

TESIS

ANALISA PERMUKAAN PATAH LELAH PADA MATERIAL BAJA ASTM A – 36 MENGGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)*



Oleh:

**ROLAN CHRISDIANTONO
03032682125008**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

TESIS

ANALISA PERMUKAAN PATAH LELAH PADA MATERIAL BAJA ASTM A – 36 MENGGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)*



OLEH:

ROLAN CHRISDIANTONO

03032682125008

Palembang, Januari 2024

**Mengetahui,
Dekan Teknik Universitas Sriwijaya**



**Prof. Dr. Ir.H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 19670615 1995121002**

**Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Tesis**

**Dr. Ir. Hendri Chandra, MT.
NIP. 196004071990031003**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA PERMUKAAN PATAH LELAH PADA MATERIAL BAJA ASTM A – 36 MENGGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)*

TESIS

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

OLEH:

ROLAN CHRISDIANTONO

03032682125008

Palembang, Mei 2024

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



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

**Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Tesis**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Hendri Chandra', written over a horizontal line.

**Dr. Ir. Hendri Chandra, MT.
NIP. 196004071990031003**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

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

TESIS

**Judul Tesis : Analisa Permukaan Patah Lelah pada Material Baja
ASTM A – 36 Menggunakan *Scanning Electron
Microscope (SEM)***

Nama Mahasiswa : Rolan Chrisdiantono

NIM : 03032682125008

Program Studi : Teknik Mesin

Bidang Kajian Utama : Teknik Material dan Manufaktur

Fakultas : Teknik

Menyetujui :

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



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

**Diperiksa dan disetujui oleh
Pembimbing Tesis**

**Dr. Ir. Hendri Chandra, MT.
NIP. 196004071990031003**

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa tesis ini dengan judul “Analisa Permukaan Patah Lelah pada Material Baja ASTM A – 36 Menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*”, telah dipertahankan di hadapan Panitia sidang tesis berupa tesis Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal Januari 2024, diperiksa serta disetujui sesuai dengan masukan Panitia Seminar Proposal berupa tesis Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Palembang, Januari 2024

Panitia sidang tesis

Anggota Penguji :

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

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Nama : Rolan Chrisdiantono
NIM : 03032682125008
Judul Tesis : Analisa Permukaan Patah Lelah pada Material
Baja ASTM A – 36 Menggunakan *Scanning
Electron Microscope (SEM)*

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, Mei 2024



Rolan Chrisdiantono
03032682125008

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rolan Chrisdiantono

NIM 03032682125008

Judul : Analisa Permukaan Patah Lelah pada Material Baja
ASTM A – 36 Menggunakan *Scanning Electron
Microscope (SEM)*

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, Mei 2024



Rolan Chrisdiantono
03032682125008

RINGKASAN

ANALISA PERMUKAAN PATAH LELAH PADA MATERIAL BAJA ASTM A – 36 MENGUNAKAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 26 Mei 2024

Rolan Chrisdiantono; Dibimbing oleh Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

RINGKASAN

Perkembangan sektor konstruksi dalam dunia industri mengenai kebutuhan akan bahan – bahan teknis semakin meningkat pesat, hal ini terlihat dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan bahan – bahan teknis yang tergolong mempunyai kualitas yang lebih tinggi, misalnya; dari segi kemampuan (sifat mekanik), harga lebih murah dan banyak dijual di pasaran. Dalam mengembangkan teknologi dan proses seperti; Bidang konstruksi, produksi atau manufaktur sangat erat kaitannya dengan sifat mekanik suatu material, khususnya dalam bidang material teknik yang semakin sulit dipenuhi dengan material yang ada. Secara umum, konstruksi, termasuk bangunan mesin, baik yang statis (diam) maupun dinamis (bergerak), dalam pengoperasiannya selalu mengalami pengalaman beban dinamis, beban dinamis dapat disebabkan oleh faktor yang sulit dihindari seperti hembusan angin, laut gelombang, permukaan tidak rata dan sebagainya. Penyebab terjadinya kelelahan adalah adanya retakan yang berasal dari daerah tempat terjadinya konsentrasi stres tinggi. Area tersebut antara lain: lekukan, lubang pada material, permukaan kasar, dan rongga baik di dalam maupun di permukaan material. Jadi, terjadinya kelelahan adalah retakan yang terus membesar panjang hingga komponen tidak lagi memiliki toleransi terhadap tegangan dan regangan yang lebih tinggi. Panjang retakan ini akan terus bertambah akibat adanya pembebanan dinamis yang terus menerus. Di dalam Pada penelitian ini dilakukan pengujian kelelahan dengan metode tekuk berulang, setelah dilakukan pengujian benda uji maka Permukaan rekahan dianalisis menggunakan pengamatan visual untuk melihat struktur makro dan pemindaian elektron Uji mikroskop dilakukan untuk melihat mikro strukturnya.

Kata Kunci: Analisis; Kelelahan; Baja; ASTM A – 36; SEM

SUMMARY

ANALYSIS SURFACE FATIGUE FRACTURE ON THE MATERIAL STEEL ASTM A – 36 USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

Scientific paper in the form of a Thesis, May 26, 2024

Rolan Chrisdiantono; Supervised by Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T.

SUMMARY

The development of the construction sector in the industrial world regarding the need for technical materials is increasing rapidly, this can be seen by the increasing demand for technical materials which are classified as having higher quality, for example; in terms of capabilities (mechanical properties), the price is cheaper and widely sold on the market. In developing technology and processes such as; The fields of construction, production or manufacturing are closely related to the mechanical properties of a material, especially in the field of materials engineering, which is becoming increasingly difficult to meet with existing materials. In general, construction, including machine buildings, whether static (still) or dynamic (moving), in its operation always experiences dynamic loads, dynamic loads can be caused by factors that are difficult to avoid, such as gusts of wind, sea waves, uneven surfaces and so on. The cause of fatigue is the presence of cracks that originate in areas where the stress concentration is high. These areas include: indentations, holes in the material, rough surfaces, and cavities both inside 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 the tolerance for higher stresses and strains. The length of this crack will continue to increase due to continuous dynamic loading. In this research, fatigue testing using the repeated bending method was carried out, after testing the specimen, the fracture surface was analyzed using visual observation to see the macro structure and a scanning electron microscope test was carried out to see the structure. the micro

Key Word:

Analysis; Fatigue; Steel; ASTM A – 36; SEM

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan yang Maha Esa berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis yang berjudul “Analisa Permukaan Patah Lelah pada Material Baja ASTM A – 36 Menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*”, 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. Ayahanda Tawami dan Ibunda Mastura, kedua orang tua penulis yang telah memberikan doa dan dukungan.
2. Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T. Selaku dosen pembimbing dan pembimbing akademik.
3. Ketua jurusan, Ketua Program Studi, dosen-dosen, jajaran staf dan karyawan Jurusan Magister Teknik 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, Mei 2024

Rolan Chrisdiantono

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kajian Teori.....	4
2.1.1 Definisi Fatik.....	4
2.1.2 Baja Karbon	5
2.1.3 Baja ASTM A – 36	6
2.1.4 Kegagalan <i>Fatigue</i>	8
2.2 Perhitungan Tegangan Bending (σ_b) pada Pengujian Fatik	10
2.3 Mekanisme Penjalaran Retak	12
2.4 Prediksi Umur Lelah Komponen	13
2.5 Karakteristik Makroskopis Perambatan Retak Fatik	13
2.6 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	14
2.7 Kurva S-N.....	16
2.8 Kajian Pustaka	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	20

3.2	Studi Literatur	22
3.3	Persiapan Spesimen	22
3.4	Alat dan Bahan	22
3.5	Metode Pengujian	24
3.5.1	Pengujian <i>Fatigue</i> Metode <i>Repeated Bending</i>	24
3.5.2	Pengamatan Visual	25
3.5.3	Pemeriksaan Faktografi	25
3.6	Komposisi Kimia Baja SA-36	26
3.7	<i>Mechanical Properties</i> Baja SA-36.....	26
3.8	Penentuan Pembebanan pada Pengujian <i>Fatigue</i>	26
3.8.1	Momen Lentur	27
3.8.2	Tegangan Bending	27
3.9	Waktu dan Tempat.....	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1	Data Hasil Pengujian Fatik.....	30
4.1.1	Perhitungan Siklus	30
4.1.2	Perhitungan Sudut	31
4.1.3	Momen Lentur.....	31
4.1.4	Perhitungan Tegangan Bending (σ_b).....	32
4.2	Data Hasil Perhitungan Pengujian <i>Fatigue</i>	34
4.3	Kurva S-N	35
4.4	Pengamatan Visual Permukaan Patah Pengujian <i>Fatigue</i>	36
4.5	Hasil <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	38
4.6	Analisis Data	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		42
5.1	Kesimpulan	42
5.2	Saran.....	42
DAFTAR RUJUKAN.....		43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Variasi Tegangan	5
Gambar 2.2 Struktur Mikro Baja Karbon rendah pembesaran 635x (Callister dan Rethwisch, 2008).....	8
Gambar 2.3. Dimensi sampel uji fatigue standar JIS Z 2273	9
Gambar 2. 4 Skema permukaan patah fatigue (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)	
Gambar 2.3 Mekanisme perambatan retak fatik (Broek, 1986)	11
Gambar 2.3. Permukaan patah lelah dari Baut	12
Gambar 2.7. Kurva S-N (William D. Callister, 2001).....	15
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.3 Pelat Baja SA-36... ..	19
Gambar 3.4 Mesin uji impak Charpy Impact Testing Machine CI-30	20
Gambar 3.5 Mikroskop Optik PME 3 11 B.....	22

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komposisi kimia material baja SA-36.....	23
Tabel 3.2. <i>Mechanical properties</i> baja SA-36.....	23
Tabel 3.3. Data pembebanan pengujian <i>fatigue</i> metode <i>repeated bending</i> pada baja ASTM A-36.....	25
Tabel 4.1 Data hasil pengujian <i>fatigue</i>	27
Tabel 4.2 Hasil pengujian <i>fatigue</i> baja ASTM A-36.....	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan bidang konstruksi dalam dunia industri terhadap kebutuhan material teknik semakin meningkat pesat, hal ini terlihat dengan meningkatnya permintaan terhadap bahan-bahan teknik yang tergolong memiliki kualitas yang lebih tinggi, misalnya; dalam hal kemampuan (sifat-sifat mekaniknya), harganya lebih murah dan banyak dijual di pasaran. Dalam pengembangan teknologi dan proses seperti; bidang konstruksi, produksi atau manufaktur sangat erat hubungannya dengan sifat-sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material, khususnya dalam bidang teknik material yang semakin hari semakin sulit dipenuhi oleh bahan-bahan yang ada selama ini. Umumnya konstruksi termasuk bangunan mesin baik yang bersifat statis (diam) maupun yang bersifat dinamis (bergerak) dalam operasinya selalu mengalami beban dinamis, beban dinamis dapat ditimbulkan oleh faktor yang sulit dihindari seperti tiupan angin, gelombang air laut, permukaan yang tidak rata dan sebagainya. Pembebanan dinamis ini menyebabkan kerusakan pada material. Kerusakan akibat beban dinamis ini lebih dipahami sebagai faktor kelelahan material karena tegangan yang ditimbulkan oleh beban dinamis lebih besar dari tegangan batas lelah (*endurance limit*) material. Untuk menghindari terjadinya kecelakaan yang tidak terdeteksi dan kerugian yang lebih besar, maka perlu diadakan konstruksi terhadap faktor kelelahan tersebut.

Retak merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya kegagalan pada sebuah material. Sehingga merupakan kewajiban bagi industri untuk mengetahui mekanisme perambatan retak untuk menghindari kerugian. Ketahanan material terhadap beban tentu berbeda-beda, oleh karena itu industri perlu mengklasifikasi material yang digunakan, untuk meningkatkan umur pakai (*lifetime*) suatu material demi meningkatkan efektivitas penggunaan material tersebut. Retak disebabkan oleh dua jenis beban, yaitu beban statis dan dinamis.

Kegagalan biasanya terjadi saat level tegangan dibawah yield strength material. Semakin besar amplitudo pembebanan maka semakin cepat retak merambat.

Ada tiga fase di dalam kerusakan yang diakibatkan oleh fatik, yaitu: pengintian retak (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*), dan patah statik (*fracture*). Fenomena fatik ini biasanya terjadi karena adanya beban dinamis dan adanya takikan pada material. Fatik sangat bergantung dengan faktor takikan karena semakin sempurna geometri permukaan suatu struktur maka umur fatiknya juga akan semakin tinggi. Kerusakan akibat fatik banyak terjadi di dunia teknik. Biasanya kerusakan ini terjadi karena disebabkan dengan adanya cacat atau retakan dan juga adanya pembebanan pada saat beroperasi (Hasan, 2007).

Retak yang terjadi akan semakin bertambah panjang dan retakan ini akan berpengaruh terhadap kekuatan struktur suatu material. Kegagalan material terjadi disebabkan adanya cacat atau retakan dan juga adanya pembebanan. Retak yang terjadi akan semakin bertambah panjang dan retakan ini akan berpengaruh terhadap kekuatan struktur suatu material. Salah satu faktor yang perlu diketahui dalam perencanaan adalah faktor toleransi kerusakan yaitu karakteristik perambatan retak (*crack propagation*) dari material dasar maka dapat diketahui umur operasi yang aman untuk sebuah konstruksi.

Dari penelitian sebelumnya perambatan retak perlu dipahami untuk menganalisis perilaku perambatan di daerah garis-garis pantai pada permukaan patahan logam (*beach mark*). Mekanisme penutupan retak juga dipengaruhi efek rasio beban perambatan retak fatik di dekat wilayah ambang batas. Penutupan retak menentukan nilai ketangguhan bahan (K_{max}) akibat kerusakan retak fatik (Martelo, 2015).

Berdasarkan uraian pada paragraf sebelumnya, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang perambatan retak fatik dengan menggunakan metode Eksperimen. Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah baja ASTM A-36 yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi dan komponen-komponen teknik.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagaimana patah lelah dinamis yang dialami material Baja ASTM A – 36 dan karakteristik permukaan patahan pada Baja ASTM A – 36. Sudut pembebanan yang akan dilakukan pada specimen uji *Fatigue* bending yaitu 1° , 2° , dan 3° pada saat pengujian *Fatigue* metode *Repeated* bending.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah perlu diterapkan supaya topik yang dibahas dapat terperinci. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengujian ketahanan lelah yang dilakukan adalah pengujian fatik dengan metode *fatigue bending*.
2. Material yang digunakan adalah plat baja karbon ASTM A-36.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mampu memecahkan nilai ketahanan lelah pada Baja ASTM A-36.
2. Menginvestigasi dan menganalisis karakteristik permukaan patahan pada Baja ASTM A-36.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dihasilkan dalam penelitian antara lain sebagai berikut.

1. Sebagai kontribusi untuk ilmu pengetahuan di bidang Teknik Mesin.
2. Sebagai referensi ilmiah terhadap karakteristik permukaan patah pada material baja ASTM A-36.
3. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya.

DAFTAR RUJUKAN

- Amiruddin, A., Lubis, F.A. 2018. Analisa Pengujian Lelah Material Tembaga Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan.
- Anderson, T. (2005). Fracture Mechanics Fundamentals and Applications 3rd Edition. Taylor & Francis Group.
- ASME BPVC IX (2019). Welding, Brazing, and Fusing Qualifications. An International Code Two Park Avenue: New York.
- ASME BPVC XII (2019). Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks. An International Code Two Park Avenue: New York.
- Broek D., 1986, *Elementary Engineering Fracture Mekhanics*, Martinus Nijhoff Publisher, Dodrect, Nederland.
- Cabrilo A., & Geric K. (2018). Fracture Mechanic and Charpy Impact Properties of a Crack in Weld Metal, HAZ and Base Metal of Welded Armor Steel. Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, Novi sad 2100, Serbia.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2008). Materials Science and Engineering - An Introduction 8th Edition.
- Callister, W. dan Rethwisch, D. (2008). Materials Science and Engineering An Introduction, Journal of Materials Science. John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1007/BF01184995
- Chandra, H. (2023) Mekanika Retak Kondisi Linear Elastis. Edisi ke-1. Palembang: Unsri Press.
- Chandra, H., Nukman dan Sianturi, B. (2019) Analysis of Fatigue Life and Crack Propagation Characterization of Gray Cast Iron under Normalizing Process, Journal of Physics: Conference Series, 1198(3). doi:10.1088/1742-6596/1198/3/032006.
- Dieter, George E. 1986. Mechanical metallurgy, Jakarta: Erlangga.
- Diharjo, K. (1996). "Karakteristik Laju Perambatan Retak pada Plat Alumunium 6061 T6", Skripsi Teknik Mesin FT UGM, Yogyakarta
- Griffin, H. dan Riessen, V. A. 1991. *Scanning Electron Microscopy Course Notes*. The University of Western Australia, Nedlands, P. 1-8.
- McMullan, D. 1988. Von Ardenne and The Scanning Electron Microscopy. Proc Roy Micrisc. USA. Vol. 23. P. 283-288.
- Nukman. (2013). Petunjuk Praktikum Material Teknik. Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

- Qulub. 2011. Scanning Electron Microscope dan Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy(SEM-EDS)<http://www.Munawirul-q.blogspot.com/2011/031>. Diakses tanggal 23 Desember 2023, pukul 20.00 WIB.
- Reed, S. J. B. 1993. Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology. Cambridge University Press, Florida. P. 23-24.
- Schmieg, S. 2012. Scanning Electron Microscopy. <http://sebastian-schmieg.Blogspot.com/2012/07/scanning-electron-microscopy.html>. Diakses pada tanggal 1 Desember 2023 pukul 20.15 WIB.
- Shirley SL, Hiroomi HOMMA. (2007). Approach to Dynamic Fracture Toughness of GFRP from Aspect of Viscoelastic and Debonding Behaviors, Vol. 1 No 3.
- Soedarmadji W. (2019). Pengujian Impact dan Mikrostruktur Terhadap Baja Per Daun dengan Media Pendingin Oli dan Air. Cyber-Tech Vol, 13, No. 2. Universitas Yudharta Pasuruan.
- Syam B, Kouji Nakazato, and Hiroomi Homma. (1999.). Dynamic Fracture Toughness and Damage Mechanisms of GFRP Subjected to ShortPulse Stress Intensity, Proc. 3rd Internasional Symposium on Impact Engineering, Singapore, pp 172- 177.
- Syam B, Nayan, A, (1999). Klarifikasi Retak Pelat Plaster Disebabkan Beban Impak Menggunakan MSC/Nastran, Proceeding, Regional Seminar on Numerical Analysis in Engeneering (NAE).