The test was carried out using 5 variations of different loading angles, namely 1°, 2°, 3°, 4° and 5°. From the results of fatigue testing (fatigue) specimens of leaf spring steel with a loading angle of 1° produces a stress of 119 MPa, 1929800 cycle in 38596 seconds. At a loading angle of 2° produces a voltage of 238 MPa, Cycle 1463900 in 29278 seconds. At a loading angle of 3° produces a voltage of 364 MPa, 936150 cycle in 18723 seconds. At a loading angle of 4° produces a voltage of 483 MPa, 510850 cycle in 10217 seconds. At a loading angle of 5° produces a voltage of 609 MPa, 325700 cycle in 6514 seconds. At an angle of 5° with normalizing heat treatment produces a voltage of 609 MPa, 112150 cycles in 2243 seconds. Then the greater the angle of loading given to the specimen, the faster the specimen will fail to fatigue. The normalizing heat treatment process also affects the fatigue resistance of the material where when the specimen is subjected to normalizing heat treatment, the specimen experiences fatigue failure faster than the specimen without treatment.

Keywords : Leaf Spring Steel, Normalizing, Fatigue Test

Literature : 14(1996-2021)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja Karbon (<i>Carbon Steel</i>).....	5
2.2 Klasifikasi Baja Karbon.....	6
2.2.1 Baja Karbon Rendah (<i>Low Carbon Steel</i>)	6
2.2.2 Baja Karbon Sedang (<i>Medium Carbon Steel</i>).....	6
2.2.3 Baja Karbon Tinggi (<i>High Carbon Steel</i>).....	7
2.3 Sifat Mekanik Bahan	7
2.4 Pegas Daun.....	9
2.5 Pengujian Fatigue	11
2.5.1 Awal Retak (<i>initiation crack</i>).....	15
2.5.2 Perambatan Retak (<i>Crack Propagation</i>).....	16
2.5.3 Perpatahan Akhir (<i>Final Fracture</i>).....	16
2.6 Struktur Mikro.....	17
2.7 <i>Normalizing</i>	17
2.8 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Studi Literatur	20
3.3 Persiapan Spesimen	20
3.4 Pengujian Fatik.....	21

3.5	Karakteristik Material Baja Pegas Daun.....	22
3.6	Pengujian Metalografi	22
3.7	Pengujian SEM.....	24
3.8	Hasil Yang Diharapkan.....	22
3.9	Waktu dan Tempat	25
3.10	Analisa data dan Pembahasan	25
BAB 4 PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Pengujian Tarik	35
4.2	Hasil Pengujian <i>fatigue</i>	30
4.3	Kurva S-N	35
4.4	Hasil Pengamatan Struktur Mikro	36
4.5	Hasil Pengujian SEM.....	37
4.5.1	Hasil Pengujian SEM tanpa perlakuan	37
4.5.2	Hasil Pengujian SEM dengan proses <i>normalizing</i>	38
4.6	Analisa Data.....	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	44
DAFTAR RUJUKAN.....		i
LAMPIRAN		i

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pegas Daun.....	10
Gambar 2.2 Grafik siklus S-N.....	11
Gambar 2.3 Pembalikan sempurna dan konstan tegangan pada titik nol	13
Gambar 2.4 Pembalikan sempurna dan konstan pada titik tidak nol.....	13
Gambar 2.5 Pembalikan dan tegangan tidak sempurna atau acak.....	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.	19
Gambar 3.2 Skematis proses <i>normalizing</i>	20
Gambar 3.3 <i>Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine</i>	21
Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Uji <i>Fatigue</i>	21
Gambar 3.5 <i>Measuring</i> Mikroskop STM6-LM.....	23
Gambar 3.6 SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).	24
Gambar 4.1 Kurva S-N pengujian baja pegas daun tanpa perlakuan.	35
Gambar 4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro Baja Pegas Daun Pembesaran 450X.	36
Gambar 4.3 Hasil pengujian SEM tanpa perlakuan dengan perbesaran 1000x ..	37
Gambar 4.4 Hasil pengujian SEM tanpa perlakuan dengan perbesaran 2000x. ..	38
Gambar 4.5 Hasil pengujian SEM dengan perlakuan panas <i>normalizing</i> dengan perbesaran 1000x.....	39
Gambar 4.6 Hasil pengujian SEM dengan perlakuan panas <i>normalizing</i> dengan perbesaran 2000x.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat mekanik baja pegas daun JIS G 4801-1984.....	9
Tabel 2.2 Komposisi Baja Pegas Daun SUP 9 Standard JIS G 48018	10
Tabel 3.1 Komposisi kimia material baja pegas daun	22
Tabel 4.1 Data Uji Tarik Baja Pegas Daun tanpa perlakuan panas.....	28
Tabel 4.2 Data Uji Tarik Baja Pegas Daun dengan proses <i>Normalizing</i>	29
Tabel 4.3 Waktu hasil pengujian <i>fatigue</i> baja pegas daun tanpa perlakuan panas <i>normalizing</i>	30
Tabel 4.4 Waktu hasil pengujian <i>fatigue</i> Baja Pegas Daun dengan proses <i>Normalizing</i> pada temperatur 800°C selama 60 menit	30
Tabel 4.5 Data hasil pengujian <i>fatigue</i> tanpa proses <i>normalizing</i>	34
Tabel 4.6 Data hasil pengujian <i>fatigue</i> dengan proses <i>normalizing</i>	35

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Siklus	12
Rumus 2.2 Tegangan Luluh.....	13

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar pengambilan data uji fatigue.....	i
Lampiran 2 Gambar pengambilan data uji Tarik	v

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem transportasi pada umumnya sangat mengutamakan kenyamanan dan keamanan dalam hal berkendara. Untuk menunjang hal tersebut dibutuhkan suatu sistem suspensi yang baik. Sistem suspensi berfungsi untuk meredam getaran, ayunan, dan guncangan yang diterima kendaraan pada saat melintasi jalanan yang bergelombang, berlubang dan tidak rata. Kondisi jalanan yang seperti ini sangatlah mengganggu kenyamanan dan bisa menyebabkan kecelakaan bagi pengendara. Sistem suspensi ini terdiri dari komponen pegas dan komponen redaman yang terletak diantara bodi dengan roda..

Pada kendaraan roda empat seperti truck, kendaraan niaga dengan suspensi rigid, pegas yang paling umum digunakan adalah pegas daun. Dipilihnya pegas daun dikarenakan pegas daun dapat menerima beban dinamis yang lebih besar dari pada pegas jenis lain tanpa mengabaikan kondisi-kondisi seperti luasan tumpuan dari pegas serta hemat dalam hal perawatan. Pada pengaplikasian baja pegas sering di jumpai beberapa masalah, misalnya Patah akibat beban berlebih atau beban kejut yang mengakibatkan terbatasnya umur pakai dalam waktu yang lebih singkat.

Seiring penggunaan dalam jangka waktu yang relatif lama, sifat mekanik pada pegas daun juga akan semakin menurun yang menyebabkan kemampuan sistem suspensi pada kendaraan dalam menerima beban dinamis kurang maksimal. Jika hal ini terus diabaikan dapat menyebabkan rangka pada kendaraan memperoleh getaran yang tidak dapat diredam oleh sistem suspensi secara maksimal dan dapat memicu kerusakan pada komponen lain serta dapat mengurangi kenyamanan pada pengendara, karena itu diperlukan sebuah penelitian terkait permasalahan yang terjadi pada pegas daun. Maka pada

penelitian kali ini penulis akan mengangkat judul “Ketahanan Lelah Baja Konstruksi Pegas Daun Dengan Pembebanan *Repeated Torsion*”.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana ketahanan *fatigue* material baja pegas daun dengan menggunakan metode pembebanan *repeated torsion*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja pegas daun.
2. Mesin yang digunakan dalam uji *fatigue* ini adalah *Torsion Repeated and Bending Fatigue Machine*.
3. Pengujian menggunakan metode *repeated torsion*.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Memahami dan menganalisa ketahanan lelah baja pegas daun yang dengan menggunakan metode pembebanan *repeated torsion* sehingga menghasilkan kurva S-N.
2. Memahami dan menganalisa struktur mikro pada spesimen baja pegas daun.
3. Memahami dan menganalisa kondisi permukaan patahan baja pegas daun setelah mengalami pengujian *fatigue* dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Mycroscope*).

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan wawasan ilmu pengetahuan di bidang konstruksi baja.
2. Hasil dari analisis ini dapat digunakan untuk mengetahui nilai ketahan lelah material yang dipakai sebagai bahan pegas daun.
3. Untuk mengetahui pengaruh beban torsi terhadap ketahanan lelah baja pegas daun.
4. Dari data-data yang di dapatkan dalam penelitian ini diharapkan kedepannya dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya mengenai bidang konstruksi baja terkhususnya pada material baja pegas daun.

DAFTAR RUJUKAN

- Callister, W. and Rethwisch, D., 2020. *Materials science and engineering: an introduction*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Chandra Hendri, 2007. Analisis *Fatigue* Poros Pompa Vakum., p.13.
- Chandra Hendri, Nukman, S. Baoadi, 2019. Analysis of Fatigue Life and Crack Propagation Characterization of Gray Cast Iron under Normalizing Proses, Departement of Mechanical Engg. University of Sriwijaya, Indonesia.
- Chaudhari, Mayuri A., 2015, “*Design and Analysis of Leaf Spring of Tanker Trailer Suspension System*”, Department of Mechanical Engg. S.S.V.P.S’s B.S.Deore COE Dhule (MS), India.
- D. Gandy., 2007. *Carbon Steel Handbook*. California: Electric Power Research Institute Inc.
- Harahap V., H. Hamjah, 2013. Pengaruh Karakteristik Pasir Merah Labuhan Batu Selatan Terhadap Sifat Mekanik (Uji SEM, Difraksi Sinar X, Uji Impak) dari Beton. *Jurnal Einstein* Vol. 1, No. 2. Universitas Negeri Medan, Indonesia.
- Muharnif M., R. Septiawan, 2018. Analisa Pengujian Lelah Material Stainless *Steel* 304 Dengan Menggunakan *Rotary Bending Fatigue Machine*. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia.
- Murtiono, A., 2012. Pengaruh *Quenching* Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Permanen Sawit. *e-Dinamis*, II(2).
- Najeeb, N., Salman, N. & Aqueel, S., 2014. *Austempering Heat Treatment of AISI 4340 Steel and Comparative Analysis of Various Physical Properties at Different Parameters*. Volume V, pp. 6-11.
- Perdana Shandy, B. Untung, S. A. W. Budi, 2020. Pengaruh Variasi Waktu Penahan (*Holding Time*) pada Perlakuan Panas *Normalizing* Setelah Pengelasan *Submerged Arc Welding* (SAW) pada Baja SS400 terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrofografi, Departement Teknik Perkapalan. Universitas Diponegoro, Indonesia.
- Sanatu Dzahab, Istiqlal., 2017, “Analisa Rekondisi Baja Pegas Daun SUP 9A Dengan Metode Quench-Temper pada Temperatur Tempering 460 °C Terhadap Kekerasan Kekuatan Tarik”, Tugas Akhir Teknik Mesin, ITS, Surabaya.
- Setiawan, Indra., Sakti Nur, Muhamad., 2008, “Meningkatkan Mutu Baja SUP 9 Pada Pegas Daun Dengan Proses Perlakuan Panas”, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Surdia, T. & Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya

Paramita

Wahyudi Dedek, 2017. Uji Kelelahan (*Fatigue Test*) Baja ST 60, Tugas Sarjana Konstruksi dan Manufaktur Jurusan Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia.

Wiryo Sumarto., 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.