



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 184834

**STUDI PENAMBAHAN ALUMINIUM HIDROKSIDA
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI
KOMPOSIT TAHAN API GLASS FIBER
REINFORCED POLYMER UNTUK MATERIAL
INTERIOR KERETA API**

MUHAMMAD LUTFI HIDAYAT
NRP. 0251154000053

Dosen Pembimbing :
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL 184834

**STUDI PENAMBAHAN ALUMINIUM HIDROKSIDA TERHADAP
SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT TAHAN API
GLASS FIBER REINFORCED POLYMER UNTUK MATERIAL
INTERIOR KERETA API**

**MUHAMMAD LUTF HIDAYAT
NRP 0251154000053**

**Dosen Pembimbing:
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**STUDY OF ADDITION ALUMINIUM HYDROXIDE ON
MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF FIRE
RETARDANT GLASS FIBER REINFORCED POLYMER
COMPOSITE FOR INTERIOR DESIGN MATERIALS TRAIN**

**MUHAMMAD LUTFI HIDAYAT
NRP 02511540000053**

Advisors:

**Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Dr. Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

(This page left initially blanked)

**STUDI PENAMBAHAN ALUMINIUM HIDROKSIDA
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI
KOMPOSIT TAHAN API GLASS FIBER REINFORCED
POLYMER UNTUK MATERIAL INTERIOR KERETA API**

TUGAS AKHIR



Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMD LUTFI HIDAYAT
NRP 02511540000053

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Dr. Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc.  (Pembimbing II)



v

v

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI PENAMBAHAN ALUMINIUM HIDROKSIDA TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI KOMPOSIT TAHAN API GLASS FIBER REINFORCED POLYMER UNTUK MATERIAL INTERIOR KERETA API

Nama : Muhammad Lutfi Hidayat
NRP : 0251154000053
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si, Ph.D
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST,
M.Sc.

Abstrak

Industri kereta api juga termasuk perusahaan yang mengembangkan aplikasi komposit pada gerbong kereta api. Aspek keselamatan dan kenyamanan adalah hal utama yang menjadi perhatian Industri kereta api dalam produksi transportasi masal tersebut. Dalam proses produksinya digunakan proses pembuatan komposit untuk perakitan seperti panel interior, front and end mask, kursi penumpang dan rak kabin muatan. Pada proyek kereta dilakukan proses produksi komposit, maka dilakukan proses spesifikasi fire retardant dengan standar ORE B 106.2 metode 1A kelas B untuk meminimalisir kebakaran pada card/gerbong kereta. Standar sifat mekanik dari Industri Kereta Api yaitu kekuatan tarik sebesar minimal 75 N/mm^2 , kekuatan bending minimal 140 N/mm^2 , kekuatan impak minimal $4,5 \text{ J/cm}^2$ dan kekerasan minimal 40 barcol.

Penelitian ini menggunakan komposit GFRP dengan bahan berupa Serat Kaca E-Glass Chopped Strand Mat, Woven Roving, Matriks Poliester Yucalac 157 BQTN-EX, MEKP, dan Cobalt-N. Variasi dilakukan dengan penambahan 0, 2, 4, 6 dan 8%wt Aluminium Hidroksida sebagai bahan penahan api. Komposit dibuat dengan metode hand lay up pada cetakan. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain Scanning Electron

Microscope (SEM), Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FTIR), Uji tarik, Uji kekerasan, Uji dampak, Uji bending dan Uji Fire Retardant.

Hasil dari Pengujian FTIR terjadi penurunan intensitas absorban karena penambahan Aluminium Hidroksida. Secara morfologi dapat dilihat penambahan Aluminium Hidroksida pada komposit memperluas daerah interface, mengurangi void dan atom atom pada serat dan matriks lebih rapat. Secara mekanik mengalami penurunan kekuatan tarik, kekuatan bending dan burning rate. Mengalami peningkatan kekuatan dampak dan kekerasan. Kekuatan Tarik dan kekuatan bending Komposit GFRP memiliki nilai maksimal pada penambahan 0% dengan nilai kekuatan 145.53 MPa dan 212.735 MPa. Burning Rate, kekuatan dampak dan kekerasan memiliki nilai maksimal pada penambahan 8% dengan nilai 68.25 cm²/min, 8.37 mm/menit, 19.911 J/cm² dan 78 Barcol.

Kata Kunci: *Aluminium Hidroksida, Interior Kereta, Mekanik, Morfologi, Poliester.*

STUDY OF ADDITION ALUMINIUM HYDROXIDE ON MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF FIRE RETARDANT GLASS FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITE FOR INTERIOR DESIGN MATERIALS TRAIN

Name : Muhammad Lutfi Hidayat
NRP : 0251154000053
Department : Material Engineering
Advisor : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si, Ph.D
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST,
M.Sc

Abstract

The railroad industry also includes companies that develop composite applications on railroad cars. Aspects of safety and comfort are the main things that concern the railroad industry in mass transportation production. In the production process a composite manufacturing process is used for assembly such as interior panels, front and end masks, passenger seats and cargo cabin racks. In the train project a composite production process is carried out, the fire retardant specification process is carried out with the ORE B 106.2 standard method B class 1A to minimize fire on the train card / carriage. Standard mechanical properties of the Railway Industry are tensile strength of at least 75 N / mm² minimum bending of 140 N / mm², minimum impact strength of 4.5 J / cm² and minimum hardness of 40 barcol.

This study uses GFRP composites with materials such as E-Glass Chopped Strand Mat, Woven Roving, BQTN-EX Yucalac Polyester Matrix, MEKP, and Cobalt-N. Variations were carried out with the addition of 0, 2, 4, 6 and 8% wt of Aluminum Hydroxide as a fire retardant. Composites are made using the hand lay up method on the mold. Tests conducted in this study include Scanning Electron Microscope (SEM), Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FTIR), Tensile Test, Hardness Test, Impact

Test, Bending Test and Fire Retardant Test.

The results of FTIR testing decreased the intensity of absorptions due to the addition of Aluminum Hydroxide. Morphologically, it can be seen that the addition of Aluminum Hydroxide to the composite extends the interface area, reducing the void and atomic atoms in the fiber and matrix more tightly. Mechanically decreases tensile strength, bending strength and burning rate. Experiencing increased impact strength and hardness. Tensile Strength and Bending Strength GFRP composites have a maximum value of 0% with a value of 145.53 MPa and 212,735 MPa. Burning Rate, impact strength and hardness have a maximum value at the addition of 8% with a value of 68.25 cm² / min, 8.37 mm / minute, 19,911 J / cm² and 78 Barcol.

Keywords: Aluminium Hydroxide, Interior Design, Mechanical Properties ,Morphology, Polyester .

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Studi Penambahan Aluminium Hidroksida Dan Magnesium Hidroksida Pada Komposit Tahan Api *Glass Fiber Reinforced Polymer* Untuk Material Interior Kereta Api”**.

Laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi persyaratan studi di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan hingga selesainya penyusunan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi
2. Bapak Dr. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., selaku pembimbing I tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir
3. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc., selaku pembimbing II tugas akhir yang telah membimbing, memberi saran dan arahan serta nasihat dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan tugas akhir ini
4. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen ketua laboratorium Material Inovasi yang memberikan izin pemakaian lab.

Penulis menyadari jika laporan ini masih jauh dari sempurna, adanya saran dan kritik yang membangun dapat memberikan manfaat bagi penulis. Demikian semoga laporan ini dapat memberikan informasi yang memadai bagi pembaca.

Surabaya, 19 Juli 2019

Penulis

Muhammad Lutfi Hidayat

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | v |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | ix |
| KATA PENGANTAR | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Material Komposit..... | 5 |
| 2.1.1 Unsur Penyusun Komposit | 5 |
| 2.1.2 Klasifikasi Komposit..... | 7 |
| 2.2 Matriks | 10 |
| 2.2.1 Resin Poliester | 10 |
| 2.2.2 <i>Methyl Etil Keton Peroxide</i> (MEKP) | 17 |
| 2.2.3 Akselerator | 19 |

| | |
|--|----|
| 2.2.4 Aluminium Hidroksida..... | 19 |
| 2.3 Filler | 22 |
| 2.3.1 <i>Chopped Fiber Glass</i> | 22 |
| 2.3.2 <i>Woven Roving</i> | 24 |
| 2.4 Proses Manufaktur <i>Hand Lay Up</i> | 25 |
| 2.5 Material Interior Pada Kereta Api | 27 |
| 2.6 Proses Terjadinya Kegagalan pada Komposit..... | 29 |
| 2.6.1 <i>Debonding</i> | 29 |
| 2.6.2 <i>Fiber Pull Out</i> | 30 |
| 2.6.3 Delaminasi..... | 31 |
| 2.7 Penelitian Sebelumnya | 31 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 33 |
| 3.2 Bahan Penelitian..... | 34 |
| 3.3 Peralatan Penelitian | 37 |
| 3.4 Variabel Penelitian | 39 |
| 3.5 Prosedur Penelitian..... | 39 |
| 3.6 Pengujian | 42 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Analisis Uji FTIR GFRP | 53 |
| 4.2 Analisis Morfologi SEM pada GFRP | 55 |
| 4.3 Analisis Uji Tarik GFRP | 59 |
| 4.4 Analisis Uji Kekerasan GFRP..... | 61 |

| | |
|--|--------------|
| 4.5 Analisis Uji <i>Bending</i> GFRP | 63 |
| 4.6 Analisis Uji Impak GFRP..... | 65 |
| 4.7 Hasil Uji <i>Fire Retardant</i> GFRP ORE B | 66 |
| 4.8 Hasil Uji <i>Fire Retardant</i> GFRP UL 94 | 69 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 73 |
| 5.2 Saran..... | 73 |
| DAFTAR PUSTAKA | xxiii |
| LAMPIRAN..... | 75 |
| BIODATA PENULIS..... | xxvii |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Bentuk Serat Komposit | 6 |
| Gambar 2.2 <i>Reinforcement</i> Komposit | 6 |
| Gambar 2.3 Klasifikasi Komposit Jenis Matriks | 7 |
| Gambar 2.4 Klasifikasi Komposit Penguat | 8 |
| Gambar 2.5 Parameter Fiber pada Komposit | 9 |
| Gambar 2.6 Hibrid Komposit | 10 |
| Gambar 2.7 Komposisi Kimia Asam <i>Polycarboxylic</i> | 11 |
| Gambar 2.8 Struktur <i>Polyester</i> | 12 |
| Gambar 2.9 Stabilitas Temperatur Poliester | 13 |
| Gambar 2.10 Molekul Tetrabromo, Tetrachloro Chlorendic | 15 |
| Gambar 2.11 Proses <i>Curing</i> Resin..... | 18 |
| Gambar 2.12 Reaksi <i>Crosslink</i> Poliester dan Katalis | 19 |
| Gambar 2.13 Reaksi ATH | 20 |
| Gambar 2.14 EDX Aluminium Hidroksida | 21 |
| Gambar 2.15 Mikrografi Material GFRP <i>Chopped</i> | 23 |
| Gambar 2.16 Mikrografi Material GFRP <i>Woven</i> | 25 |
| Gambar 2.17 <i>Hand Lay Up</i> | 26 |
| Gambar 2.18 <i>Hand Lay Up Process</i> | 27 |
| Gambar 2.19 Aplikasi GFRP | 29 |
| Gambar 2.20 <i>Debonding</i> | 30 |
| Gambar 2.21 <i>Fiber Pull Out</i> | 30 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir | 33 |
| Gambar 3.2 Poliester Tipe BTQN EX | 34 |
| Gambar 3.3 <i>Methyl Etil Keton Peroxide</i> | 35 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.4 Cobalt Cair N | 35 |
| Gambar 3.5 Serat <i>Woven Roving</i> | 36 |
| Gambar 3.6 Serat <i>Chopped</i> | 36 |
| Gambar 3.7 Wax | 37 |
| Gambar 3.8 Aluminium Hidroksida | 37 |
| Gambar 3.9 Pencampuran Matriks <i>Manual</i> | 40 |
| Gambar 3.10 Cetakan dan Wax | 40 |
| Gambar 3.11 <i>Hand Lay Up</i> | 41 |
| Gambar 3.12 Proses <i>Quick Curing</i> | 41 |
| Gambar 3.13 Spesimen Komposit | 42 |
| Gambar 3.14 Mesin Uji SEM | 43 |
| Gambar 3.15 Alat Uji FTIR..... | 44 |
| Gambar 3.16 Dimensi Spesimen Uji Tarik..... | 45 |
| Gambar 3.17 Kurva Tegangan Regangan..... | 46 |
| Gambar 3.18 Alat Uji Tarik..... | 46 |
| Gambar 3.19 Alat Uji Kekerasan..... | 47 |
| Gambar 3.20 Alat Uji <i>Bending</i> | 48 |
| Gambar 3.21 Alat Uji Impak | 49 |
| Gambar 3.22 Alat Uji <i>Fire Retardant</i> | 50 |
| Gambar 3.23 Skema Uji <i>Fire Retardant</i> | 51 |
| Gambar 4.1 Spektra FTIR GFRP..... | 53 |
| Gambar 4.2 Bentuk Patahan Spesimen Uji Tarik | 55 |
| Gambar 4.3 Mikrografi SEM Material Penambahan 0% | 56 |
| Gambar 4.4 Mikrografi SEM Perbesaran 1500x | 57 |
| Gambar 4.5 Mikrografi SEM Perbesaran 500x | 59 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.6 Sifat Tarik Komposit GFRP..... | 60 |
| Gambar 4.7 Sifat Kekerasan Komposit GFRP | 62 |
| Gambar 4.8 Kekuatan Bending GFRP..... | 63 |
| Gambar 4.9 Modulus Bending GFRP | 64 |
| Gambar 4.10 Kekuatan Impak GFRP | 66 |
| Gambar 4.11 Pengujian Ketahanan Bakar Ore B | 67 |
| Gambar 4.12 <i>Burning Rate</i> Ore B | 68 |
| Gambar 4.13 Pengujian Ketahanan Bakar UL94..... | 69 |
| Gambar 4.14 <i>Time Ignition</i> UL94 | 70 |
| Gambar 4.15 <i>Burning Rate</i> UL94 | 71 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Raw Material Poliester | 14 |
| Tabel 2.2 Karakteristik Resin Poliester | 16 |
| Tabel 2.3 Sifat Aluminium Hidroksida | 21 |
| Tabel 2.4 Spesifikasi Teknis <i>Chopped</i> 300 | 23 |
| Tabel 2.5 Spesifikasi Teknis <i>Chopped</i> 450 | 23 |
| Tabel 2.6 Spesifikasi Teknis <i>Woven Roving</i> 300..... | 24 |
| Tabel 2.7 Spesifikasi Teknis <i>Woven Roving</i> 600..... | 24 |
| Tabel 2.8 Perbandingan Sifat Mekanik Resin | 28 |
| Tabel 2.9 Perbandingan Sifat Mekanik Serat | 28 |
| Tabel 2.10 Spesifikasi Teknis PT Inka | 29 |
| Tabel 3.1 Kriteria Dimensi Uji Tarik | 45 |
| Tabel 3.2 Standar Spesimen D 256..... | 48 |
| Tabel 4.1 Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan..... | 54 |
| Tabel 4.2 Peak FTIR pada Aluminium Hidroksida | 54 |
| Tabel 4.3 Kekuatan Tarik GFRP | 60 |
| Tabel 4.4 Kekerasan GFRP | 61 |
| Tabel 4.5 Kekuatan Lentur dan Modulus GFRP | 63 |
| Tabel 4.6 Kekuatan Impak GFRP | 65 |
| Tabel 4.7 <i>Burning Rate</i> GFRP ORE | 68 |
| Tabel 4.8 <i>Time Ignition Burning Rate</i> GFRP UL 94 | 70 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri telah mendorong peningkatan dalam permintaan terhadap material komposit. Perkembangan bidang ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri mulai menyulitkan bahan konvensional seperti logam untuk memenuhi keperluan aplikasi baru. Industri pembuatan pesawat terbang, perkapalan, mobil dan industri pengangkutan merupakan contoh industri yang sekarang mengaplikasikan bahan-bahan yang memiliki sifat berdensitas rendah, tahan karat, kuat, tahan terhadap keausan dan *fatigue* serta ekonomis sebagai bahan baku industrinya (Yudho, 2008). Material Komposit adalah kombinasi makroskopis dari dua atau lebih bahan berbeda. Komposit digunakan tidak hanya untuk sifat strukturalnya, tetapi juga untuk listrik, termal, *tribological*, dan aplikasi lingkungan. Bahan komposit modern biasanya dioptimalkan untuk mencapai tertentu keseimbangan properti untuk berbagai aplikasi tertentu (Kurtz, 1998).

Penggunaan material komposit dengan penguat serat yang mulai banyak dikenal dan terus menerus mengalami perkembangan mendorong para ilmuwan untuk mendalaminya agar dapat diproduksi secara massal pada industri manufaktur. Keunggulan dari komposit yang ringan, kuat, tahan terhadap korosi dan mampu bersaing dengan logam cepat diserap oleh industri otomotif, militer, alat olahraga, kedokteran, bahkan peralatan rumah tangga (Nayiroh, 2013)

Industri Kereta Api juga termasuk perusahaan yang mengembangkan aplikasi komposit pada gerbong kereta api, telah mampu mengaplikasikan komposit *glass fiber reinforced polyester* (GFRP) untuk *front end* KRLI dan *mask* KRL-Nas. Aplikasi dari GFRP telah meluas penggunaannya pada industri pembuatan pesawat terbang, kereta api, dan mobil. Namun dibandingkan dengan penggunaan serat alam, komposit serat gelas mengalami

kekurangan karena tidak ramah lingkungan pada limbahnya yang tidak dapat terurai (Abdullah, 2000).

Aspek keselamatan dan kenyamanan adalah hal utama yang menjadi perhatian Industri Kereta Api dalam produksi transportasi masal tersebut. Dalam proses produksinya digunakan proses pembuatan komposit untuk perakitan seperti panel interior, *front and end mask*, kursi penumpang dan rak kabin muatan. Pada proyek kereta di Industri Kereta Api setelah dilakukan proses produksi komposit, maka dilakukan proses spesifikasi *fire retardant* dengan standar ORE B. 106.2 metode 1A kelas B untuk meminimalisir kebakaran pada card/gerbong kereta api. Standar sifat mekanik dari PT Inka Persero yaitu kekuatan tarik sebesar minimal 75 N/mm^2 , kekuatan bending minimal 140 N/mm^2 , kekuatan impak minimal $4,5 \text{ J/cm}^2$ dan kekerasan minimal 40 barcol (Inka, 2010)

Aluminium Hidroksida dikenal dengan ATH memiliki biaya rendah, manfaat lain dari ATH juga termasuk tidak berbau, mudah ditangani, tidak beracun, lembam secara kimia dan tidak mudah menguap. Ketika komposit yang diisi dengan ATH sedang dipanaskan dan kemudian dibakar, ATH dapat menyerap panas yang sedang diaplikasikan padanya. Panas yang diserap tersebar secara seragam dalam partikel ATH dan mengurangi laju pemanasan komposit. Dekomposisi ATH akan membentuk alumina dan uap air. Kemampuan ATH untuk mengencerkan gas yang mudah terbakar dan memperlambat api (Norzali, 2010). Penambahan Aluminium Hidroksida menyebabkan terjadi transfer muatan serbuk terhadap serat sehingga fungsi serat kurang optimal sehingga terjadi ikatan yang kurang antara serbuk dan penarikan serat sehingga menurunkan sifat tensile dan bending pada GFRP. Sedangkan semakin banyak *flame retardant* yang akan menjadi komposit di matriks (reza, 2013). Aluminium Hidroksida akan mengambil sejumlah panas pada saat pembakaran, melepaskan uap air dan menekan asap (Hiremath, 2016).

Pada Penelitian sebelumnya material yang digunakan hanya *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* untuk aplikasi interior

kereta api dan juga serat alam berpenguat polimer untuk aplikasi industri. Diperlukan studi baru untuk meningkatkan sifat mekanik bahan interior untuk kereta api serta sifat lainnya. Untuk lebih meningkatkan sifat mekaniknya juga sifat – sifat lainnya pada material tersebut maka diperlukan studi penambahan aluminium hidroksida terhadap sifat mekanik dan morfologi komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* untuk material interior kereta api.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana Pengaruh penambahan aluminium hidroksida terhadap sifat mekanik komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer* untuk interior kereta api ?
2. Bagaimana Pengaruh penambahan aluminium hidroksida terhadap morfologi komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer* untuk interior kereta api?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengaruh cacat pada bahan diabaikan
2. Proses pengujian dan karakterisasi dianggap sama
3. Pencampuran komponen dianggap homogen

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis Pengaruh Pengaruh penambahan aluminium hidroksida terhadap sifat mekanik komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer* untuk interior kereta api
2. Menganalisis Pengaruh penambahan aluminium hidroksida terhadap morfologi komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer* untuk interior kereta api

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan aluminium hidroksida terhadap sifat mekanik dan morfologi komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* untuk interior kereta api. Sehingga dapat diketahui penambahan dari aluminium hidroksida sebagai campuran komposit untuk meningkatkan sifat mekanik dan fire retardant untuk aplikasi material interior kereta api. Hal ini juga berguna untuk acuan pada penelitian selanjutnya terhadap pengembangan material.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Material komposit dapat didefinisikan sebagai perpaduan antara dua material atau lebih untuk mendapatkan sifat yang lebih baik dari material penyusunnya ketika berdiri sendiri. Lain halnya dengan paduan logam, material penyusun pada komposit ini tetap mempertahankan masing-masing sifat kimiawi, fisik, maupun mekaniknya satu sama lain. Dengan Penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik dari material-material tersebut (Campbell, 2010).

Komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat sebagai pengisi (*filler*) dan bahan pengikat serat yang disebut matrik. Tipe material ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan dan banyak dimanfaatkan sebagai aplikasi pengganti logam, bahan bangunan, komponen otomotif, penahan panas, penyerap suara, dan lain-lain (Sigit, 2016).

2.1.1 Unsur Penyusun Komposit

Material komposit memiliki penyusun:

1. Matriks

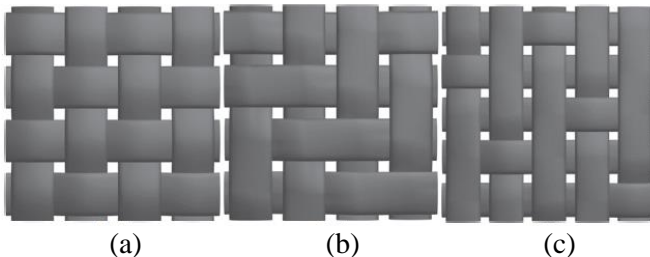
Matriks merupakan fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau *reinforced* bersama-sama. Matriks merupakan kontituen penyusun komposit yang berperan sebagai pengikat atau penyangga yang menjaga kedudukan antar fasa penguat. Karakteristik yang harus dimiliki matriks umumnya adalah ulet, kekuatan dan rigiditas rendah apabila dibandingkan penguat. Matriks harus mampu membeku pada temperatur dan tekanan yang wajar. Bahan matriks yang umum digunakan pada komposit adalah matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik.

2. Reinforcement atau Penguat

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

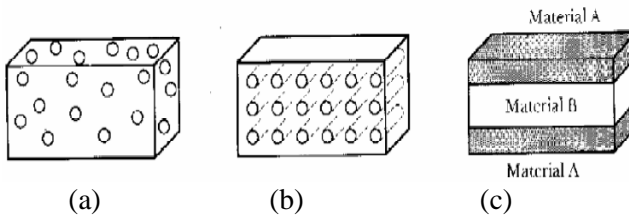
a. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel (Gambar 2.2 (a.)

b. *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat (Gambar 2.1 & Gambar 2.2 (b.))



Gambar 2. 1 Bentuk Serat Komposit (a.) Plain (b.) Twill (c.) Satin (Rana, 2016).

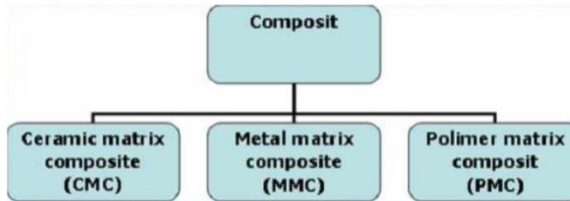
c. *Structural composite*, cara penggabungan material komposit (Gambar 2.2 (c.))



Gambar 2. 2 Reinforcement Komposit (a.) Partikel (b.) Serat (c.) Struktur (Nayiroh, 2013).

2.1.2 Klasifikasi Komposit

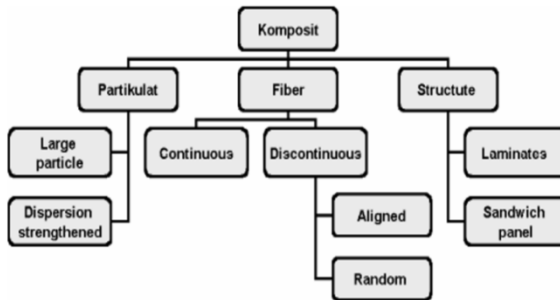
Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dapat diklasifikasikan seperti Gambar 2. 3 berikut:



Gambar 2. 3 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Matriks (Nayiroh, 2013).

- a. *Polymer Matrix Composite (PMC)*
Komposit jenis ini menggunakan polimer sebagai matriksnya, dengan *fibres* sebagai *reinforced*.
- b. *Metal Matrix Composite (MMC)*
Komposit jenis ini menggunakan logam yang ulet sebagai matriksnya. Material ini dimanfaatkan pada temperatur yang lebih tinggi. Beberapa keunggulannya dibanding PMC yaitu temperatur operasinya yang lebih tinggi, *nonflammable*, dan juga lebih tahan akan degradasi oleh fluida organik.
- c. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*
Komposit jenis ini menggunakan keramik sebagai matriksnya. Secara inheren tahan terhadap oksidasi dan juga kerusakan pada temperatur tinggi. Jenis komposit ini sangat cocok untuk digunakan pada temperatur tinggi dan juga untuk aplikasi yang mengalami severe-stress, seperti komponen mobil dan juga turbin gas.

Selain itu, komposit juga dapat dibedakan berdasarkan jenis penguatnya pada Gambar 2. 4 sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Penguat
(Nayiroh, 2013)

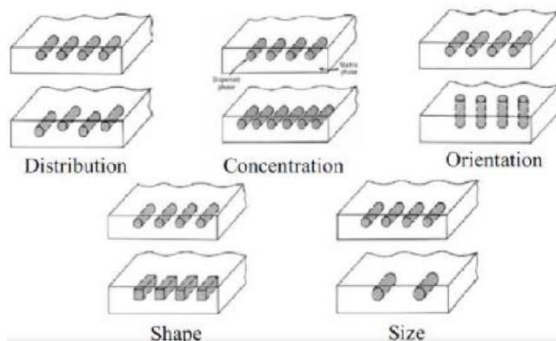
a. *Particulate Composite*

Menggunakan penguat berbentuk partikel. Peran partikel dalam komposit partikel adalah membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastik matriks yang ada di sela-sela partikel. Beberapa jenis partikel dapat dibagi menjadi seperti di bawah ini:

- i. Partikulat
Aspek rasio panjang terhadap diameter kurang dari 5 mikrometer.
- ii. Dispersoidal
Sama seperti partikulat, bahkan diameter kurang dari 1 mikrometer.
- iii. Platelet
Berbentuk plat dengan rasio diameter terhadap ketebalan lebih besar dari 2 mikrometer.
- iv. Fiber pendek (Mat)
Berbentuk silinder dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 5 mikrometer.
- v. *Whiskers*
Berupa kristal tunggal yang memanjang, dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 10 mikrometer (Sulistijono, 2012).

b. *Fiber Composite*

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Adapun parameter serat pada komposit, yaitu: Distribusi, Konsentrasi, Orientasi, Bentuk, dan Ukuran. Parameter serat pada komposit dapat digambarkan seperti Gambar 2.5 sebagai berikut:



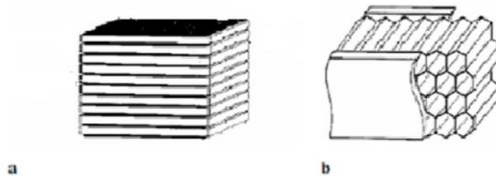
Gambar 2. 5 Parameter Fiber Pada Komposit (Calister, 2001).

c. *Hybrid Composite*

Komposit hasil dari hibridisasi yang menggunakan dua atau lebih jenis bahan yang berbeda untuk meningkatkan sifat mekanis maupun kimia dari komposit dengan memperbaiki kekurangan dari bahan yang lain. Komposit jenis ini biasanya terdiri dari material homogen, dimana sifatnya tak hanya bergantung pada konstituen materianya saja, namun juga bergantung pada desain geometrinya dari struktur elemen (Fajar, 2018). Jenis ini dapat

dibagi lagi menjadi:

- i. *Laminar Composite*
Terdiri dari two-dimensional *sheet* yang memiliki arah *high-strength* seperti yang ditemukan pada kayu. Lapisan ditumpuk dan kemudian ditempel secara bersamaan sehingga orientasi arah *high-strength* nya bervariasi.
- ii. *Sandwich Panels*



Gambar 2. 6 Hibrid Komposit a. *Laminate* b. *Sandwich Panels*
(Calister, 2001).

Pada Gambar 2.6 *sandwich panels* terdiri dari dua lembar luar yang kuat, atau wajah, dipisahkan oleh lapisan bahan yang kurang padat, atau inti, yang memiliki kekakuan yang lebih rendah dan kekuatan yang lebih rendah. Bagian wajah menanggung sebagian besar *in-plane loading*, dan juga *bending stress* yang melintang (Calister, 2001).

2.2 Matriks

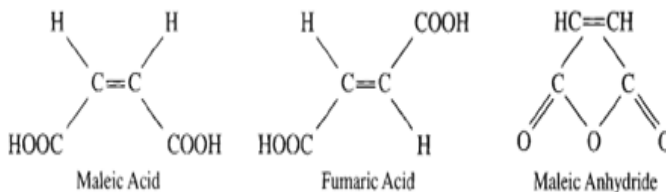
Adapun matriks yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

2.2.1 Resin *Unsaturated Polyester*

Sejak 1930, resin poliester tak jenuh telah digunakan untuk berbagai aplikasi sistem *thermosetting* sangat penting. Resin ini mengandung pengisi bervariasi, katalis dan dengan menggunakan inisiator radikal bebas untuk menghasilkan barang *termoset* yang memiliki berbagai sifat kimia dan mekanik tergantung pada pilihan diasid, diol, agen penghubung silang, inisiator dan zat tambahan lainnya (Boenig, 1970).

Unsaturated polyesters (poliester tidak jenuh) adalah kondensasi dari polymer yang terbentuk dari reaksi antara poliols dan asam *polycarboxylic* dengan ketidak jenuhan olefinik yang disebabkan oleh salah satu reaktan, biasanya asam Poliols dan asam *polycarboxylic* biasanya merupakan difunctional alcohol (*glycol*) dan difungsional asam seperti phtialic dan maleic / fumaric (Oscar, 2006).

Maleic anhydride diperoleh dengan cara melakukan pencampuran uap benzene dengan udara menggunakan katalis (*e.g. vanadium*) pada temperature tinggi (450 °C). Sedangkan *fumaric*, yang merupakan trans isomer dari *maleic*, dapat diperoleh dengan memberikan perlakuan panas terhadap asam *maleic*, dengan atau tanpa katalis. Asam *fumaric* terkadang lebih dipilih sebagai material pembentuk *unsaturated polyester* karena penggunaannya menyebabkan resin menjadi lebih tahan korosi, lebih terang dan ketahanan panas meningkat cukup signifikan (ASM, 2003).

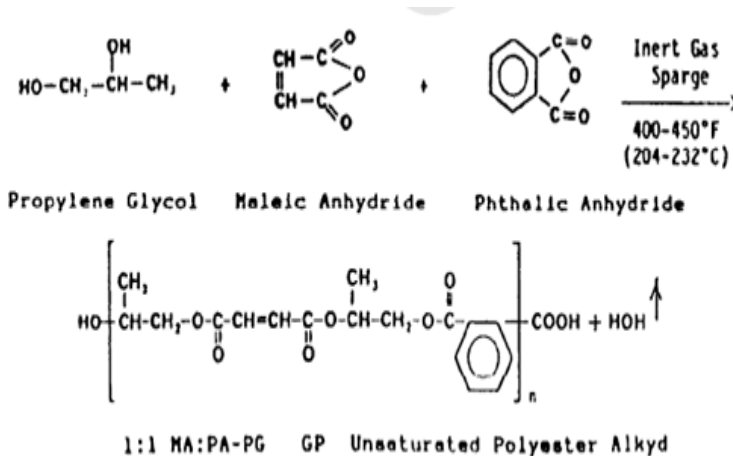


Gambar 2. 7 Komposisi Kimia Asam *Polycarboxylic* (Barker, 1984).

Struktur Kimia Unsaturated Poliester

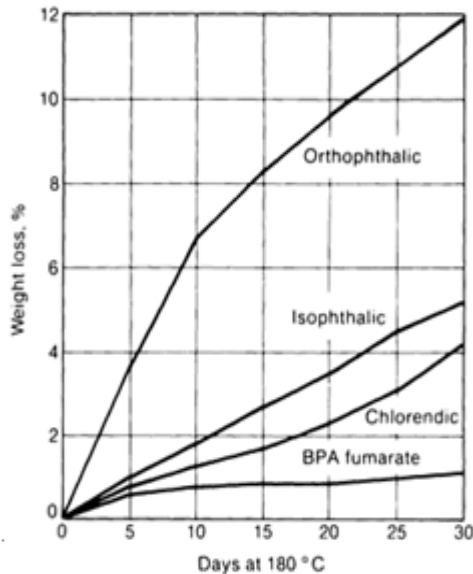
Polyesterifikasi adalah reaksi yang paling penting dalam mempersiapkan *unsaturated polyester*, disamping reaksi lain yang juga memiliki pengaruh. Hal ini telah di sebutkan oleh E.E. Parker adalah isomerization dari *maleate* menjadi *fumarate*, penambahan *glycol* kepada ikatan rangkap *maleate* dan *fumarate*, oksidasi untuk memutuskan ikatan rangkap dan hilangnya *glycol*.

Ilustrasi dari struktur kimia poliester tidak jenuh dapat dilihat dari gambar dibawah yang merupakan representasi dari sintesis dari *glycol*, *maleic anhydride* dan *phthalic anhydride polyester*.



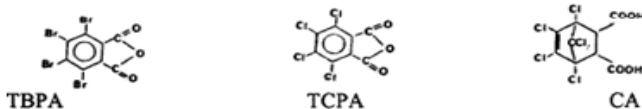
Gambar 2. 8 Struktur *Polyester* (Oscar, 2006).

Resin Poliester biasanya digunakan pada aplikasi temperature yang tinggi, terutama pada aplikasi elektrik dan ketahanan korosi. Pada temperatur diatas 150 °C polymer mulai terdisosiasi secara kimia, temperatur dimana hal ini terjadi tergantung dari komposisi dan struktur dari poliester yang digunakan. Tanpa menghiraukan komposisi, pada temperatur mendekati 300 °C, Poliester yang telah curing akan mengalami dekomposisi secara spontan. Material poliester isophthalic dengan berat molekul yang tinggi seperti PET (*polyethylene terephthalic*), bisa memiliki performa yang sangat baik dalam aplikasi thermal jika diformulasikan dengan baik (Gambar 2.9).



Gambar 2. 9 Stabilitas Temperatur Poliester Pada 180°C (ASM, 2003)

Penggunaan *flame retardance* juga bisa di lakukan pada poliester tidak jenuh, dengan menggunakan halogenasi menengah pada saat reaksi. Halogen yang digunakan biasanya *chlorine* atau *bromine*. Bagian dari asam jenuh pada poliester tidak jenuh bisa digantikan dengan *tetrabromophthalic anhydride* (TBPA), *tetrachlorophthalic anhydride* (TCPA) atau *chlorendic acid* (CA) (Oscar, 2006).



Gambar 2. 10 Molekul *Tetrabromo, Tetrachloro* atau *Chlorendic* (Oscar, 2006)

Selain dari hasil sintesis diatas, poliester juga dapat disintesis dari berbagai macam glikol dan asam lainnya, berikut ini adalah daftar dari raw material yang biasa digunakan sebagai bahan sintesa poliester. serta tujuan dari penggunaan bahan tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut

Tabel 2. 1 *Raw Material* Poliester (Goodman, 1999).

| <i>Raw Material</i> | Sifat |
|--|------------------------------|
| <i>Glycols</i> | |
| <i>Propylene Glycol (PG)</i> | Murah,kompabilitas |
| <i>Ethylene Glycol (EG)</i> | Murah,rigid |
| <i>Dipropylene Glycol (DPG)</i> | Fleksibel,tangguh |
| <i>Diethylene Glycol (DEG)</i> | Fleksibel,tangguh |
| <i>Neopentyl Glycol (NPG)</i> | UV,tahan air dan bahan kimia |
| <i>Trimethylpentanediol (TMPD)</i> | Tahan air dan bahan kimia |
| <i>Cyclohexane Dimethanol (CHDM)</i> | Sifat listrik tinggi |
| <i>Propoqlated Bisphenol A (PBPA)</i> | Tahan air dan bahan kimia |
| <i>Hydrogenated Bisphenol A (HBPA)</i> | Tahan air dan bahan kimia |
| <i>Dibromoneopentyl Glycol (DBNPG)</i> | Tahan bakar |

| <i>Acids</i> | Sifat |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Phthalic Anhydride (PA)</i> | Murah, strene kompabilitas |
| <i>Maleic Anhydride (MA)</i> | Murah dan tak jenuh |
| <i>Adipic Acid (AA)</i> | Fleksibel,tangguh |
| <i>Isophalic Acid (IPA)</i> | Tangguh,tahan air dan bahan kimia |
| <i>Terephthalic Acid (TPA)</i> | Titik defleksi panas tinggi |
| <i>Fumaric Acid (FA)</i> | Maksimum reaktif tak jenuh |
| <i>Glutaric Acid</i> | Fleksibel,tangguh |
| <i>Dimer Acids</i> | Fleksibel,tangguh |
| <i>Azelaic Acid</i> | Fleksibel,tangguh |
| <i>Chlorendic Acid</i> | Tahan api dan bahan kimia |
| <i>Tetrabromophthalic Anhydride</i> | Tahan api dan bahan kimia |
| <i>Tetrachlorophthalic Anhydride</i> | Tahan api dan bahan kimia |

Resin poliester biasanya ditambahkan penguat (*reinforced*) berupa serat. Serat yang digunakan sebagai penguat adalah bias berupa serat gelas, serat alam, serat karbon dan berbagai serat lainnya. Karena sifatnya yang polar, hampir semua jenis serat bisa dikombinasikan dengan resin poliester.

Penambahan *filler / fiber* pada resin poliester dilakukan dengan berbagai macam alasan, namun secara umum penambahan

fiber pada material komposit dengan matrik resin poliester bertujuan:

1. Mengurangi Biaya dari proses *moulding*/ pencetakan
2. Untuk memfasilitasi proses *moulding* / pencetakan
3. Untuk memberikan sifat – sifat mekanik tertentu pada material yang ingin dibuat

Penambahan *filler* untuk material komposit ini bisa dilakukan dengan kuantitas yang bervariasi bahkan hingga 60% dari berat resin, walaupun penambahan persentase akan berakibat pada *tensile strength* dan *flexural strength* material komposit. Penambahan *filler* bisa juga dilakukan untuk meningkatkan ketahanan terhadap api dari laminate (Charless, 2000).

Tabel 2. 2 Karakteristik Resin Poliester (Charless, 2000)

| Produk Spesifikasi | Nilai |
|-------------------------------------|--------------|
| Titik Flash | 89 |
| Kadaluarsa,bulan | 3 |
| <i>Spesific gravity</i> | 1,1-1,2 |
| Massa,lb | 9,15-10 |
| Viskositas | 650-850 |
| Waktu gel 150-190 Farenheit, min | 4-7 |
| % <i>Monomer strene</i> | 31-35 |
| 190 Farenheit ke eksoterm,min | 1-3 |
| Titik Eksotermis,Farenheit | 385-425 |
| Warna | Bening,Ungu |
| Barcol Hardness (D2583) | 47 |
| Defleksi panas (D 648) | 87 |
| Kuat Tarik,MPa(D638) | 80 |
| Modulus Tarik,MPa (D638) | 512 |
| Kuat Lentur,MPa(D790) | 135 |
| Modulus lentur,MPa(D790) | 600 |
| Kuat Kompresi (D695) | 22 |
| Elongasi Tarik %(D638) | 1,5 |

2.2.2 Katalis Methylethyl Ketone Peroxide

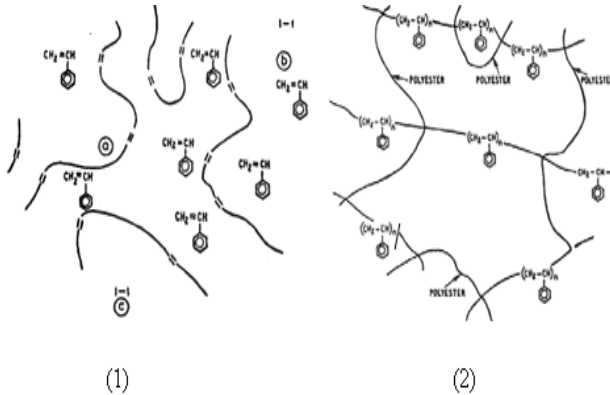
Suatu zat (biasa disebut sebagai katalis) ditambahkan ke resin poliester dengan jumlah tertentu untuk memungkinkan poliester untuk *curing* (pengerasan). Ukur secara akurat dan aduk menjadi resin secara menyeluruh. Pentingnya katalisasi yang tepat tidak dapat terlalu ditekankan. Keadaan berlebih atau di bawah katalisasi akan menyebabkan berbagai masalah.

Metil etil keton peroksida (MEKP) adalah peroksida organik, tingkat eksplosif tinggi yang mirip dengan peroksida aseton. MEKP adalah cairan tak berwarna, berminyak sedangkan aseton peroksida adalah bubuk putih pada STP. MEKP sedikit kurang sensitif terhadap tekanan dan suhu, dan lebih stabil dalam penyimpanan.

MEKP digunakan dalam industri sebagai katalis yang memulai ikatan silang resin poliester tak jenuh yang digunakan dalam *fiberglass*, dan *casting*. Untuk aplikasi ini, MEKP dilarutkan dalam *dimethyl phthalate*, *cyclohexane peroxide*, atau *diallyl phthalate* untuk mengurangi kepekaan terhadap kejutan. Benzoil peroksida dapat digunakan untuk tujuan yang sama. MEKP dapat menyebabkan iritan kulit yang parah dan kerusakan korosif atau kebutaan progresif (Parker, 1959).

Mekanisme *Curing*

Secara umum inti dari mekanisme curing material termoset adalah bagaimana *crosslink* bisa terjadi. Reaksi *crosslink* pada poliester tidak jenuh diharapkan bisa terjadi saat resin telah dimasukkan dalam cetakan atau telah berinteraksi dengan serat dalam material komposit. Pada aplikasinya *curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100 °C) seperti pada proses *pressure moulding* atau pada temperatur ruang pada proses *hand lay-up*.



Gambar 2. 11 Peristiwa *Curing* pada Resin (1) Sebelum *curing* (2) Sesudah *curing* (Brydson, 1999)

Keterangan : (a) *Low molecular weight unsaturated polyester*
(b) *Reactive diluent (styrene) molecule* (c) *Initiator (catalyst) molecule*

Agar *curing* dapat terjadi maka poliester tidak jenuh harus ditambahkan katalis. Untuk proses pada temperatur tinggi biasanya sering digunakan katalis Benzoiil Peroksida, biasanya dalam bentuk pasta peroksida (<50%) yang terlarut pada larutan cair seperti *dimetil phthalate*. Waktu yang dibutuhkan pada proses *curing* dengan *pressure moulding* kurang dari lima menit. Sedang untuk proses pada temperatur ruang katalis yang sering digunakan adalah Metil Etil Keton Peroksida (MEKPo). Peroksida sebagai katalis digunakan pada proses *curing* temperatur ruang biasanya ditambahkan dengan senyawa kobalt seperti *naphthenate*, *octoate* atau larutan organik sabun (*organic solvent-soluble soap*) lainnya sebagai akselerator. MEKPo adalah campuran dari berbagai senyawa yang biasanya tersedia di dalam bentuk 60 % peroksida cair yang dicampurkan kedalam *dimetil phthalate*.

Penambahan katalis kemudian menghasilkan reaksi yang melibatkan radikal bebas dari katalis yang berikatan dengan hidrogen pada rantai polyester, sehingga menghasilkan rantai

dekomposisi yang relatif rendah, yang membatasi suhu pemrosesan maksimum polimer biasanya digunakan dalam poliolefin untuk aplikasi kawat .

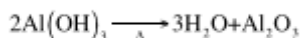
b. Pengenceran fase gas

Gas inert (paling sering karbon dioksida dan air) diproduksi oleh degradasi termal beberapa bahan. Gas ini bertindak sebagai pengencer gas yang mudah terbakar, menurunkan tekanan parsial dan tekanan parsial oksigen, dan memperlambat laju reaksi.

c. Pendinginan radikal fasa gas

Bahan hasil klorinasi dan brominasi mengalami degradasi termal dan melepaskan hidrogen klorida dan hidrogen bromida. Reaksi serupa juga terjadi saat bahan retardant digunakan dengan tambahan seperti antimon trioksida, antimon halida. Saat bahan ini bereaksi dengan molekul radikal H· dan OH· yang sangat reaktif dalam nyala api, akan menghasilkan molekul yang tidak aktif dan radikal Cl· atau Br·. Radikal halogen jauh lebih reaktif dibandingkan dengan H· atau OH·, dan karenanya memiliki potensi yang jauh lebih rendah untuk menyebarkan reaksi oksidasi radikal dari pembakaran (G.Camino, 1991).

Aluminium trihydroxide (ATH) yang juga dikenal sebagai aluminium hidroksida memiliki struktur molekul Al (OH)₃. Selain biaya rendah, manfaat lain dari ATH juga termasuk tidak berbau, mudah ditangani, tidak beracun, lembam secara kimia dan tidak mudah menguap. Ketika komposit yang diisi dengan ATH sedang dipanaskan dan kemudian dibakar, ATH dapat menyerap panas yang sedang diaplikasikan padanya. Panas yang diserap tersebar secara seragam dalam partikel ATH dan mengurangi laju pemanasan komposit. Dekomposisi ATH akan membentuk alumina dan uap air sebagai berikut:



Gambar 2.13 Reaksi ATH

Ini adalah reaksi endotermik dengan panas yang diserap 1,97 kJg-

1. Uap air yang dihasilkan selama reaksi akan melarutkan setiap substansi gas yang mudah terbakar, berevolusi. Karena kemampuannya untuk mengencerkan gas yang mudah terbakar dan memperlambat api (Norzali, 2010).

Tabel 2. 3 Sifat Aluminium Hidroksida (Mark, 2015)

| Sifat | ATH |
|---------------------------------|-----------|
| Spesifik Gravitasi | 2.42 |
| Kekerasan Mohs | 2 |
| Indeks bias | 1.57 |
| Kandungan Air,% | 34.6 |
| Temperatur Awal Dekomposisi, °C | 230 |
| Entalpi Dekomposisi | 280 cal/g |

Menurut (Zainuri, 2006) Aluminium sebagai filler membentuk lapisan oksida pada komposit ditunjukkan dengan Gambar 2.14



| Daerah 1 | |
|----------|-----------|
| O | 12,4 wt% |
| Al | 81,77 wt% |
| Si | 5,83 wt% |
| Daerah 2 | |
| O | 25,21 wt% |
| Al | 61,28 wt% |
| Si | 13,51 wt% |
| Daerah 3 | |
| O | 17,21 wt% |
| Al | 76,81 wt% |
| Si | 5,98 wt% |

Gambar 2.14 EDX Aluminium Hidroksida (Zainuri, 2006)

Secara kuantitatif SiO dan Al sebagai penguat dari komposit pada Gambar 4.7 terdapat kesesuaian data yang menunjukkan bahwa partikulat pada komposit merupakan Aluminium Hidroksida. Jika dianalisis dari komposisi tersebut, dapat diduga bahwa pada zona tersebut terbentuk fasa baru (Al_2O_3) meskipun sangat sedikit. Kehadiran fasa baru tersebut, diduga terjadi pada saat proses pencampuran (*mixing*) atau pemanasan (Zainuri, 2006).

2.3 Filler

Fiberglass adalah sebuah komposit yang terdiri dari serat kaca, kontinu atau diskontinu yang terkandung dalam matriks polimer; jenis komposit ini diproduksi dalam jumlah besar. Komposisi kaca yang paling sering digunakan adalah serat (kadang-kadang disebut sebagai *E-glass*) serat diameter biasanya berkisar antara 3 dan 20 μm . Kaca populer sebagai penguat serat material untuk beberapa alasan:

1. Mudah ditarik ke serat kekuatan tinggi dari keadaan cair.
2. Sudah tersedia dan dapat dibuat menjadi plastik yang diperkuat dengan kaca secara ekonomis menggunakan berbagai teknik manufaktur komposit.
3. Sebagai serat itu relatif kuat, dan ketika tertanam dalam matriks plastik, itu menghasilkan komposit yang memiliki kekuatan spesifik yang sangat tinggi.
4. Ketika digabungkan dengan berbagai plastik, ia memiliki kelembaman kimia itu membuat komposit berguna dalam berbagai lingkungan korosif (Calister, 2001).

2.3.1 Chopped Fiber Glass

Chopped Strand Mat (CSM), dalam pemakaian industri sering disebut mat atau matto, berupa potongan-potongan serat fiberglass dengan panjang sekitar 50 mm yang disusun secara acak dan dibentuk menjadi satu lembar. Jenis ini merupakan serat penguat dengan konfigurasi serat acak dan merupakan serat penguat tidak terus, serat penguat yang digunakan yaitu *E-glass*.

Pada proses pembuatan laminasi perbandingan antara berat serat dengan resin sekitar 25 - 35% dan 65 - 75% resin poliester. Laminasi *chopped strand mat* ini biasanya digunakan lapisan pengikat antara agar tidak mudah terkelupas maupun selip pada proses laminasi awal dan akhir dengan tujuan bagian sisi tersebut menjadi rata. Dalam pemakaian sehari-hari dan umum digunakan untuk bangunan kapal, serat *chopped strand mat* terdiri dari:

(1) *Chopped strand mat* 300 gram/m³ (mat 300) dengan data teknis pada Tabel 2.4:

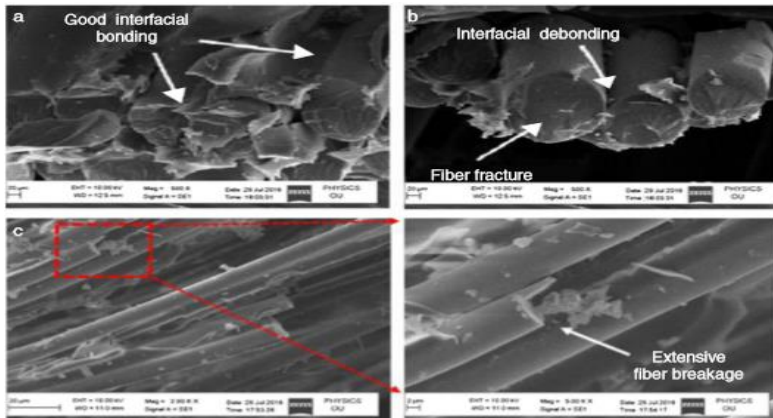
Tabel 2. 4 Spesifikasi Teknis *Chopped Strand* 300 (Syamsul, 2011)

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Berat spesifik (W/m ²) | 300 gram/m ³ |
| Kekuatan tarik (Mpa) | 213 Mpa |
| Angka poisson | 0,28 |
| Modulus Elastisitas (Gpa) | 16 Gpa |

(2) *Chopped strand mat* 450 gram/ m² (mat 450) dengan data teknis pada Tabel 2.5:

Tabel 2. 5 Spesifikasi Teknis *Chopped Strand* 450 (Syamsul, 2011)

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Berat spesifik (W/m ²) | 450 gram/m ³ |
| Kekuatan tarik (Mpa) | 213 Mpa |
| Angka poisson | 0,2 |
| Modulus Elastisitas (Gpa) | 16 Gpa |



Gambar 2.15 Mikrografi SEM Material GFRP *Chopped* (Kumar, 2018)

Menurut (Kumar, 2018), komposit berbasis fiber serat acak memiliki kegagalan *interfacial debonding* yaitu lepasnya serat pada matriks, *Fiber pullout* dan *fiber breakage* akibat dari penarikan serat.

2.3.2 *Woven Roving*

Woven Roving, merupakan berbentuk anyaman dengan arah yang saling tegak lurus. Pada proses laminasi perbandingan berat antara serat dengan resin adalah 45-50% *woven roving* adalah 50-55% resin poliester dari fraksi berat, untuk bangunan kapal umumnya sering dipakai komposisi 50% *woven roving* dan 50% resin, *woven roving* ini digunakan sebagai laminasi utama yang memberikan kekuatan tarikan maupun lengkung yang lebih tinggi dibandingkan laminasi. Dalam proses pembuatan laminasi serat *woven roving* lebih sulit untuk dibasahi oleh resin dan terkadang larutan resin relatif lebih sulit untuk mengisi celah anyaman serat *woven roving*. Dengan kandungan resin poliester yang relatif lebih sedikit dibandingkan laminasi mat maka laminasi serat *woven roving* memiliki ketahanan terhadap resapan air yang kurang baik. Untuk memperbaiki kondisi ini maka biasanya

lamnansi *woven roving* dilapisi lagi dengan dua lapisan mat pada sisi luar yang memiliki kandungan resin poliester yang relatif lebih banyak.

(1) *Woven roving* 400 gram/m² (WR 400) dengan data teknis pada Tabel 2.6:

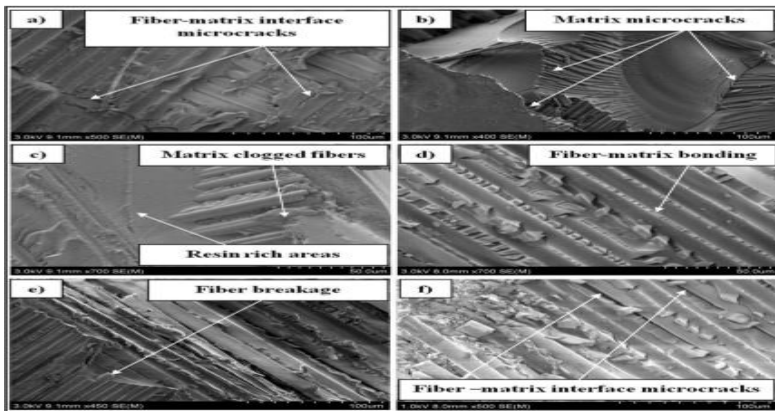
Tabel 2. 6 Spesifikasi *Woven Roving* WR 400 (Syamsul, 2011)

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Berat spesifik (W/m ²) | 400 gram/m ³ |
| Kekuatan tarik (Mpa) | 512 Mpa |
| Angka poisson | 0,2 |
| ModulusElastisitas (Gpa) | 38,5 Gpa |

2) *Woven Roving* 600 gram/ m² (WR 600) dengan data teknis pada Tabel 2.7:

Tabel 2. 7 Spesifikasi *Woven Roving* WR 600

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Berat spesifik (W/m ²) | 600 gram/m ³ |
| Kekuatan tarik (Mpa) | 512 Mpa |
| Angka poisson | 0,2 |
| ModulusElastisitas (Gpa) | 38,5 Gpa |



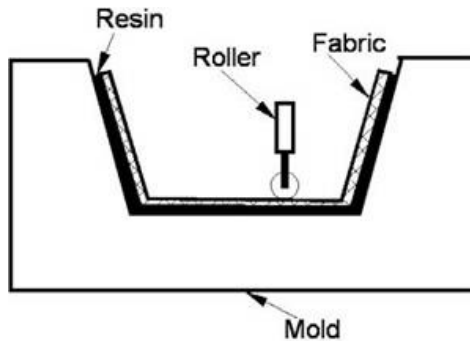
Gambar 2.16 Mikrografi SEM Material GFRP *Woven Roving* (Naresh, 2018).

Menurut (Naresh, 2018), patahan pada GFRP berbasis serat *woven roving* adalah patahan pada matriks laminasi, terutama

pada *microcracks* laminasi serat dan daerah matriks. *Microcracks* ini umumnya pada daerah melintang.

2.4 Proses Manufaktur *Hand Lay-Up*

Pada awalnya, proses *wet lay-up* merupakan rekayasa yang dominan metode pembuatan bagian komposit. Di proses ini, resin cair diaplikasikan pada cetakan dan kemudian penguatnya ditempatkan di atas Rol digunakan untuk merekatkan serat dengan resin. Lapisan resin lain dan penguatan diaplikasikan sampai ketebalan yang sesuai terbentuk. Ini adalah proses yang sangat fleksibel yang memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan bagian dengan menempatkan berbagai jenis bahan kain dan tikar. Karena penguatannya ditempatkan secara manual, disebut juga proses *hand lay-up*. Proses ini membutuhkan sedikit investasi dan keahlian modal dan karena itu mudah digunakan. Desain cetakan untuk proses *wet lay-up* sangat sederhana dibandingkan dengan proses manufaktur lainnya karena prosesnya membutuhkan sebagian besar temperatur kamar curing lingkungan dengan tekanan rendah. Baja, kayu, GRP, dan bahan lainnya digunakan sebagai bahan cetakan untuk keperluan prototype. Skema proses *lay-up* basah ditunjukkan pada Gambar 2.16, di mana ketebalan bagian komposit dibangun dengan menerapkan serangkaian penguatan lapisan dan lapisan resin cair. Rol digunakan untuk memeras resin berlebih dan membuat distribusi resin yang seragam di seluruh permukaan. Dengan meremas *roller*, pembulatan serat homogen diperoleh (Mazumdar, 2002).



Gambar 2. 17 Skema *Hand Lay Up* (Mazumdar, 2002)

Bagian ini kemudian dicuring umumnya pada suhu kamar dan, sekali dipadatkan, itu dihapus dari cetakan waktu siklus proses keseluruhan ditentukan oleh ukuran komponen sebagai Begitu juga formulasi resin yang digunakan (Mazumdar, 2002).



Gambar 2. 18 *Hand Lay Up* Proses (Yuvaraj, 2016)

2.5 Material pada Interior Kereta Api

P.T. INKA juga termasuk perusahaan yang mengembangkan aplikasi komposit pada gerbong kereta api (Abdullah, 2000) telah mampu mengaplikasi komposit *glass fiber reinforced polyester* (GFRP) untuk *front end* KRLI dan *mask* KRL-Nas. Aplikasi dari

GFRP telah meluas penggunaannya pada industri pembuatan pesawat terbang, kereta api, dan mobil. Namun dibandingkan dengan penggunaan serat alam, komposit serat gelas mengalami kekurangan karena tidak ramah lingkungan pada limbahnya yang tidak dapat terurai (Abdullah, 2000).

PT INKA sendiri menggunakan *e glass fiberglass* tipe *woven roving* dan *chopped*. Selain itu menggunakan resin poliester tak jenuh *Orthophalic* tipe Yucalac 157 BQTN – EX dengan katalis MEKPo dan Cobalt sebagai akselerator (Inka, 2010). Resin yang digunakan pada konstruksi kapal laut seperti *Polyester (Orthophthalic)*, jenis ini sangat tahan terhadap proses korosi air laut dan asam encer lalu *Polyester (Isophthalic)*, jenis tahan terhadap panas dan larutan asam, kekerasannya lebih besar serta kemampuan menahan resapan air lebih baik dibandingkan dengan *resin* tipe ortho (Yuwandana, 2012). Perbandingan Sifat Mekanik dari masing – masing resin ditunjukkan pada Table 2.8:

Tabel 2. 8 Perbandingan Sifat Mekanik Masing Masing Resin
(Goldpinar, 2005)

| Resin | Kekerasan Shore D | Tarik Psi x 10^3 | Modulus Psi x 10^5 | Elongasi Max% |
|-------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|
| Orthophalic | 42 | 7 | 5.9 | 0.91 |
| Isophalic | 45 | 112 | 9.1 | 0.86 |
| Vinyl Ester | 35 | 11-12 | 4.9 | 5-6 |
| Epoxy | 86 | 7.96 | 53 | 7.7 |

Kemudian juga berbagai macam serat sudah mulai banyak di kembangkan yaitu serat kaca, serat karbon dan sejenisnya. Perbandingan sifat – sifat mekanik masing – masing serat ditunjukkan pada tabel 2.9

Tabel 2. 9 Perbandingan Sifat Mekanik Masing Masing Serat
(Goldpinar, 2005)

| Serat | Densitas B in ³ | Tarik Psi x10 ³ | Modulus Psi x10 ⁵ | Elongasi Max% |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|
| E-glass | 0.94 | 500 | 10.5 | 4,8 |
| S-glass | 0.9 | 665 | 12.6 | 5,7 |
| Aramid | 0.52 | 525 | 18 | 2,9 |
| Carbon | 0.62-0.65 | 350-700 | 33-57 | 0.38-2 |

Tabel 2. 10 Spesifikasi Teknis Material Interior Kereta (Inka,
2010)

| | |
|-------------------|---------------------------------------|
| Kekuatan Impak | Min 4,5 J/cm ² |
| Kekuatan Tarik | Min 75 N/mm ² |
| Kekuatan Flexural | Min 140 N/mm ² |
| Modulus Flexural | Min 4500N/mm ² |
| Kekerasan | Min 40 Barcol |
| Fire Retardant | Maks 10 Detik dan 150 cm ² |



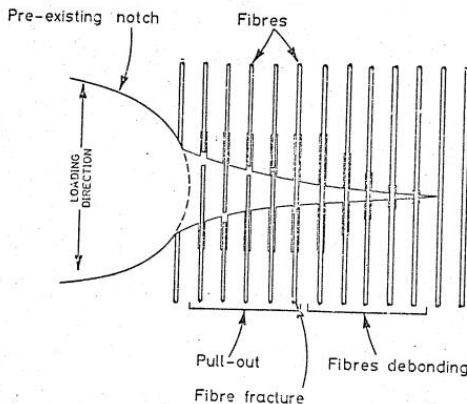
Glass Fiber Reinforced Polymer

Gambar 2. 19 Aplikasi GFRP pada Kereta Api (Dokumentasi
Pribadi)

2.6 Proses Terjadinya Kegagalan pada Material Komposit

2.6.1 *Debonding*

Mempertimbangkan suatu gabungan dari serat-serat kontinyu yang sejajar pada suatu beban uji. Tegak lurus dengan arah serat adalah takik. Di bawah beban *monotonic* material pada *notch-tip* mengalami patah dan retakan kecil dalam bentuk matriks. Beban, berada pada matriks kemudian ditransfer dengan geser ke serat yang masih utuh. Gaya geser inipada akhirnya menjadi begitu besar sehingga ikatan antara serat dan matriks mengalami kegagalan. Retak silinder pada antarmuka menyebar dan merambat dari retakan permukaan matriks sepanjang serat sebagai beban yang diterima meningkat. Proses ini disebut *debonding* (Wells, 1984).

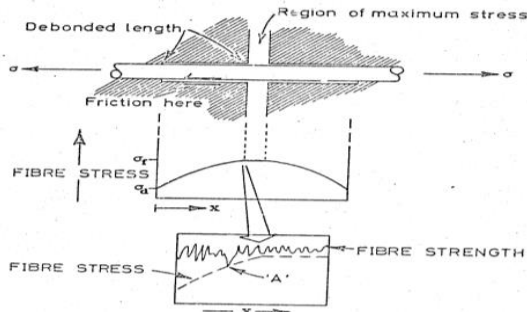


Gambar 2. 20 Proses *Debonding* (Wells, 1984)

2.6.2 *Fiber Pull Out*

Beberapa beban ditransfer antara fiber dan matrik dan masih mungkin oleh gaya antarmuka pada retakan matrik ke fiber selama proses manufaktur. Gesekan ini menghasilkan tegangan tidak seragam sepanjang fiber yang mengalami pelepasan ikatan. Karena variable kekuatan pada fiber sepanjang Panjang seratnya masih bisa pecah atau retak beberapa jarak dari bidang patahan

matrik dimana terdapat tegangan tertinggi. Setelah patah, komposit menunjukkan bidang patahan matrik dengan tonjolan serat. Proses ini disebut *Pull-Out*. (Wells, 1984)



Gambar 2. 21 Proses *Fiber Pull Out* (Wells, 1984)

2.6.3 Delaminasi

Delaminasi merupakan salah satu dari model kerusakan kritis yang terjadi pada komposit laminat. Delaminasi terjadi karena beberapa faktor seperti tegangan interlaminar yang tinggi pada sudut-sudutnya dan konsentrasi tegangan pada lokasi retak atau kerusakan lain pada laminat. Beban impact yang rendah juga dapat menyebabkan terjadinya delaminasi di dalam laminate yang tidak dapat diamati dari luar. Jika suatu laminat diberi beban fatigue, delaminasi dapat tumbuh dengan kenaikan jumlah cycle dan bisa menyebabkan kerusakan total pada laminat. Jadi ada keterkaitan antara karakteristik pertumbuhan delaminasi komposit laminat dengan kondisi pembebanan *fatigue*. Pada penelitian ini diamati pertumbuhan delaminasi pada komposit laminat yang didasarkan pada perhitungan kemungkinan pertumbuhan delaminasi pada semua tingkat pembebanan selama siklus pembebanan *fatigue* (Astika, 2012).

2.7 Penelitian Sebelumnya

Panel badan bagi kereta *prototype* tersebut telah dihasilkan dengan menggunakan bahan poliester/gentian kaca (GFRP) yang

telah membuktikan keunggulan sifat fisik dan sifat mekaniknya berdasarkan kepada faktor pengalaman, pengetahuan serta bentuk sebagai pengaplikasian kereta lumba yang lebih bermutu dan canggih. Panel badan terdiri dari nose bagian depan (*Cone Shape*) dan juga panel badan tengah dengan menggunakan 2 lapisan CSM, 1 WR dan resin poliester (Shukur, 1997).

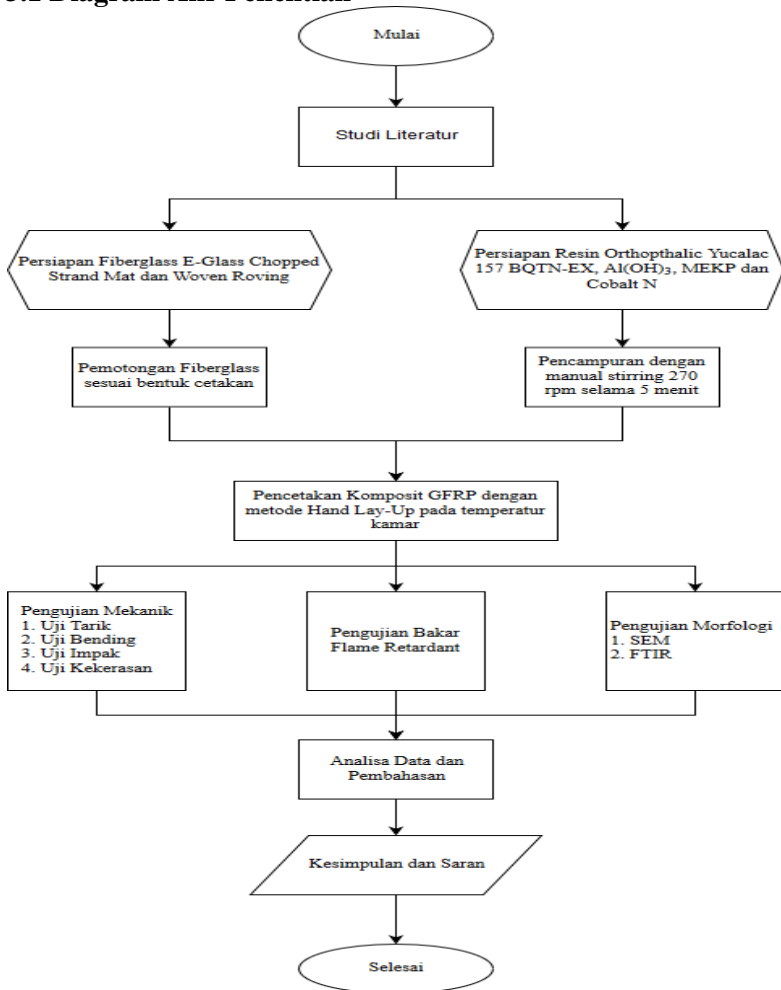
Pengaruh penambahan alumina hidroksida pada material GFRP dengan persentase 0%, 3% dan 6% mengurangi pembakaran jika penambahan semakin tinggi, tensile strength makin turun, bending semakin turun dan kekerasan semakin meningkat (Hiremath, 2016).

Penambahan aluminum hidroksida (ATH) ke dalam komposit hibrid poliuretana (PU) berasaskan sawit telah dikaji. Penambahan ATH pada peratus penambahan divariasikan pada 2, 4 dan 6% bt mengikut berat keseluruhan resin. Tegasan dan modulus mampatan adalah pada nilai tertinggi pada penambahan 2% bt ATH iaitu masing-masing 338 kPa dan 2209 kPa. Pada 4% bt ATH, tegasan dan modulus mampatan menurun kepada masing-masing 431 kPa dan 1659 kPa dan semakin menurun dengan penambahan 6% bt ATH kepada masing-masing 379 kPa dan 1468 kPa. Nilai k meningkat dengan penambahan ATH dan mempamerkan sifat kekonduksian termal yang lemah (Norzali, 2010).

Menganalisis resin dalam basis tubuh kapal pada serat fiberglass komposit yang diperkuat plastik dengan tahan api / tahan api. Resin tersebut menggunakan resin poliester Yucalac 157 BQTN-EX dan Yucalac BQTN-FR. Metode eksperimental digunakan dalam penelitian ini dan komposit spesimen dibuat dengan metode hand lay up dan kemudian diamati dengan uji mudah terbakar standar UL 94. Itu Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan resin Yucalac 157 BQTN-EX memiliki laju pembakaran kurang dari resin Yucalac 157 BQTN – FR, namun baik dari segi sifat mekanik (Hotnyda, 2016)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dimulai dari studi literatur yaitu mempelajari buku dan jurnal komposit kemudian preparasi alat dan bahan .Alat yang digunakan seperti *aluminium foil*, *mold*, Timbangan Digital, Roll, Mesin Uji SEM , Mesin Uji FTIR, Mesin Uji Tarik , Alat Uji *Fire Retardant*,Alat Uji Impak,Alat Uji Bending dan Alat Uji Kekerasan lalu Bahan yang digunakan resin poliester,katalis,*cobalt*,serat *fiberglass chopped* dan *woven* .Setelah itu pembuatan spesimen komposit dengan metode *hand Lay Up*. Kemudian dilakukan pengujian seterusnya Analisa data dan Pembahasan Lalu Kesimpulan. Hal ini di tunjukkan pada gambar 3.1

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Resin Poliester

Poliester yang digunakan merupakan bahan untuk campuran komposit Serat fiberglass yang berupa cairan kental berwarna kuning. Poliester ditunjukkan pada Gambar 3.2 ini diperoleh dari Justus Kimia Raya Surabaya tipe *Orthophalic*.

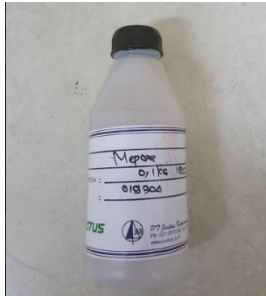


Gambar 3.2 Poliester Tipe 157 BTQN EX

2. MEKP

Metil Etil Keton Peroxide seperti pada Gambar 3.3.

merupakan bahan katalis yang digunakan untuk campuran dengan resin poliester dan serat *fiberglass* berupa cairan putih bening dari Justus Kimia Raya Surabaya



Gambar 3.3 *Metil Etil Ketone Proxide*

3. Cobalt N

Cobalt Naphthenate seperti pada Gambar 3.4, merupakan bahan untuk campuran matriks polimer berupa liquid cair berwarna ungu yang berfungsi sebagai akselerator komposit. Bahan ini didapatkan dari PT. Ngagel Jaya Kimia Surabaya.



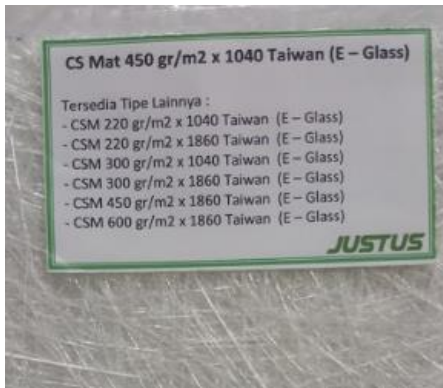
Gambar 3.4 Cobalt Cair N

4. Serat Kaca

Serat kaca Bentuk *Woven Roving* dan *Chopped* diperoleh dari Justus Kimia Raya Surabaya Ditunjukkan dalam Gambar 3.5 dan Gambar 3.6



Gambar 3.5 Serat Kaca *Woven Roving*



Gambar 3.6 Serat Kaca *Chopped*

5. Wax

Wax bermerek *Meguiars Mirror Glaze* diperoleh dari Ngagel Jaya Kimia Ditunjukkan dalam Gambar 3.7



Gambar 3.7 Wax

6. Aluminium Hidroksida

Aluminium Hidroksida berupa serbuk dengan kemurnian 66-68% yang didapatkan dari toko SIP Klampis



Gambar 3.8 Aluminium Hidroksida

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Wadah Aluminium

Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran material.

2. Aluminium Foil

Digunakan untuk melapisi cetakan saat membuat komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*

3. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang massa bahan yang akan dicampurkan.

4. Roll

Roll digunakan untuk meratakan matriks saat dituangkan ke komposit.

5. Mesin Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Mesin uji SEM yang digunakan adalah tipe Phenom G2 Pro, milik Laboratorium Penelitian, Jurusan Teknik Mesin FTI-UB.

6. Mesin Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Digunakan untuk mengamati rantai dan gugus fungsi pada komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Uji FTIR menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi, Departemen Teknik Material FTI-ITS.

7. Mesin Uji Tarik

Digunakan untuk mengukur kekuatan tarik dari komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material FTI-ITS.

8. Mesin Uji Bending

Digunakan untuk mengukur kekuatan bending dari komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Mesin uji bending yang digunakan adalah mesin uji bending milik Laboratorium Inovasi Material, Departemen Teknik Material FTI-ITS.

9. Alat Uji Kekerasan

Digunakan untuk mengukur kekerasan dari komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Alat uji yang digunakan adalah alat uji kekerasan milik Laboratorium Inovasi Material, Departemen Teknik Material FTI-ITS.

10. Alat Uji Impak

Digunakan untuk mengukur kekuatan dampak dari komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Alat uji yang digunakan adalah alat uji dampak tipe XJJ-5 milik Laboratorium

Pengolahan Bahan, Jurusan Teknik Mesin FTI-UB.

11. Alat Uji *Fire Retardant*

Digunakan untuk mengukur ketahanan api dari komposit GFRP. Alat yang digunakan adalah alat uji yang sesuai spesifikasi standart ORE B PT Inka Persero. Dan digunakan alat uji milik sendiri yang sesuai spesifikasi standar UL-94 Horizontal.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran serat kaca terhadap matriks polimer yaitu polyester, katalis dan *cobalt* pada komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*, yaitu dengan persentase . Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi matriks dan serat 60%:40%, Variable terikatnya adalah penambahan Aluminium Hidroksida 0,2,4,6 dan 8%.

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang dilakukan hingga didapatkan hasil berupa Komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer* untuk material Interior Kereta Api sebagai berikut:

1. Menyiapkan semua alat dan bahan
2. Memotong serat kaca sesuai kebutuhan.
3. Mengukur volume campuran Serat Kaca/Matriks (Poliester, katalis dan Cobalt) 60%:40% lalu dicampur secara *manual* selama 2 menit ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Pencampuran Matriks secara Manual

4.. Menyiapkan cetakan yang kemudian diberikan Aluminium foil dan Wax untuk menghindari perekatan komposit dengan cetakan pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Cetakan dan Wax

5. Kemudian setelah itu Menuangkan matriks pada cetakan setebal kurang lebih 1 cm . Kemudian menyusun serat kaca dan kemudian menuangkan kembali matriks yang kemudian diratakan agar persebaran matriksnya merata dengan perbandinganya sesuai Metode ini merupakan metode *Hand Lay-up* ditunjukkan pada Gambar 3.11



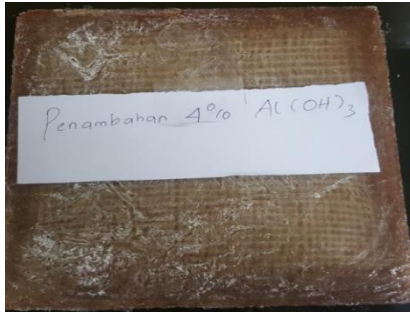
Gambar 3.11 *Hand Lay-up*

7. Proses *quick curing* pada temperatur kamar selama kurang lebih 3 jam dengan open mold Gambar 3.12



Gambar 3.12 Proses *Curing* dan Pengamatan Temperatur

8. Melakukan pengujian terhadap spesimen yang dibuat. Spesimen sudah jadi ditunjukkan pada Gambar 3.13



Gambar 3.13 Spesimen Komposit

3.6 Pengujian

Berikut merupakan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, antara lain:

1. **Pengujian *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM)**

Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Penelitian Jurusan Teknik Mesin FTI-UB. Pengujian SEM in mengikuti standar ASTM E986. Pengujian SEM bertujuan untuk mengamati morfologi komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar berukuran $< \sim 10\text{nm}$ pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar (Trewin, 1988).. Data hasil SEM berupa gambar dengan perbesaran serta grafik yang menunjukkan intensitas unsur tertentu yang terdapat pada spesimen uji. Prinsip dasar SEM adalah memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan non-elastis. Dari pantulan non-elastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X.

Sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered electron* (BSE). Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi BSE yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel dipindai dengan elektron. Elektron-elektron yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap terang pada monitor CRT (*Cathode Ray Tube*).

Prinsip kerja SEM dilambangkan pada Gambar 3.14. Pada pengujian SEM spesimen dibuat berdasarkan ASTM E2809 dengan dimensi 10 mm x 10 mm x 4 mm lalu dilapisi dengan coating AuPd.



Gambar 3.14 Mesin Uji SEM

2. Pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen *Thermo Scientific Nicolet IS10*. Pengujian FTIR ini dilakukan untuk menentukan gugus fungsi material *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena

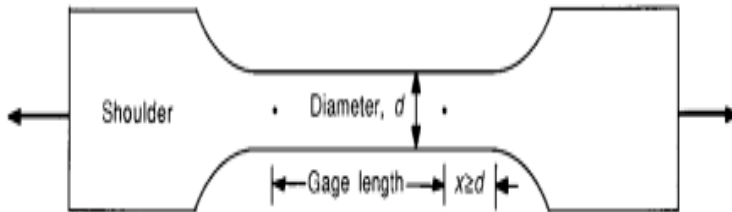
spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Pengujian FTIR bertujuan untuk melihat adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada spesimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energy dengan suatu materi. Saat spesimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam spesimen uji akan bergetar atau bervibrasi sebagai akibat energi yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron. Besar energi vibrasi setiap komponen molekul/gugus berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul. Alat uji ditunjukkan pada Gambar 3.15



Gambar 3.15 Alat Uji FTIR

3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, dengan menggunakan untuk mengetahui kekuatan komposit GFRP untuk menerima beban *out-of-plane*. Salah satu cara untuk menganalisa kemampuan komposit tersebut yakni melalui uji tarik. Sistem mesin uji tarik bekerja dengan memberikan beban tarik secara konstan hingga spesimen mengalami failure. Standar yang digunakan adalah ASTM D638-14 dengan panjang total 100mm, *gauge length* 30mm, dan ketebalan 5mm. Spesimen uji tarik berbentuk plat dengan ukuran adalah sebagai berikut ditunjukkan pada gambar 3.16 :

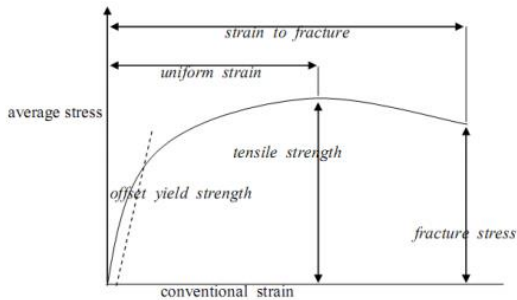


Gambar 3.16 Dimensi Spesimen Uji Tarik.

Tabel 3.1 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik Menurut ASTM D638. (ASTM, 2010)

| Dimensi | Tipe I (mm) | Tipe II (mm) | Tipe III (mm) | Tipe V (mm) | Toleransi (mm) |
|---------|----------------|-----------------|------------------|----------------|-------------------|
| W | 13 | 6 | 19 | 3.18 | ± 0.5 |
| L | 57 | 57 | 57 | 9.53 | ± 0.5 |
| WO | 19 | 19 | 29 | 9.53 | ± 6.4 |
| LO | 165 | 183 | 246 | 63.5 | Min |
| G | 50 | 50 | 50 | 7.62 | ± 0.25 |
| D | 115 | 135 | 115 | 25.4 | ± 5 |
| R | 76 | 76 | 76 | 12.7 | ± 1 |
| T | ≤ 7 | ≤ 7 | 7 - 14 | ≤ 4 | - |

Hasil yang diperoleh pada pengujian tarik adalah kurva antara ΔF dan Δl . Kemudian nilai tersebut, diubah menjadi kurva *engineering stress-strain* ditunjukkan pada gambar 3.17. Untuk memperoleh kurva *engineering stress-strain* dari kurva antara ΔF dan Δl , digunakan persamaan



Gambar 3.17 Kurva Tegangan Regangan

Untuk mendapatkan kurva engineering stress-strain dari kurva antara ΔF dan Δl adalah dengan Persamaan 3.1 dan 3.2:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

- σ = Engineering Stress (N/mm²)
- F = Beban yang diberikan (N)
- A = Luas penampang (mm²)
- ε = Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)
- ΔL = Perubahan panjang (mm)
- L = Panjang setelah pembebanan (mm)



Gambar 3.18 Alat Uji Tarik

4. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk menganalisis tingkat kekerasan dari sampel komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Dimensi spesimen dan prosedur yang dilakukan menggunakan sumber acuan standar ASTM D2240 - Durometer Hardness. Dimana ketebalan minimal sampel yaitu 6 mm. Durometer ini bekerja mengukur ketahanan material terhadap penetrasi indenter seperti jarum berpegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam nilai Shore D. Alat durometer dapat dilihat pada Gambar 3.19



Gambar 3.19 Alat Durometer Shore D Hardness Test

5. Pengujian Bending

Pengujian kekuatan lentur digunakan untuk menunjukkan kekakuan dari suatu material ketika dibengkokkan. Pengujian kelenturan dilakukan dengan metode *threepoint bend*, dimana spesimen diletakan pada kedua tumpuan dan dilakukan pembebanan ditengah spesimen. Mesin yang digunakan adalah mesin uji bending milik Laborato Material Inovatif di Dept. Teknik Material ITS. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM D-790. Dimensi spesimen yang diuji sesuai standart tersebut ialah sebesar 127x12.7x3 mm.



Gambar 3.20 Mesin Uji Flexural

6. Pengujian Impak

Uji impak adalah pengujian yang dilakukan untuk menguji ketangguhan suatu spesimen dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Ketangguhan merupakan ukuran suatu energi yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak suatu bahan yang diukur dari luas daerah di bawah kurva tegangan regangan. Prinsip pengujian impak adalah menghitung energi yang diserap oleh spesimen menggunakan metode charpy ASTM D256. (ASTM, 2012). Standar ASTM dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan persamaan di bawah ini

Tabel 3.2 Standar ASTM D256 (ASTM, 2012)

| <i>Load</i> Maksimum | <i>Notch</i> Spesimen | Dimensi spesimen uji |
|----------------------------|-------------------------------|---|
| 200 kg sampai 500 kg | Tebal=2.54 mm Sudut=45° | Panjang =127mm Lebar= 12.7mm Tebal= lebih dari 3mm |

$$E_{\text{Impak}} = \frac{E_{\text{Kinetik}}}{l \times d} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana: Ek = Energi Kinetik (J)
l = Lebar Spesimen (mm)
d = Ketebalan dibawah takik (mm)



Gambar 3.21 Mesin Uji Impak

7. Pengujian Fire Retardant

a. Pengujian Ore Test

Pengujian Fire Retardant menggunakan standart Ore Test Metode A dengan prosedur Ore B 106. Prinsip kerja dari alat uji ini adalah spesimen dimiringkan 45 derajat secara horisontal terkena paparan api etanol selama 4 menit. Lalu siapkan stopwatch untuk mengamati waktu antara spesimen terbakar dan api memadam. Spesimen *Glass Fiber Reinforced Polymer* akan memadamkan api dengan sendirinya dalam satuan waktu selain itu setelah terbakar mengamati luasan spesimen yang terbakar sesuai dengan spesifikasi teknis industri kereta api. Alat Uji ditunjukkan pada Gambar 3.22 sebagai berikut:



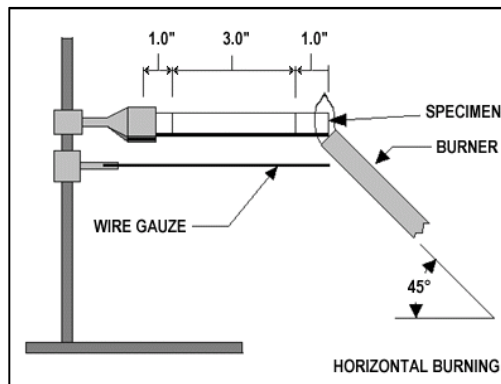
Gambar 3.22 Alat Uji Fire Retardant

b. Pengujian UL 94

Pengujian bakar dilakukan dengan menggunakan test UL 94. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan *burning rate* dan *time of burning* material komposit GFRP pada posisi sampel horizontal. Posisi tabung pembakaran horizontal mengarah pada ujung spesimen uji. Bahan bakar yang digunakan adalah gas metana dan tinggi api yang disyaratkan 20 mm dan jarak terdekat ujung *burner* dengan spesimen adalah 2 mm. Pengamatan yang dilakukan meliputi pengamatan waktu penyalaan (*time of burning*) dan laju pembakaran (*rate of burning*) sepanjang 75 mm. Spesimen uji adalah komposit dengan ukuran panjang sebesar 125 ± 5 mm dan lebar sebesar 13.0 ± 0.5 mm. Minimum ketebalan $3.0 (-0.0 +0.2)$ mm sebagai berikut \therefore 25 mm (75 mm) (25 mm). Kemudian dilihat setelah dibakar yaitu spesimen terbakar setelah sumber api dihilangkan, Waktu bakar yaitu panjang bahan terbakar di bawah kondisi khusus setelah sumber api dijauhkan. Setelah bara yaitu saat bahan membara, setelah bara atau jika tidak ada bara setelah sumber api dihilangkan.

Posisi tabung pembakaran horizontal mengarah pada ujung spesimen uji. Bahan bakar yang digunakan adalah gas metana dan tinggi api yang disyaratkan 20 mm dan jarak terdekat ujung burner dengan spesimen adalah 2 mm. Pengamatan yang

dilakukan meliputi pengamatan waktu penyalaan (*time of burning*) dan laju pembakaran (*rate of burning*) sepanjang 75 mm. Pengujian tahan api sesuai dengan UL 94, Kondisi Uji *Flammability* Horizontal Sampel Flat Fiber Laminasi Resin sebagai berikut : prakondisi pada 23°C ; 50% ; 48 Jam, metode uji UL-94 - 2013 (horizontal - HB) dan dimensi sampel (p*1) 127 mm x 13 mm dan panjang bakar 75 mm.



Gambar 3.23 Skema Uji Fire Retardant

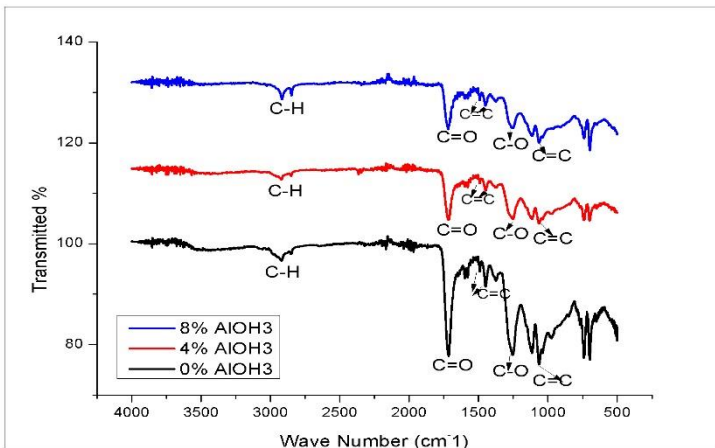
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pencampuran antara Resin Poliester, Katalis, Alumunium Hidroksida, *Cobalt N* dan Serat Kaca. Dari proses pencampuran tersebut diperoleh material Komposit dengan komposisi matriks dengan pengisinya adalah 60:40. Komposisi Alumunium Hidroksida menggunakan fraksi volume secara keseluruhan berurutan yaitu 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%. Kemudian dilakukan karakterisasi dan analisis seperti berikut

4.1 Analisis Spektroskopi Inframerah Material Komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

Analisis FTIR ini bertujuan untuk mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang terbentuk pada material komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Spektrum FTIR diperoleh dari permukaan spesimen material komposit dengan komposisi Alumunium Hidroksida sebesar 0, 4, dan 8%. Dari hasil pengujian yang dilakukan data seperti ada gambar 4.1



Gambar 4.1 Spektra FTIR Material Komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer* dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

Tabel 4.1 Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan pada Material Komposit GFRP

| <i>Peak</i> | Gugus Fungsi | Jenis Ikatan |
|-------------|--------------|-------------------|
| 2985 | C-H | Alkane |
| 1725 | C=O | Carboxylic Acid |
| 1599 | C=C | Aromatic Compound |
| 1450 | C=C | Aromatic Compound |
| 1285 | C-O | Aromatic Ester |
| 1080 | C=C | Ester |

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat gugus fungsi Matriks Poliester pada komposisi 0%,4% dan 8%,Menurut (knuuthien, 2006), terdapat gugus fungsi C-H Alkane pada daerah serapan 2935 cm^{-1} , gugus fungsi C=O *Carboxylic stretching* pada daerah serapan 1725 cm^{-1} ,dan terdapat dua senyawa aromatic pada daerah serapan 1599 cm^{-1} dan 1450 cm^{-1} .Kemudian Menurut (Rasha, 2017), terdapat C-O-C *Ester Linkage* pada daerah serapan 1110 cm^{-1} sampai dengan 1285 cm^{-1} .

Tabel 4.2 Peak FTIR, Gugus Fungsi dan Jenis Ikatan pada Aluminium Hidroksida (Pervaiz, 2015)

| <i>Peak</i> | Gugus Fungsi | Jenis Ikatan |
|-------------|----------------|--------------|
| 3632 | O-H Bending | Alcohol |
| 940 | O-H Stretching | Alcohol |

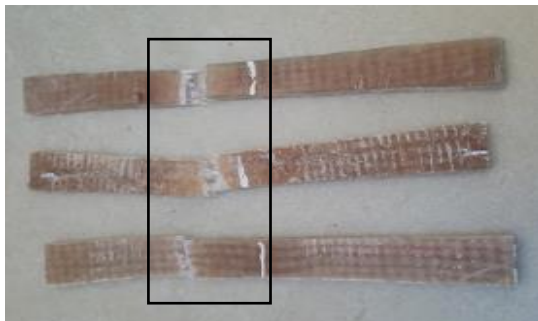
Aluminium Hidroksida terbentuk di FTIR sebagai gugus hidroksil dengan daerah serapan 3632 cm^{-1} dan 940 cm^{-1} (Pervaiz, 2015). Komposit diatas mengalami penurunan intensitas rantai Alkane seiring penambahan Alumunium Hidroksida, efek dari semakin sedikit alkane ini yaitu gaya antarmolekul yang kurang kuat sebagai daya tarik induksi-dipol sesaat-dipole

kurang. Ini menghasilkan kekuatan tarik yang lebih rendah dan peningkatan keuletan serta sifat yang kurang reaktif (Khopkar, 1990).

Seiring dengan penambahan komposisi Aluminium Hidroksida terjadi fenomena hipokromik yaitu penurunan intensitas absorban pada grafik FTIR (Dacriyanus, 2004). Ikatan C=C aromatik biasa disebut senyawa Alifatik, Senyawa alifatik tersebut memiliki sifat mudah terbakar dan biasanya untuk aplikasi cat, resin, minyak dan lain sebagainya (Khamur, 2018). Pada FTIR daerah serapan senyawa aromatik alifatik semakin menurun seiring penambahan Aluminium Hidroksida pada material GFRP. Hal tersebut dapat mempengaruhi sifat *fire retardant* dari komposit GFRP.

4.2 Analisis Morfologi SEM Material Komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*

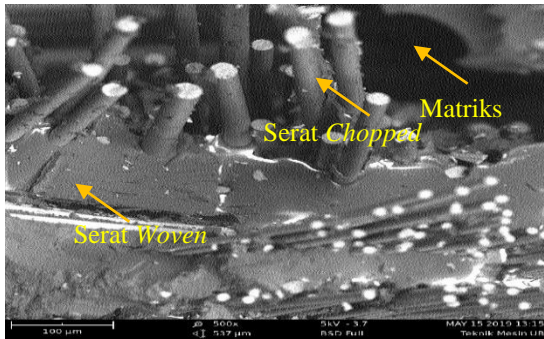
Analisis morfologi pada umumnya digunakan untuk mengetahui perilaku suatu material dan menentukan karakteristik material. Analisis SEM pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ikatan antara matriks dengan seratnya pada material. Sampel yang digunakan pada pengambilan gambar SEM adalah penampang hasil uji tarik material Komposit GFRP.



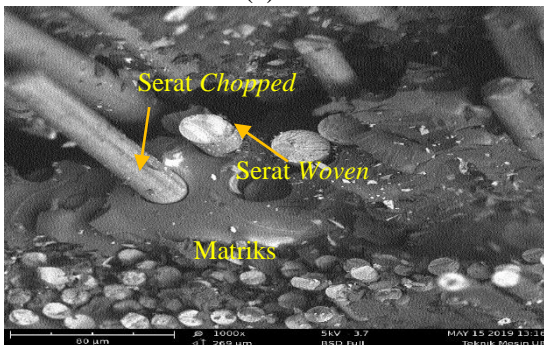
Gambar 4.2 Bentuk patahan spesimen yang diamati SEM

Gambar 4.2 menunjukkan bentuk patahan yang terjadi pada spesimen uji tarik material komposit GFRP. Dari seluruh spesimen, hampir semua bentuk patahan yang terjadi cenderung berupa *pull out* dari serat. Bagian matriks dan serat mengalami gesekan sehingga menimbulkan tegangan yang tidak seragam. Sehingga ada matriks yang mempunyai tonjolan berupa serat (Wells, 1984).

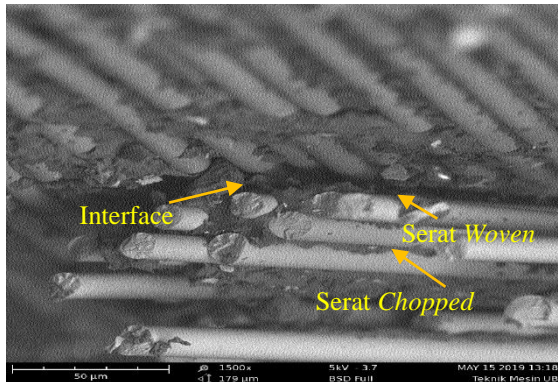
Pada penelitian ini dilakukan pengujian SEM material GFRP diuji dengan perbesaran 500x, 1000x dan 1500x kemudian di analisis berikut:



(a)



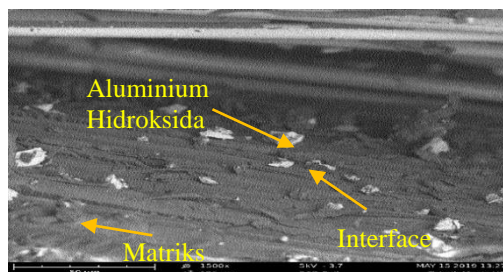
(b)



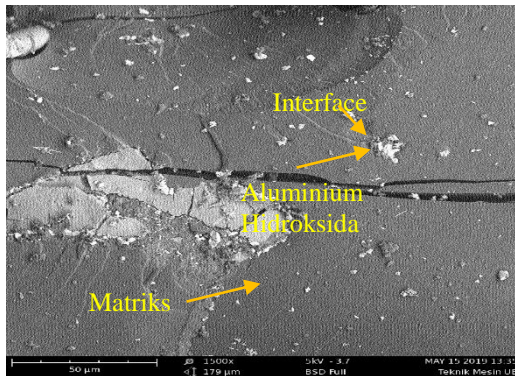
(c)

Gambar 4.3 Mikrografi SEM material Komposit GFRP dengan Penambahan Aluminium Hidroksida 0% (a) 500x, (b) 1000x, (c) 1500x

Dilihat dari Gambar 4.3 kegagalan material yang dominan *fiber pull out*, ditunjukkan dari patahan serat dan ukuran serat yang tidak seragam. Hal ini terlihat dari lepasnya serat dari matriks dari setiap gambar SEM tersebut. Dari spesimen tersebut terlihat pada sampel, patahan yang terjadi *Interfacial debonding*, dimana terlihat jika serat kaca pada sampel tersebut lepas dari matriksnya.



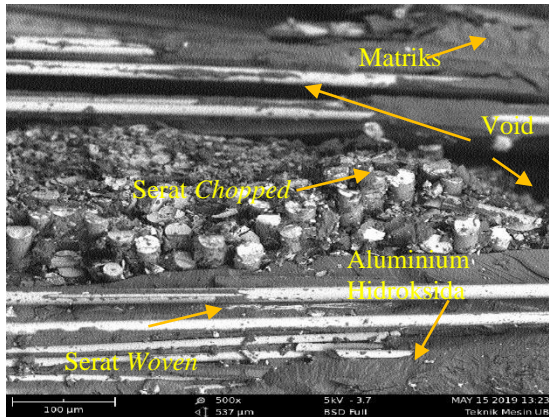
(a)



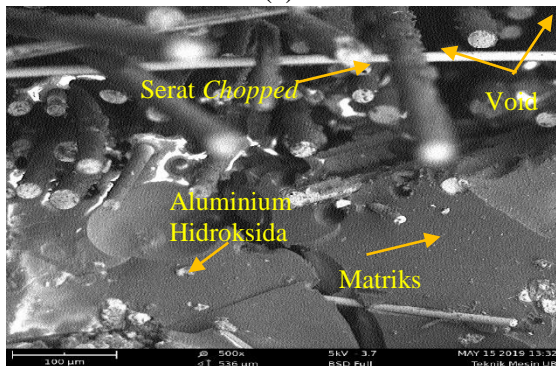
(b)

Gambar 4.4 Mikrografi SEM material Aluminium Hidroksida di GFRP Perbesaran 1500x (a) 4%, (b) 8%

Dilihat dari Gambar 4.4 persebaran Aluminium Hidroksida penambahan 4 dan 8% pada material GFRP. Penambahan aluminium hidroksida sebagai pengisi memberikan dampak negatif pada sifat tarik. Penurunan sifat tarik terutama karena ikatan interface yang buruk antara bubuk pengisi, matriks dan serat. Terjadi transfer muatan serbuk terhadap serat sehingga fungsi serat kurang optimal sehingga terjadi ikatan yang kurang antara serbuk dan penarikan serat (Hiremath, 2016). Aluminium Hidroksida meningkatkan kapasitas penyimpanan energi dengan meningkatkan kekuatan *interface* pada matriks, juga mendeformasi ke seluruh struktur komposit sehingga menyerap energi lebih banyak (Morada, 2017). Penambahan partikulat Aluminium Hidroksida bersifat menguatkan dan memperluas daerah interface dan mengurangi void dari material, selain itu partikulat mengisi matriks sehingga atom atom lebih rapat (Bhagwan, 1980). Penambahan Aluminium Hidroksida sebagai filler partikulat dengan serat dapat meningkatkan sifat mekanis berupa kekerasan dan kekakuan bahan komposit (James, 2013).



(a)



(b)

Gambar 4.5 Mikrografi SEM material Aluminium Hidroksida di GFRP Perbesaran 500x (a) 4%, (b) 8%

Penambahan Aluminium Hidroksida, mengurangi void dari material, partikulat mengisi matriks sehingga atom atom lebih rapat (Bhagwan, 1980).

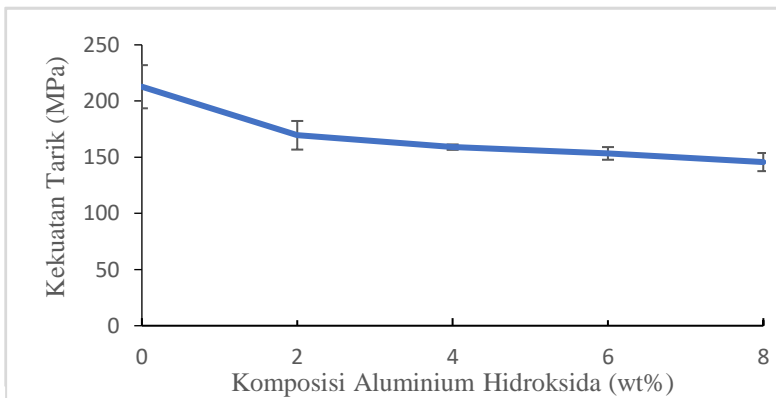
4.3 Analisis Kekuatan Tarik Material Komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*

Metode lain yang digunakan dalam menentukan sifat

mekanik dari sebuah material adalah dengan melakukan *Tensile Test* atau Uji Tarik. Metode Uji tarik ini merupakan metode umum dalam menentukan sifat mekanik dari sebuah material. Standar yang digunakan untuk pengujian tarik pada komposit GFRP adalah ASTM D638 tipe 1 dimana standar ini merupakan standar pengujian tarik khusus untuk material polimer dan komposit berserat. Hasil pengujian kekuatan tarik ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kekuatan Tarik Komposit GFRP dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

| Komposisi $\text{Al}(\text{OH})_2$ (% wt) | Kekuatan Tarik (MPa) |
|---|----------------------|
| 0 | 141.15±4.72 |
| 2 | 124.94±5.51 |
| 4 | 110.35±1.1 |
| 6 | 91.54±3.17 |
| 8 | 75.18±1.34 |



Gambar 4.6 Sifat Tarik dari Material Komposit GFRP Dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

Dari Grafik yang ditunjukkan rata rata kekuatan tarik komposit GFRP dengan penambahan Aluminium Hidroksida

sebesar 0, 2, 4, 6 dan 8 % adalah 141.53 MPa, 124.943 MPa, 110.35 MPa, 91.54 MPa dan 75,183 MPa. Dan terjadi penurunan kekuatan tarik seiring dengan banyaknya penambahan Aluminium Hidroksida. Penambahan aluminium hidroksida sebagai pengisi memberikan dampak negatif pada sifat tarik. Penurunan sifat tarik terutama karena ikatan interface yang buruk antara bubuk pengisi, matriks dan serat. Terjadi transfer muatan serbuk terhadap serat sehingga fungsi serat kurang optimal sehingga terjadi ikatan yang kurang antara serbuk dan penarikan serat (Hiremath, 2016). Hasilnya memenuhi kekuatan tarik standar INKA untuk interior kereta api pada *interior panel, front end mask, passenger seat, toilet dan luggage rack cover* sebesar minimum 75 MPa (Inka, 2010).

4.4 Analisis Kekerasan Material Komposit *Glass Fiber Reinforced Polymer*

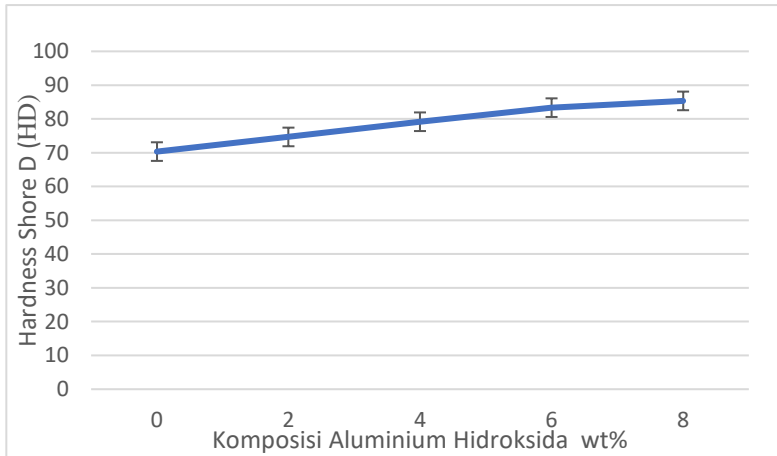
Sifat mekanik pada sebuah material penting untuk diketahui agar material tersebut dapat diaplikasikan sesuai dengan sifat dan kebutuhannya. Salah satu cara dalam menentukan sifat mekanik sebuah material adalah dengan mengukur kekerasannya. Pengukuran kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik yang diperoleh dari sebuah material.

Material yang diuji kekerasannya adalah material komposit GFRP dari uji bending. Pengujian kekerasan pada material komposit GFRP menggunakan standar ASTM D2270 – Durometer Test dengan indentor Shore-D dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dari sisi kanan, kiri dan tengah. Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan oleh Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Material Komposit GFRP dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

| Komposisi Al(OH) ₂ (% wt) | Kekerasan <i>Shore D</i> (HD) | Kekerasan (Barcol) |
|---|-------------------------------|-----------------------|
| 0 | 70.3±1.52 | 54 |
| 2 | 74.66±2.52 | 56 |

| | | |
|---|------------|----|
| 4 | 79.16±0.76 | 62 |
| 6 | 83.33±1.15 | 72 |
| 8 | 85.33±0.57 | 78 |



Gambar 4.7 Sifat Kekerasan Material Komposit GFRP Dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

Dari Grafik yang ditunjukkan rata rata kekerasan komposit GFRP dengan penambahan Aluminium Hidroksida sebesar 0, 2, 4, 6 dan 8 % yaitu 70.3, 74.6, 79.16, 83.3 dan 85.3 Hardness Durometer (HD). Terjadi kenaikan nilai kekerasan pada komposit GFRP disebabkan meningkatnya penambahan Aluminium Hidroksida pada komposit. Hal ini terjadi karena penambahan Aluminium Hidroksida sebagai filler partikulat dengan serat dapat meningkatkan sifat mekanis berupa kekerasan dan kekakuan bahan komposit (James, 2013). Kekakuan berbanding lurus dengan kekerasan partikulat mengisi matriks yang menyebabkan atom atom komposit lebih rapat (Bhagwan, 1980). Konversi dari HD ke Barcol penambahan Aluminium Hidroksida 0, 2, 4, 6 dan 8% yaitu 54, 56, 62, 72 dan 78 Barcol. Hasilnya memenuhi

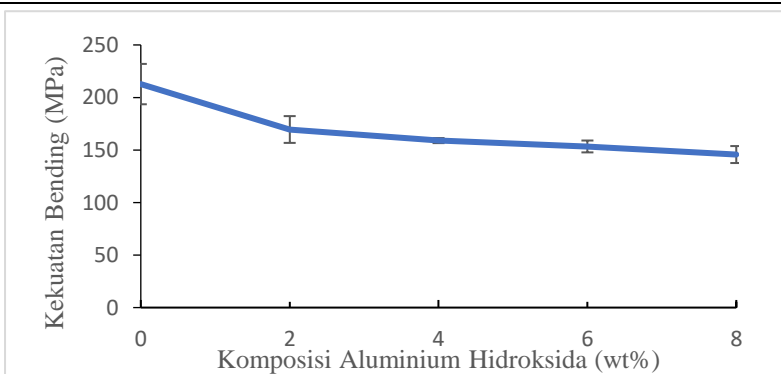
kekerasan standar INKA untuk interior kereta api pada *interior panel, front end mask, passenger seat, toilet* dan *luggage rack cover* sebesar minimum 40 Barcol (Inka, 2010).

4.5 Analisis Kekuatan Bending Material *Glass Fiber Reinforced Polymer*

Sifat mekanik pada sebuah material penting untuk diketahui agar material tersebut dapat diaplikasikan sesuai dengan sifat dan kebutuhannya. Kekuatan lentur digunakan untuk menunjukkan kekakuan suatu material ketika di bengkokkan. Pengujian bending dilakukan dengan metode *three point bending* menggunakan standar pengujian ASTM D790. Hasil pengujian kekuatan lentur ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Lentur Komposit GFRP dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

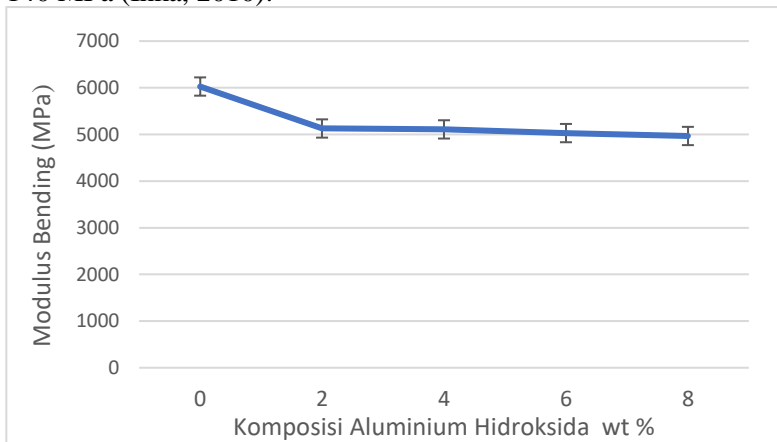
| Komposisi Al(OH) ₂ (% wt) | Kuat Lentur (MPa) | Modulus Elastisitas Lentur (MPa) |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| 0 | 212.73±19.21 | 6026.42±322.69 |
| 2 | 169.51±12.74 | 5127.36±399.64 |
| 4 | 158.96±2.39 | 5107.67±120.68 |
| 6 | 153.37±5.64 | 5028.62±87.61 |
| 8 | 145.67±8.06 | 4966.62±21.82 |



Gambar 4.8 Kekuatan Bending Material Komposit GFRP

Dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

Dari Gambar 4.8 yang ditunjukkan rata rata kekuatan bending komposit GFRP dengan penambahan Aluminium Hidroksida sebesar 0, 2, 4, 6 dan 8 % yaitu 212.735 MPa, 169.517 MPa, 158.964 MPa, 153,373 MPa dan 145.673 MPa. Terjadi penurunan nilai kekuatan bending komposit GFRP seiring dengan penambahan Aluminium Hidroksida. Penambahan Aluminium Hidroksida 0% dapat menahan lebih banyak tegangan lentur daripada 2%, 4%, 6% dan 8% serta hilangnya kekuatan lentur akibat buruknya kompabilitas bubuk pengisi dengan serat dan matriks (Hiremath, 2016). Dan juga penambahan partikel yang kaku menyebabkan peningkatan kerapuhan komposit (Norzali, 2010). Hasilnya memenuhi kekuatan bending INKA untuk interior kereta api pada *interior panel, front end mask, passenger seat, toilet dan luggage rack cover* sebesar minimum 140 MPa (Inka, 2010).



Gambar 4.9 Modulus Bending Material Komposit GFRP Dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

Dari Gambar 4.9 ditunjukkan rata rata modulus bending komposit GFRP dengan penambahan Aluminium Hidroksida

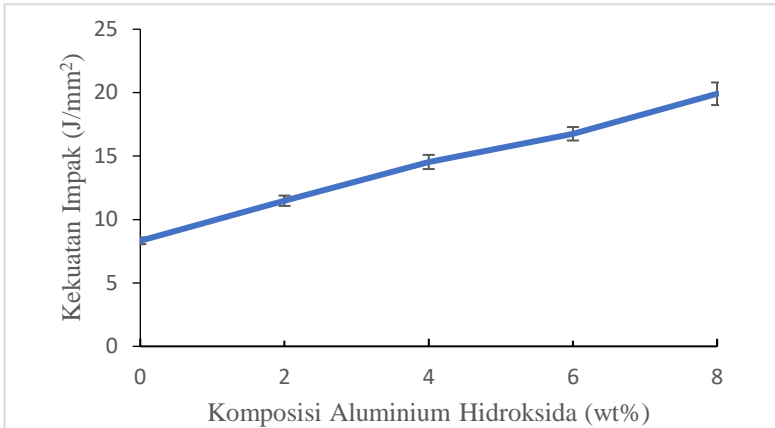
sebesar 0, 2, 4, 6 dan 8 % yaitu 6026,42 MPa, 5127,36 MPa, 5107,67 MPa, 5028,62 MPa dan 4966,62 MPa. Terjadi penurunan nilai modulus bending komposit GFRP seiring dengan penambahan Aluminium Hidroksida. Tegangan maksimum bending rendah untuk komposit yang memiliki Alumunium Hidroksida yang tinggi dikarenakan gaya antar molekul lebih kuat sehingga komposit mudah patah. Oleh karena itu Aluminium Hidroksida bertindak sebagai pengotor untuk kekuatan tarik dan flexural beserta modulusnya (lee, 2013). Hasilnya memenuhi kekuatan bending INKA untuk interior kereta api pada *interior panel, front end mask, passenger seat, toilet dan luggage rack cover* sebesar minimum 4500 MPa (Inka, 2010).

4.6 Analisis Kekuatan Impak Material *Glass Fiber Reinforced Polymer*

Salah satu cara dalam menentukan sifat mekanik sebuah material adalah dengan mengukur kekuatan impak. Kekuatan impak adalah ketangguhan suatu spesimen dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Ketangguhan merupakan ukuran suatu energi yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak suatu bahan yang diukur dari luas daerah di bawah kurva tegangan regangan. Hasil pengujian kekuatan impak ditunjukkan oleh Tabel 4.6.

Tabel 4. 1 Kekuatan Impak Komposit GFRP dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

| Komposisi Al(OH) ₂ (% wt) | Kekuatan Impak (J/cm ²) |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 8.32±0.26 |
| 2 | 11.47±0.40 |
| 4 | 14.53±0.55 |
| 6 | 16.75±0.53 |
| 8 | 19.91±0.88 |



Gambar 4.10 Kekuatan Impak Material Komposit GFRP Dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

Dari Gambar 4.10 rata-rata kekuatan impak material GFRP pada penambahan Aluminium Hidroksida sebesar 0, 2, 4, 6 dan 8% adalah 8.322 J/cm² , 11.478 J/cm² , 14.535 J/cm² , 16.759 J/cm² dan 19.911 J/cm² dapat dilihat pengaruh penambahan Aluminium Hidroksida terhadap kekuatan impak. Semakin tinggi penambahan Aluminium Hidroksida semakin tinggi nilai kekuatan Impak pada material GFRP. Hal ini disebabkan karena Aluminium Hidroksida meningkatkan kapasitas penyimpanan energi dengan meningkatkan kekuatan *interface* pada matriks, juga mendeformasi ke seluruh struktur komposit sehingga menyerap energi lebih banyak (Morada, 2017). Kekakuan berbanding lurus dengan kekerasan partikulat mengisi matriks yang menyebabkan atom atom komposit lebih rapat (Bhagwan, 1980). Hasilnya memenuhi kekuatan impak INKA untuk interior kereta api pada *interior panel*, *front end mask*, *passenger seat*, *toilet* dan *luggage rack cover* sebesar minimum 4,5 J/mm² (Inka, 2010).

4.7 Analisis *Fire Retardant Material Glass Fiber Reinforced Polymer Ore B 106*

Pengujian Fire Retardant menggunakan standart Ore Test Metode A dengan prosedur Ore B 106. Prinsip kerja dari alat uji ini adalah spesimen dimiringkan 45 derajat secara horisontal terkena paparan api etanol selama 4 menit. Dari pengujian tersebut diamati luas spesimen yang terbakar dan GFRP memadamkan api dengan sendirinya dalam satuan waktu.



(a)

(b)

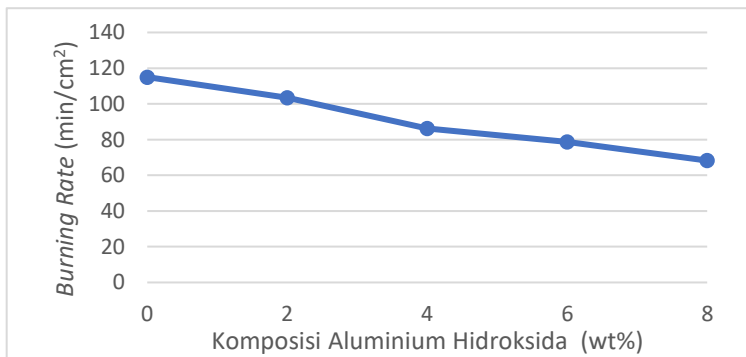
Gambar 4.11 Pengujian Ketahanan Bakar Ore B Burning (a) Peletakan Spesimen (b) Temperatur Bakar

Dari hasil pengujian didapatkan penambahan Aluminium Hidroksida 0% waktu spesimen memadamkan api sebesar 1 menit 3 detik dan luas spesimen terbakar 460 cm², penambahan Aluminium Hidroksida 2 % sebesar 49 detik dan 414 cm², penambahan Aluminium Hidroksida 4% sebesar 40 detik dan 345 cm², penambahan Aluminium Hidroksida 6% sebesar 29 detik dan 315 cm² dan penambahan Aluminium Hidroksida 8% sebesar

20 detik dan 273 cm². Hasil dari *burning rate* ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 *Burning Rate* Komposit GFRP dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

| Komposisi Al(OH) ₂ (% wt) | <i>Burning Rate</i> (Min/cm ²) |
|--------------------------------------|--|
| 0 | 115 |
| 2 | 103.5 |
| 4 | 86.25 |
| 6 | 78.75 |
| 8 | 68.25 |



Gambar 4.12 *Burning Rate* Material Komposit GFRP Dengan Penambahan Aluminium Hidroksida

Dari Gambar 4.12 didapatkan *burning rate* komposit GFRP penambahan 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% aluminium hidroksida berturut turut sebesar 115, 103.5, 86.25, 78.75 dan 68.25 cm²/min. Semakin banyak penambahan Aluminium Hidroksida maka semakin menurun *burning rate* pada komposit GFRP. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya penambahan Aluminium Hidroksida semakin banyak *flame retardant* yang akan menjadi komposit di matriks (reza, 2013). Aluminium

Hidroksida akan mengambil sejumlah panas pada saat pembakaran, melepaskan uap air dan menekan asap (Hiremath, 2016). Hasilnya tidak memenuhi standar INKA untuk interior kereta api pada *interior panel*, *front end mask*, *passenger seat*, *toilet* dan *luggage rack cover* sebesar luasan kurang dari 250 cm² dan lama material memadamkan api selama 10 detik (Inka, 2010).

4.8 Analisis *Fire Retardant Material Glass Fiber Reinforced Polymer*UL 94

Selain standar ORE, spesime diuji dengan menggunakan standar UL-94 Horizontal Burning (HB) yang dilakukan di Laboratorium Inovasi Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember.



(a)

(b)



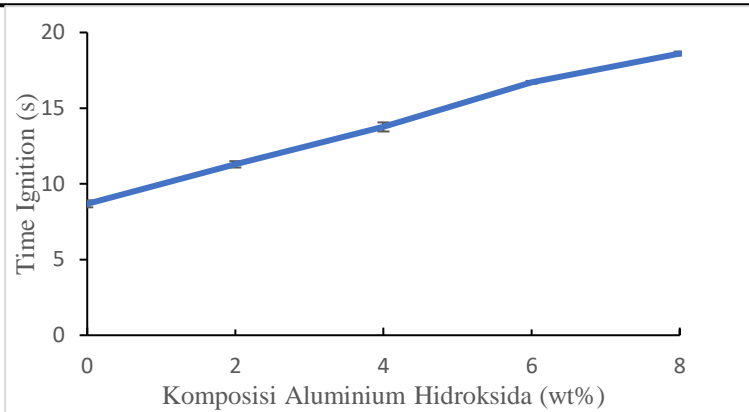
(c)

Gambar 4.13 Pengujian Ketahanan Bakar UL-94 Horizontal Burning (a) Peletakan Spesimen (b) Penyalaan Temperatur Awal (c) Penyalaan Temperatur Pembakaran

Pengujian UL-94 HB dilakukan dengan menyiapkan spesimen berupa balok dengan dimensi 125x13x3 mm, meletakkannya pada penjepit dalam posisi horizontal dan membakar salah satu ujung spesimen seperti pada Gambar 4.2 (a). Data yang diperoleh berupa waktu yang dibutuhkan untuk penyalaan sejak api berada pada jarak 2 mm dari spesimen (*time of ignition*). Hasil dari *burning rate* dan *time of ignition* ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Bakar UL-94 HB Material Komposit GFRP

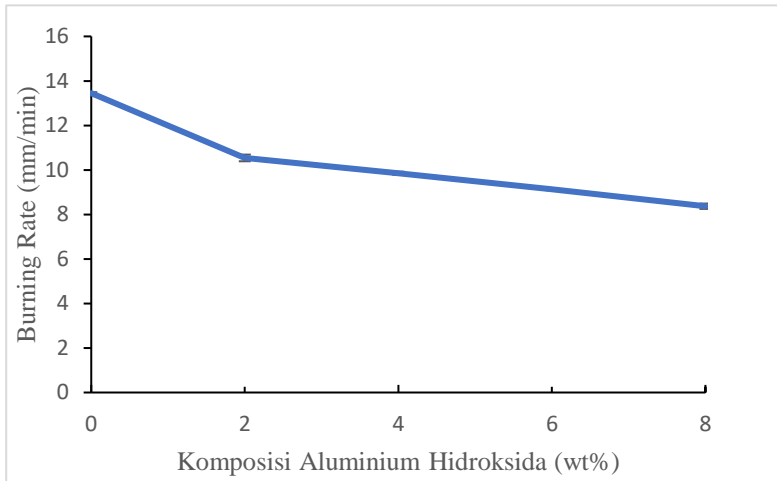
| Komposisi Al(OH) ₂ (% wt) | <i>Time of Ignition</i> (s) | <i>Burning Rate</i> (mm/min) |
|---|-----------------------------|------------------------------|
| 0 | 8.68±0.23 | 13.45±0.04 |
| 2 | 11.29±0.21 | 10.54±0.15 |
| 4 | 13.76±0.30 | 9.85±0.07 |
| 6 | 16.71±0.09 | 9.13±0.04 |
| 8 | 18.61±0.13 | 8.37±0.12 |



Gambar 4.14 Grafik *Time of Ignition* Material Komposit GFRP

Dari hasil waktu penyalan yang dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 4.7 bahwa waktu terlama diperoleh pada komposit GFRP dengan penambahan $\text{Al}(\text{OH})_2$ sebanyak 8% yakni sebesar 18.61 detik. Sedangkan waktu penyalan terendah didapat pada penambahan $\text{Al}(\text{OH})_2$ sebanyak 0% yakni sebesar 8.68 detik. Pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.14, terlihat trend yang muncul yakni kenaikan waktu penyalan material GFRP seiring pertambahan komposisi Aluminium Hidroksida.

Waktu penyalan adalah salah satu indeks penting dalam evaluasi resiko terbakar material. Adisi Aluminium Hidroksida dapat memperlama waktu pembakaran secara signifikan sehingga material lebih aman. Mekanisme penahanan api dimulai saat api berkontak dengan material, yakni dengan penahanan panas menggunakan metode dekomposisi termal. Aluminium Hidroksida memiliki stabilitas termal baik dan temperatur dekomposisi yang berada di 220 °C (Mark,2015).



Gambar 4.15 Grafik *Rate of Burning* Material Komposit GFRP

Dari hasil kecepatan pembakaran yang dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 4.7 bahwa kecepatan pembakaran terendah diperoleh pada komposit GFRP dengan penambahan $\text{Al}(\text{OH})_2$ sebanyak 8% yakni sebesar 8.37 mm/menit. Sedangkan kecepatan pembakaran tertinggi didapat pada penambahan $\text{Al}(\text{OH})_2$ sebanyak 0% yakni sebesar 13.45 mm/menit. Pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.15, terlihat trend yang muncul yakni penurunan kecepatan pembakaran material GFRP seiring pertambahan komposisi Aluminium Hidroksida.

Penambahan jumlah aluminium hidroksida dapat meningkatkan pelepasan air hasil dekomposisi termal dan melarutkan gas gas yang mudah terbakar sehingga memperlambat proses pembakaran dan mengurangi emisi asap (Rothon & Hornsby, 1996).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian Penambahan Aluminium Hidroksida Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit GFRP menunjukkan

1. Sifat mekanik Komposit GFRP dengan variasi penambahan Aluminium Hidroksida mengalami penurunan kekuatan tarik, kekuatan bending dan *burning rate*. Mengalami peningkatan kekuatan impact dan kekerasan. Kekuatan Tarik dan kekuatan bending Komposit GFRP memiliki nilai maksimal pada penambahan 0% dengan nilai kekuatan 145.53 MPa dan 212.735 MPa. *Burning Rate*, kekuatan impact dan kekerasan memiliki nilai maksimal pada penambahan 8% dengan nilai 68.25 cm²/min, 8.37 mm/min, 19.911 J/mm² dan 78 Barcol.
2. Secara morfologi, Dengan Penambahan Aluminium Hidroksida pada Komposit GFRP mengalami penurunan intensitas absorbansi dan ikatan pada daerah serapan FTIR. Pada SEM memperluas daerah interface matriks, mengurangi void dan atom atom pada serat dan matriks lebih rapat.

5.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya:

1. Menggunakan sistem vakum untuk mengurangi terbentuknya *bubble* pada matriks
2. Menambah komposisi Aluminium Hidroksida sehingga pada *fire retardant* sesuai standar

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. (2000). Aplikasi GFRP untuk Komponen Gerbong Kereta Api. **PT INKA**, 3.
- ASM. (2003). **Handbook Composite Vol 21 (21 ed.)**. United State : ASTM International.
- Astika. (2012). Analisa Delaminasi Pada Glass Fiber Reinforced Polymer Komposit Laminat Dengan Pembebanan Fatigue. **Jurnal Fakultas Teknik Unud**.5.
- ASTM, I. (2012). **ASTM D256Drop Weight Impact Test**. Taipei: r&B.
- Barker, E. (1984). **A Comparative Study of the Corrosion Resistance Unsaturated Polyester**. Society Plastics Industry, 2, 523.
- Bhagwan. (1980). **Analysis of Performance Fiber Composite**. Daryagani: John Wiley Inc.
- Boenig. (1970). **Sintesis, Manufacturing and Processing Polyester**. New Zealand: S.P Univercity.
- Brydson. (1999). **Unsaturated Polyester Resin**. London: El Siever.
- Calister, W. (2001). **Materials Science and Engineering Introduction**. New York: Wiley Sons Inc.
- Campbell, f. (2010). **Structural Composite Materials**. Ohio: ASM International.
- Charless, H. (2000). **Modern Plastics Handbook (2 ed.)**. San Fransisco: Mc Graw Hill.
- Dacriyanus. (2004). **Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektrokopi**. padang: Universitas Andalas.
- G.Camino, L. &. (1991). **Polymer Degradation and Stability (33 ed.)**. Toronto: El Seiver.
- Goldpinar. (2005). Comparative Analysis Of Materials In Recreational Boat Design Fiber Reinforced Plastic Boat . Turkey: **Izmir Institute Technology**.
- Goodman, S. (1999). **Handbook of Thermoset Plastics**. United State: Mc Graw Hill.

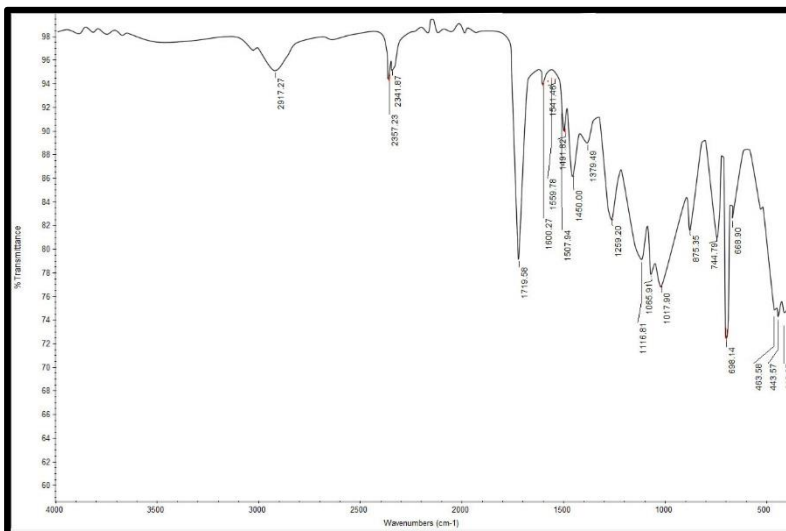
- Hiremath, P. (2016). Investigation on Effect Aluminium Hydroxide On Mechanical and Fire Retardant Properties of GFRP Composite. **Journal Manipal Institute India**, 10953.
- Hotnyda, S. (2016). Komposit Fiber Reinforced Plastic Sebagai Material Body Kapal Berbasis Fiberglass Tahan Api. **Jurnal Fakultas Teknik UPN Veteran Jakarta**, 261-266.
- Imron. (2004). Pembuatan dan Perawatan Kapal Fiberglass Ukuran 5 GT. Penyuluhan Pembuatan Perawatan Perahu Kapal Fiberglass di Pelabuhan ratu. Bogor. **Jurnal Unpad**, 67-68.
- Inka. (2010). Spesifikasi Teknis Material GFRP Glass Fibre Fire Retardant. Spesifikasi **PT INKA PERSERO**, 3-4.
- James. (2013). Modification Of Fiber Reinforced Plastic by Nanofiller. **International Journal of Engineering And Inovation**, 5.
- Khamur. (2018). Comparative Study of Aliphatic and Aromatic Compounds. **Pharma Innovation**, 4-5.
- Khopkar. (1990). **Konsep Dasar Kimia Analitik**. Jakarta: Universitas Indonesia.
- knuuthien. (2006). Two Case Studies of Unsaturated Polyester Composite Art Object. Vaanta: **e preservation science**.
- Kumar, K. (2018). Improvement of Mechanical Properties of Neat GFRP with Multi Walled CNT. **Journal of Material Research and Technology**.2.
- Kurtz. (1998). Composite Materials . **Journal West Virginia University**, 32, 1560.
- lee. (2013). Effect of Concentration ATH on Mechanical Properties of Polypropylene/ATH Composite. **Science press**, 2.
- Mark, W. (2015). Overview of Flame Retardant. **Journal Martin Marrita**, 2.

- Mazumdar, S. K. (2002). **Composites Manufacturing : materials, product, and process**. Florida,USA: CRC Press.
- Morada. (2017). low velocity of impact resistance composite ath/epoxy sandwich panel . **International Journal of Canada**, 34.
- Naresh. (2018). Analitical of Tensile GFRP Hybrid Composite. **Journal Madras**, 6-8.
- Nayiroh, N. (2013). **Teknologi Material Komposit**. Jurnal Material Komposit, 53-55.
- Norzali, A. (2010). Effect of Aluminum Hydroxide Loading on the Compression Stress and Modulus, Thermal Conductivity and Acoustic Properties of Palm-Based Polyurethane Hybrid Composite. **Journal Universiti Sains Malaysia**, 380.
- Oscar, Z. (2006). **Unsaturated Polyester and Vinyl Ester Resin**. Wallace: Mc Graw Hill.
- Parker, E. (1959). **Plastics**.
- Pervaiz. (2015). **Extraction And Applications of Aluminium Hydroxide From Bauxite For Consumption.**, 3.
- Rana, S. (2016). **Fibrous and Textile Materials for Composite Applications**. Hongkong: Springer.
- Rasha. (2017). Synthesis and Characterization of Unsaturated Polyester and Studying Their Thermo Properties. **Chemistry Material Research**, 3-5.
- Reza. (2013). Mechanical Properties ATH filled Polypropylene/Ethylene proplene diene Monomer Composite for Cable Application. **Sains Malaysia**, 2-3.
- Rothon, R. N., & Hornsby, P. R. (1996). Flame Retardant Effect of Magnesium Hydroxide. **Polymer Degradation and Stability**, 383-385.
- Shukur, A. (1997). Pembuatan Panel Badan Kereta Lumba Formula M pada Polimer Komposit GFRP. **Jurnal Teknik Universiti Malaysia**, 55-56.

- Sigit, T. (2016). Pengaruh Komposisi Material Biokomposit dengan Matriks Polyester Berpenguat Serat Alam Terhadap Kekuatan Mekanik dan Fisik. **Jurnal Institut Teknologi Sepuluh Nopember**, 2-3.
- Sulistijono. (2012). **Mekanika Material Komposit**. Surabaya: ITS.
- Syamsul, A. (2011). Desain dan Kontruksi Kapal Fiberglass di PT Carita Boat Indonesia. **Jurnal IPB**, 39-43.
- W.D. Callister, D. G. (2014). **Material Science and Engineering An Introduction**. USA: Wiley.
- Wells. (1984). Debonding and Fibers Pull Out Process in Fibrous Composite. **Journal Material Science**, 198-217.
- Yudho, H. (2008). Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Dan Impak. **Jurnal Fakultas Teknik Undip**, 96-97.
- Yuvaraj, G. (2016). Investigation of Flexural and Water Absorption Behavior of Composite Hybrid Epoxy. **Applied Science**, 8.
- Yuwandana, P. (2012). Desain dan Kontruksi Perahu Katamaran Fiberglass Untuk Wisata Pancing. **Jurnal Universitas Padjajaran**, 78-82.
- Zainuri. (2006). Studi Sifat Mekanik Aluminium Berpenguat Silika dengan Metode Metalurgi Serbuk. **Jurnal ITS**, 49

LAMPIRAN

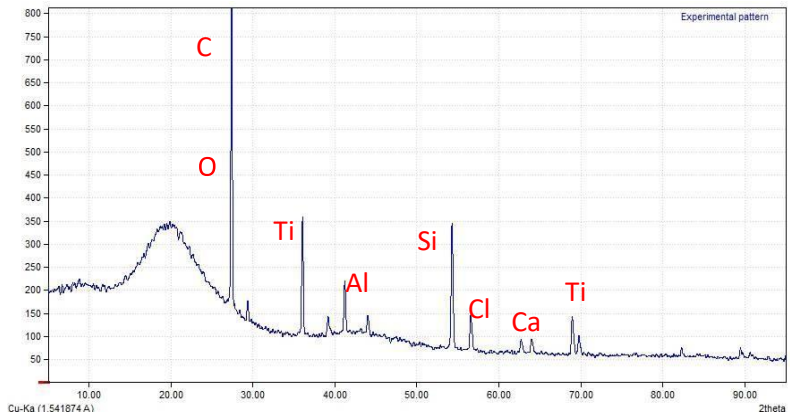
Lampiran A Analisa Data Material PT Inka Persero FTIR



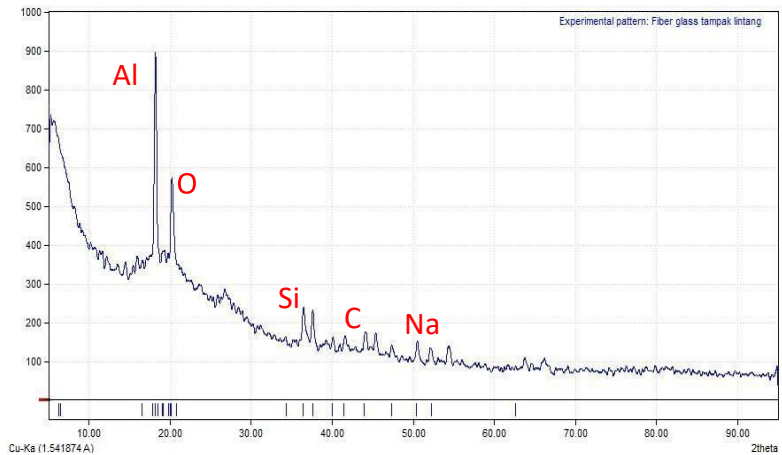
| Peak | Rentang Peak | Gugus Fungsi |
|---------|--------------|--|
| 2917.27 | 3000-2840 | C-H stretching Alkane |
| 1719.58 | 1730-1715 | C=O stretching α,β unsaturated ester |
| 1600.27 | 1650-1600 | C=C stretching Conjugated Alkene |
| 1559.78 | 1550-1500 | N-O stretching |

| | | |
|---------|-------------|--------------------------------------|
| | | Nitro compound |
| 1450 | 1450 | C-H bending Alkane |
| 1259.2 | 1310 - 1250 | C-O stretching Aromatic ester |
| 1116.81 | 1110 - 1080 | Si-O |
| 1065.91 | 1095-1075 | Si-O-Si Organic Siloxane/Silicone |
| 668.9 | | AlO |

XRD Penampang Atas

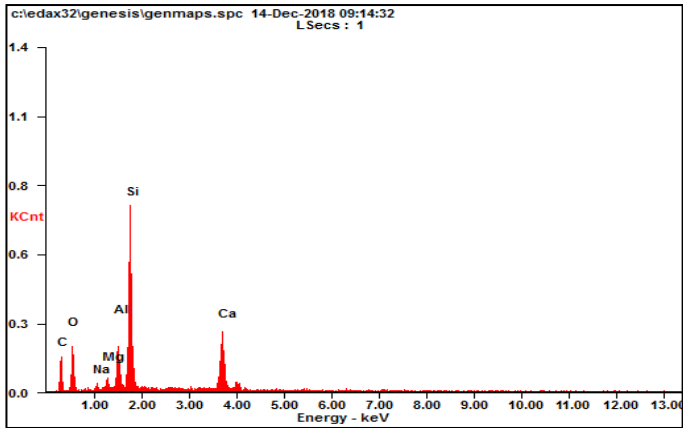


XRD Penampang Melintang

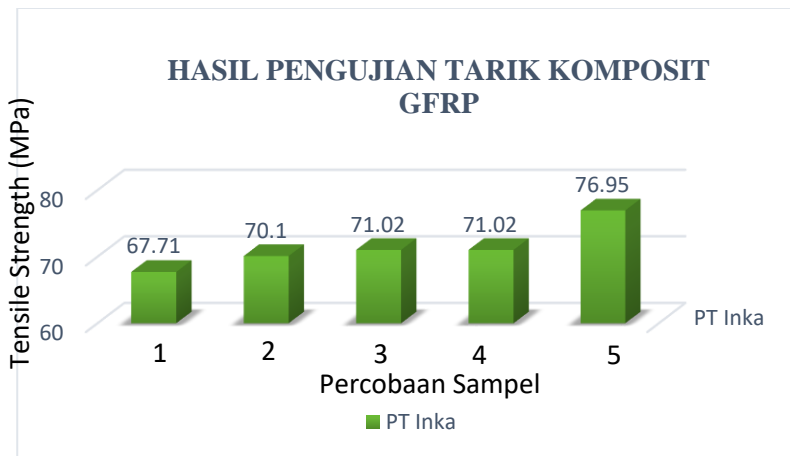


SEM EDX

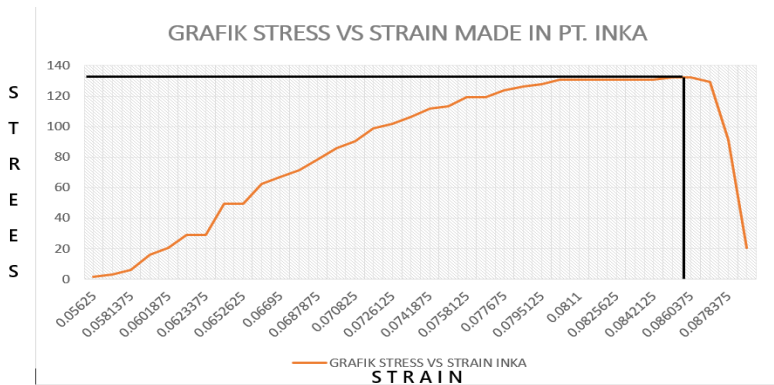
| Unsur | Wt% | At% |
|--------|-----------|-------|
| CK | 18.03 | 29.79 |
| OK | 18.57 | 35.45 |
| NaK | 00.85 | 00.74 |
| AlK | 16.60 | 04.86 |
| SiK | 27.78 | 19.64 |
| CaK | 16.50 | 08.17 |
| Matrix | Corection | ZAF |



Tarik



Bending



Hasil Kekuatan Bending GFRP PT Inka 125 MPa, 132 MPa dan 130 MPa

Lampiran B

Rule Of Mixture Komposit

A. Rule of Mixture Penyusutan Komposit

ρ Unsaturated Polyester = 1,1 gr/cm³

ρ Woven Roving = 0,6 gr/cm³

ρ Chopped = 0,3 gr/cm³

ρ MEKP = 1,17 gr/cm³

ρ Cobalt N = 1,924 gr/cm³

ρ ATH = 1,49 gr/cm³

Cetakan 20 x 20 cm dengan ketebalan 1 cm 400 cm³ atau 400 ml

Matriks 60% = UPS, Katalis dan Cobalt sebesar 265 ml

Filler 40% = Woven 3 lembar

Chopped 4 lembar sebesar 152 ml

$$\rho_c = v_m \times \rho_m + v_f \times \rho_f$$

$$\rho_f = v_{\text{chopped}} \times \rho_{\text{chopped}} + v_{\text{woven}} \times \rho_{\text{woven}}$$

$$= 4/7 \times 0,3 + 3/7 \times 0,6$$

$$= 0,171 + 0,2571 = 0,4281$$

$$\rho_c = 0,4 \times 1,1 + 0,6 \times 0,4281$$

$$= 0,6968 \text{ gr/cm}^3$$

Hasil pengerjaan = **0,5 cm** ketebalan tinggi

Berat 139 gram

$$\rho_c = m_c/v_c, \text{ Ketebalan} = 199,48/400 = \mathbf{0,49 \text{ cm}}$$
 Hasil Teori

$$0,6968 = 139/v_c$$

$$V_c = 199,48 \text{ cm}^3 \quad \mathbf{\text{Jadi Penyusutan} = 265 - 199,48/265 = 24,7\%}$$

B.Rule of Mixture Sifat Mekanik

| Type | Chopped Fabric | Bidir/Woven Fabric |
|-----------------------|----------------|--------------------|
| Tensile Strength MPa | 100 | 460 |
| Tensile Modulus GPa | 7.7 | 22 |
| Flexural Strength MPa | 180 | 600 |
| Flexural Modulus GPa | 7 | 21 |

(George,1982)

Unsaturated Polyester (Charles,2000)

| | |
|--------------------------|-----|
| Barcol Hardness (D2583) | 47 |
| Defleksi panas (D 648) | 87 |
| Kuat Tarik,MPa(D638) | 80 |
| Modulus Tarik,MPa (D638) | 512 |

| | |
|--------------------------|-----|
| Kuat Lentur,MPa(D790) | 135 |
| Modulus lentur,MPa(D790) | 600 |
| Elongasi Tarik %(D638) | 1,5 |

1. Tensile Strength Rule of Mixture

$$\text{Tensile Strength (Upper)} = T_{sm} \times V_m + T_{sf} \times V_f$$

$$T_{sf} = v_{chopped} \times t_{schopped} + v_{woven} \times t_{swoven}$$

$$4/7 \times 100 + 3/7 \times 460 = 57,14 + 197,14 = 254,28$$

$$\text{Tensile Strength (Upper)} = 80 \times 0,6 + 254,28 \times 0,4 = 149,712 \text{ MPa}$$

$$\text{Tensile Strength (Lower)} = T_{sm} \times T_{sf} / V_m \times T_{sf} + V_f \times T_{sm}$$

$$80 \times 254,28 / 176,568 = 115,21 \text{ Mpa}$$

2 Flexural Strength Rule of Mixture

$$\text{Flexural Strength (Upper)} = F_{sm} \times V_m + F_{sf} \times V_f$$

$$F_{sf} = v_{chopped} \times f_{schopped} + v_{woven} \times f_{swoven}$$

$$4/7 \times 180 + 3/7 \times 600 = 102,85 + 257,14 = 359,99$$

$$\text{Flexural Strength (Upper)} = 135 \times 0,6 + 359,99 \times 0,4 = 224,99 \text{ MPa}$$

$$\text{Flexural Strength (Lower)} = F_{sm} \times F_{sf} / V_m \times F_{sf} + V_f \times F_{sm}$$

$$135 \times 359,99 / 269,99 = 180 \text{ MPa}$$

3 Modulus Flexural Rule of Mixture

$$\text{Flexural Modulus (Upper)} = F_{mm} \times V_m + F_{mf} \times V_f$$

$$F_{mf} = v_{chopped} \times f_{mchopped} + v_{woven} \times f_{mwoven}$$

$$4/7 \times 7 + 3/7 \times 21 = 13$$

$$\text{Flexural Modulus (Upper)} = 0,6 \times 0,6 + 13 \times 0,4 = 5,56 \text{ GPa}$$

$$\text{Flexural Modulus (Lower)} = \frac{F_{mm} \times F_{mf}}{V_m \times F_{mf} + V_f \times F_{mm}} = 0,6 \times 13/8,04 = 0,97 \text{ GPa}$$

Lampiran C

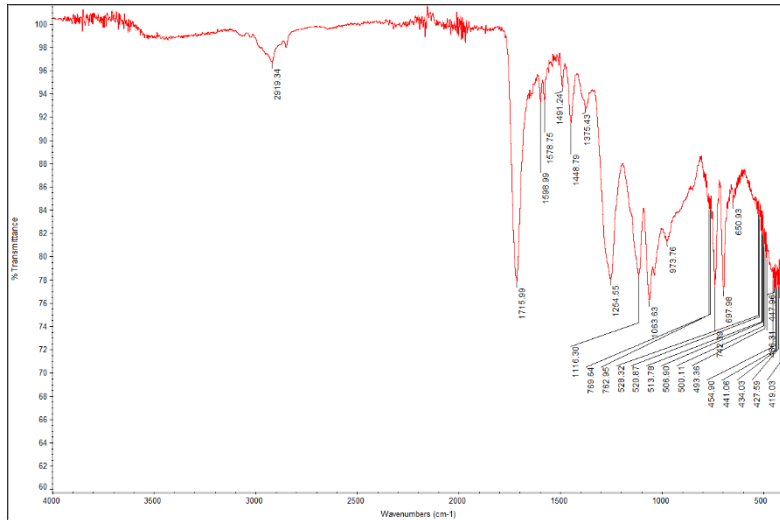
Road Map

| 2011-2013 | 2014 | 2015-2016 | 2017-2018 |
|--|---|--|---|
| <p>“Effect of Aluminum Hydroxide Loading on the Compression Stress and Modulus, Thermal Conductivity of Palm-Based Polyurethane Hybrid Composite” oleh Norzali dkk.</p> <p>Sains Malaysiana (2011) 1-3</p> <p>Dari hasil penelitian diperoleh Penambahan ATH 2,4 dan 6 % dapat meningkatkan tekanan kompresi namun menurunkan modulus elastisitas Meningkatkan nilai konstanta termal dan menurunkan konduktivitas termalnya.</p> | <p>“Mechanical Properties of GFRP Filled Aluminum Hydroxide.” oleh Petersen dkk.</p> <p>Composite Part. B (2014)</p> <p>Dari hasil penelitian diperoleh semakin meningkatnya kandungan aluminium hidroksida sebanyak 0,25 dan 50% akan semakin keras dan kaku GFRP sehingga kompresi akan naik sedangkan kuat lentur akan turun.</p> | <p>“Mechanical and Flame Retardant Composite Polyactide Filled ATH with Hyperbranched Polymer” oleh Chen dkk.</p> <p>Composite and Technology Vol 18 (186-192), 2015</p> <p>Dari hasil penelitian tersebut diperoleh penambahan ATH 1, 3 dan 5 % akan menurunkan kelenturan tarik dan juga menurunkan burning rate pada pengujian UL 94 dengan pemanasan api 336 °C</p> | <p>“Low-velocity impact resistance of ATH/epoxy core sandwich composite panels: Experimental and numerical analyses” oleh Morsada dkk.</p> <p>Composite Part. B (2017)</p> <p>Hasil Penelitian menunjukkan penambahan ATH dapat memperbesar energi impak ditunjukkan dengan model deformasi pada 40 joule dan menurunkan burning rate pada material GFRP</p> |
| <p>“Mechanical Properties of Alumina Trihydroxide Filled Polypropylene/Ethylene Propylene Diene Monomer Composites for Cable Applications.” oleh Raza Hasemi dkk.</p> <p>Sains Malaysiana 3-4</p> <p>Dari hasil penelitian diperoleh semakin meningkat kandungan ATH semakin naik kekerasan dan modulus tegangan namun turun kekuatan tegangan.</p> | | <p>“Investigation on Effect ATH on Mechanical Properties and Flame Retardant Composite GFRP” oleh Hiremath dkk.</p> <p>Proceedings 4v(2016)</p> <p>Dari hasil penelitian diperoleh penambahan ATH sebesar 0, 3 dan 6 % akan mengakibatkan turunya sifat mekanik tarik dan bending serta turunya burning rate dari spesimen GFRP.</p> | <p>“Comparison of ATH and SiO2 Filled Silicon Rubber Composite for HTV Insulator” oleh Yang Xue dkk.</p> <p>Composite and Technology Vol 18 (2018)</p> <p>Dari hasil penelitian diperoleh meningkatkan kekerasan menurunkan kelenturan tarik dan menurunkan konduktivitas listrik dengan penambahan aluminium hidroksida 20% wt</p> |

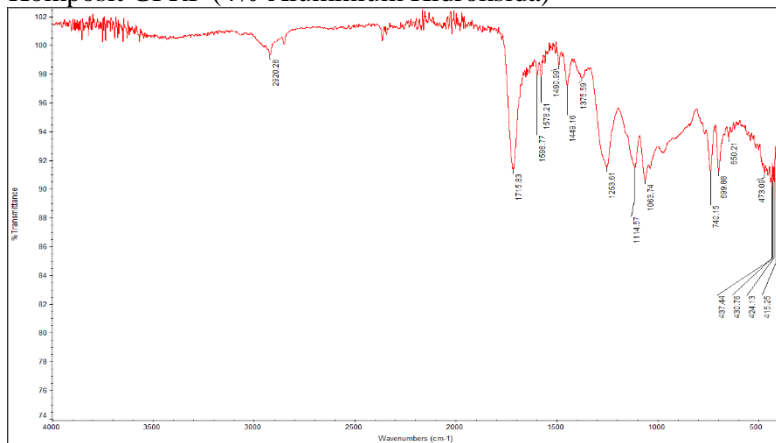
Lampiran D

Pengujian FTIR

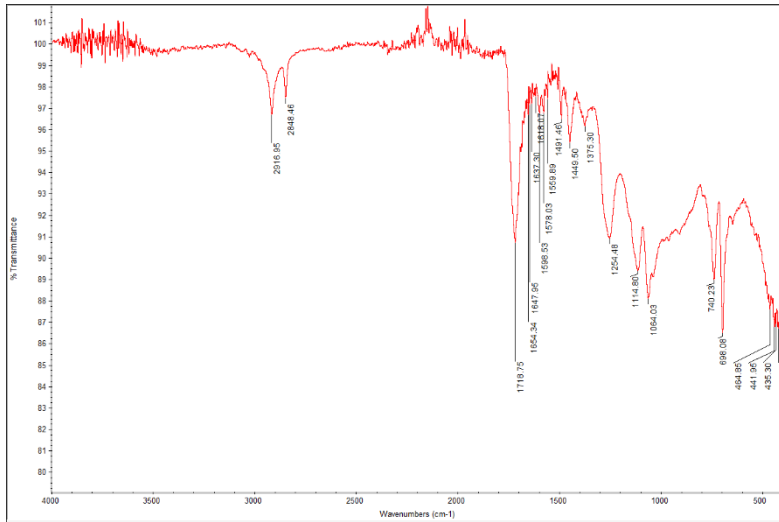
1. Komposit GFRP(0% Aluminium Hidroksida)



2. Komposit GFRP (4% Aluminium Hidroksida)



3. Komposit GFRP(8% Aluminium Hidroksida)



Lampiran E

Data Pengujian Kekerasan

| No | Kode | left | middle | right | average | StDev |
|----|---------|------|--------|-------|---------|----------|
| 1 | 0% AlOH | 70 | 72 | 69 | 70,3333 | 1,527525 |
| 2 | 2% AlOH | 72 | 75 | 77 | 74,6667 | 2,516611 |
| 3 | 4% AlOH | 79 | 78,5 | 80 | 79,1667 | 0,763763 |
| 4 | 6% AlOH | 82 | 84 | 84 | 83,3333 | 1,154701 |
| 5 | 8% AlOH | 85 | 86 | 85 | 85,3333 | 0,57735 |

Approximate Conversion Chart GYZJ-935 and GYZJ-936

| GYZJ-935 & 936 | Type D Durameter | | GYZJ-935 & 936 | Type D Durameter | | GYZJ-935 & 936 | Type D Durameter | |
|----------------|------------------|----------|----------------|------------------|----------|----------------|------------------|----------|
| | GYZJ-935 | GYZJ-936 | | GYZJ-935 | GYZJ-936 | | GYZJ-935 | GYZJ-936 |
| 4 | 64 | | 30 | | | 58 | 78 | 72 |
| 6 | | 52 | 32 | 70 | 60 | 60 | | 73 |
| 8 | 65 | | 34 | | 61 | 62 | 79 | 74 |
| 10 | | 53 | 36 | 71 | 62 | 64 | 80 | 75 |
| 12 | 66 | | 38 | | 63 | 66 | 81 | 76 |
| 14 | | 54 | 40 | 72 | 63 | 68 | 82 | 77 |
| 16 | 67 | | 42 | | 64 | 70 | | 78 |
| 18 | | 55 | 44 | 73 | 64 | 72 | 83 | 79 |
| 20 | 68 | | 46 | | 65 | 74 | 84 | 80 |
| 22 | | 56 | 48 | 74 | 66 | 76 | | 81 |
| 24 | 69 | | 50 | | 67 | 78 | 85 | 83 |
| 26 | | 57 | 52 | 75 | 68 | 80 | 86 | 84 |
| 28 | | 58 | 54 | | 69 | 82 | 87 | 85 |
| | | 59 | 56 | 76 | 69 | 84 | 88 | 86 |
| | | | | 77 | 70 | 86 | 89 | 87 |
| | | | | | 71 | 88 | n/a | 89 |

Approximate Conversion Chart for GYZJ 934-1

| 934-1 | Brinnell | Vickers | Rockwell | | | | 934-1 | Brinnell | Vickers | Rockwell | | | |
|-------|----------|---------|----------|----|----|----|-------|----------|---------|----------|-----|-----|-----|
| | | | B | E | F | H | | | | B | E | F | H |
| 35 | | 23 | | | | 32 | 88 | 80 | 84 | | 71 | 69 | 94 |
| 36 | | 23 | | | | 33 | 89 | 82 | 87 | | 73 | 71 | 95 |
| 37 | | 24 | | | | 37 | 90 | 84 | 89 | 18 | 74 | 73 | 96 |
| 38 | | 24 | | | | 40 | 91 | 87 | 92 | 19 | 76 | 75 | 98 |
| 39 | | 25 | | | | 43 | 92 | 89 | 94 | 20 | 77 | 77 | 99 |
| 40 | 25 | 25 | | | | 45 | 93 | 91 | 96 | 21 | 79 | 79 | 100 |
| 41 | 26 | 26 | | | | 47 | 94 | 93 | 98 | 22 | 81 | 81 | 101 |
| 42 | 26 | 27 | | | | 49 | 95 | 95 | 100 | 23 | 83 | 83 | 102 |
| 43 | 27 | 27 | | | | 52 | 96 | 97 | 102 | 24 | 84 | 84 | 103 |
| 44 | 27 | 28 | | | | 54 | 97 | 99 | 104 | 25 | 86 | 86 | 104 |
| 45 | 27 | 20 | | | | 56 | 98 | 101 | 106 | 26 | 88 | 87 | 105 |
| 46 | 28 | 30 | | | | 58 | 99 | 103 | 108 | 27 | 89 | 88 | 106 |
| 47 | 29 | 32 | | 24 | | 61 | 100 | 105 | 110 | 28 | 91 | 89 | 107 |
| 48 | 30 | 33 | | 25 | | 63 | 101 | 107 | 112 | 29 | 93 | 91 | 108 |
| 49 | 31 | 34 | | 28 | | 64 | 102 | 109 | 114 | 30 | 95 | 93 | 109 |
| 50 | 32 | 35 | | 30 | | 66 | 103 | 111 | 116 | 31 | 97 | 95 | 110 |
| 51 | 33 | 36 | | 33 | | 68 | 104 | 113 | 118 | 32 | 99 | 97 | 111 |
| 52 | 34 | 38 | | 36 | | 70 | 105 | 115 | 120 | 33 | 101 | 99 | 112 |
| 53 | 35 | 39 | | 39 | 29 | 72 | 106 | 117 | 122 | 34 | 103 | 101 | 113 |
| 54 | 37 | 41 | | 42 | 33 | 73 | 107 | 119 | 124 | 35 | 105 | 103 | 114 |
| 55 | 38 | 42 | | 44 | 38 | 75 | 108 | 121 | 126 | 36 | 107 | 105 | 115 |
| 56 | 39 | 44 | | 46 | 40 | 76 | 109 | 123 | 128 | 37 | 109 | 107 | 116 |
| 57 | 40 | 45 | | 48 | 43 | 78 | 110 | 125 | 130 | 38 | 111 | 109 | 117 |
| 58 | 42 | 47 | | 51 | 47 | 80 | 111 | 127 | 132 | 39 | 113 | 111 | 118 |
| 59 | 44 | 48 | | 53 | 49 | 81 | 112 | 129 | 134 | 40 | 115 | 113 | 119 |
| 60 | 45 | 49 | | 55 | 51 | 83 | 113 | 131 | 136 | 41 | 117 | 115 | 120 |
| 61 | 47 | 51 | | 57 | 54 | 84 | 114 | 133 | 138 | 42 | 119 | 117 | 121 |
| 62 | 48 | 53 | | 59 | 56 | 86 | 115 | 135 | 140 | 43 | 121 | 119 | 122 |
| 63 | 50 | 55 | | 62 | 58 | 88 | 116 | 137 | 142 | 44 | 123 | 121 | 123 |
| 64 | 52 | 57 | | 64 | 61 | 89 | 117 | 139 | 144 | 45 | 125 | 123 | 124 |
| 64 | 54 | 58 | | 65 | 63 | 90 | 118 | 141 | 146 | 46 | 127 | 125 | 125 |
| 66 | 55 | 60 | | 67 | 65 | 91 | 119 | 143 | 148 | 47 | 129 | 127 | 126 |
| 67 | 58 | 62 | | 69 | 67 | 92 | 120 | 145 | 150 | 48 | 131 | 129 | 127 |

Lampiran F

Data Pengujian Bending

| Load(kg) | Load (kgf) | Panjang (mm) | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Area (mm ²) | Flexural Strength (MPa) | rata-rata (MPa) | StDev |
|---------------------|------------|--------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|----------|
| 124,2 | 1217,99 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 231,363 | | |
| 114,8 | 1125,80 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 213,853 | 212,735 | 19,212 |
| 103,6 | 1015,97 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 192,989 | | |
| 98,8 | 968,90 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 184,047 | | |
| 88,2 | 864,95 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 164,301 | 169,517 | 12,749 |
| 86 | 843,37 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 160,203 | | |
| 84,8 | 831,60 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 157,968 | | |
| 84,4 | 827,68 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 157,223 | 158,961 | 2,395 |
| 86,8 | 851,22 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 161,693 | | |
| 80,2 | 786,49 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 149,399 | | |
| 81 | 794,34 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 150,889 | 153,373 | 5,642 |
| 85,8 | 841,41 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 159,831 | | |
| 77,6 | 761,00 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 144,555 | | |
| 74,2 | 727,65 | 127,00 | 12,7 | 5 | 63,5 | 138,222 | 145,673 | 8,068 |
| max deflection (mm) | | | | | Modulus Flexural (MPa) | | | |
| | 3,78 | 152248241,3 | | 24003 | 6342,884 | | | |
| | 3,67 | 140725427,5 | | 23304,5 | 6038,552 | | | |
| | 3,51 | 126996117,5 | | 22288,5 | 5697,832 | 6026,422 | | 322,6972 |
| | 3,42 | 121112127,5 | | 21717 | 5576,835 | | | |
| | 3,41 | 108118316,3 | | 21653,5 | 4993,11 | | | |
| | 3,45 | 105421487,5 | | 21907,5 | 4812,119 | 5127,355 | | 399,6423 |
| | 3,12 | 103950490 | | 19812 | 5246,845 | | | |
| | 3,23 | 103460157,5 | | 20510,5 | 5044,253 | | | |
| | 3,33 | 106402152,5 | | 21145,5 | 5031,905 | 5107,668 | | 120,6889 |
| | 3,12 | 98311666,25 | | 19812 | 4962,228 | | | |
| | 3,13 | 99292331,25 | | 19875,5 | 4995,715 | | | |
| | 3,23 | 105176321,3 | | 20510,5 | 5127,926 | 5028,623 | | 87,61348 |
| | 3,02 | 95124505 | | 19177 | 4960,343 | | | |
| | 2,87 | 90956678,75 | | 18224,5 | 4990,901 | | | |
| | 3,23 | 101498827,5 | | 20510,5 | 4948,628 | 4966,624 | | 21,82541 |

Lampiran G

Data Pengujian Impak

| | | Energi | Lebar (cm) | Tebal (cm) | Area (cm ²) | Energy Impact (J/cm ²) | rata-rata |
|-------------------|--|--------|------------|------------|-------------------------|------------------------------------|-----------|
| Spesimen 1 | | 2,86 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 8,341 | 8,322 |
| | | 3,05 | 1,3 | 0,3 | 0,36 | 8,577 | |
| | | 2,76 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 8,049 | |
| Spesimen 2 | | 3,83 | 1,3 | 0,3 | 0,33 | 11,599 | 11,478 |
| | | 3,78 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 11,024 | |
| | | 3,90 | 1,3 | 0,3 | 0,33 | 11,811 | |
| Spesimen 3 | | 4,80 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 13,998 | 14,535 |
| | | 4,97 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 14,494 | |
| | | 4,99 | 1,3 | 0,3 | 0,33 | 15,112 | |
| Spesimen 4 | | 5,78 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 16,856 | 16,759 |
| | | 5,55 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 16,185 | |
| | | 5,91 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 17,235 | |
| Spesimen 5 | | 6,82 | 1,3 | 0,3 | 0,33 | 20,654 | 19,911 |
| | | 6,91 | 1,3 | 0,3 | 0,34 | 20,152 | |
| | | 6,73 | 1,3 | 0,3 | 0,36 | 18,926 | |

Lampiran H

Data Pengujian Fire Retardant

| Spesimen | Waktu(min) | Luas(cm ²) | Burning rate(cm ² /min) |
|----------|------------|------------------------|------------------------------------|
| 0 | 4 | 460 | 115 |
| 2 | 4 | 414 | 103,5 |
| 4 | 4 | 345 | 86,25 |
| 6 | 4 | 315 | 78,75 |
| 8 | 4 | 273 | 68,25 |

Penambahan Aluminium Hidroksida 0%



Penambahan Aluminium Hidroksida 2 %



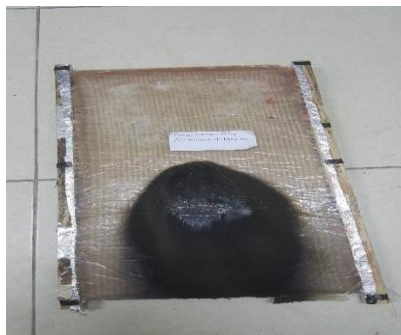
Penambahan Aluminium Hidroksida 4%



Penambahan Aluminium Hidroksida 6%



Penambahan Aluminium Hidroksida 8%



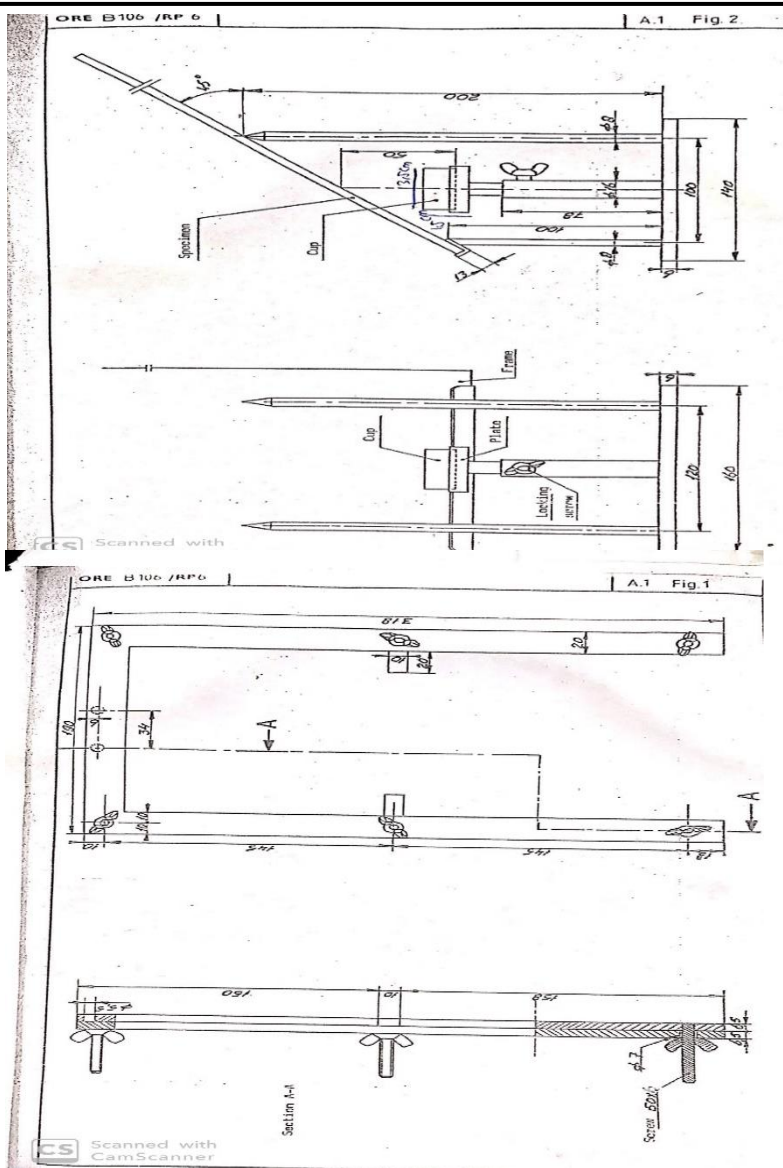
| Specimen | Time of Burning 0-25 | T5 | Average Time Ignition | set dev | Rate Of Br | Rate of Burning/mm/min | Set dev |
|----------|-------------------------|--------|-----------------------|-------------|------------|------------------------|-------------|
| 0a | 8,43 | 85,4 | 333,43 | 5,557166667 | 0,224935 | 13,49609 | |
| 0b | 8,74 | 85,75 | 335,67 | 5,5945 | 0,223484 | 13,40602 | |
| 0c | 8,89 | 85,86 | 334,32 | 5,572 | 0,224336 | 13,46016 | 0,046337 |
| 2a | 11,23 | 100,54 | 420,38 | 7,006333333 | 0,17841 | 10,7046 | |
| 2b | 11,53 | 102,56 | 426,67 | 7,111166667 | 0,17578 | 10,54679 | |
| 2c | 11,11 | 102,34 | 422,89 | 7,214833333 | 0,173254 | 10,59525 | 0,154686 |
| 4a | 13,42 | 124,86 | 453,96 | 7,566 | 0,165213 | 9,912788 | |
| 4b | 14,02 | 128,4 | 455,43 | 7,5905 | 0,16468 | 9,880772 | |
| 4c | 13,85 | 126,78 | 460,5 | 7,675 | 0,162866 | 9,771987 | 9,855175544 |
| 6a | 16,74 | 134,56 | 495,3 | 8,255 | 0,151423 | 9,085403 | |
| 6b | 16,6 | 136,86 | 490 | 8,166666667 | 0,153061 | 9,183673 | |
| 6c | 16,79 | 136,23 | 492,5 | 8,208333333 | 0,152284 | 9,137056 | 9,13377354 |
| 8a | 18,68 | 150,45 | 528,5 | 8,808333333 | 0,141911 | 8,514644 | |
| 8b | 18,45 | 153,56 | 540,6 | 9,01 | 0,138735 | 8,324084 | |
| 8c | 18,7 | 152,6 | 543,7 | 9,061666667 | 0,137944 | 8,276623 | 8,31770544 |



Lampiran I

Dokumen PT Inka Persero

| | |
|--|--|
| <p>I. General</p> <p>The technical specification covers description of Fire retardant Fiber Reinforced Plastic material that will be applied for Railways.</p> <p>This material will be applied for several part such as following :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interior panel - Front and end mask - Passenger seat - Luggage rack cover <p>II. Material Specification</p> <p>The material will be of fire retardant which conform to ORE B.106.2 method 1A Class B.</p> <p>1. Struktur of Fiber Reinforced Plastic Panel</p> <p>Structure of Fiber Reinforced Plastic Panel Structure of Fiber Reinforced Plastic Panel is mainly composed of kind as below:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resin unsaturated polyester (thiootropic), orthophthalic type, quick curing, non air drying, ready accelerator and fire retardant. - Gelcoat unsaturated polyester (thiootropic), isophthalic type, and quick curing. - Chopped strand mat : 300gr/m² - Woven roving : 450 gr/m² - Catalyst (Methylethyl ketone peroxide) - Cobalt N : 5% - Pigmen <p><i>filler glass fiber matrix polyester</i></p> | <p>2. Mechanical properties</p> <p>The mechanical properties of the material will be accordance as follow</p> <p>Tensile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tensile strength : 75N/mm² minimum - Bending strength : 140N/mm² minimum - Bending modulus : 4500N/mm² minimum - Hardness : 40(Barcot hardness) minimum - Impact strength : 4,5 joule/cm² minimum <p>3. Chemical resistance</p> <p>The material should resist to the chemical, such as: soap detergent, syntetic detergent, denatured alcohol, light mineral oil, etc.</p> <p>4. Colouring</p> <p>Colouring applied shall be pigmented as per Customer Approval.</p> <p>III. Warranty</p> <p>The supplier shall warranty at least a year (12 calendars). The supplier shall also provide the required certificate of material supplied.</p> <p>IV. Other</p> <p>The supplier shall send supplied material in standard package condition to cover the material from impact and other.</p> |
|--|--|



ORE B 106/RP 6

Appendix I

ORE B 106.2 WORKING PARTY

ORE TEST METHOD 1 A
OCTOBER 1984

TEST METHOD FOR DETERMINING
THE REACTION TO FIRE OF RIGID MATERIALS

1. OBJECT

The object of this method is to determine the reaction to fire of rigid materials such as plywood, fibre panels, bonded chip panels, decorative laminates, glass polyester laminates, etc., used in the construction of railways vehicles.

It can also be applied to partition elements composed of several materials (for example plywood and decorative laminate).

It cannot be applied to thermoplastics.

2. PRINCIPLE

The lower surface of a specimen, held at an angle of 45° to the horizontal, is exposed to an alcohol flame.

A note is made of the afterburn, the fall of particles or burning drips and the extent of damage to the specimen.

3. APPARATUS

3.1 Sample carrier frame

This frame is made of stainless steel, is U-shaped and corresponds to Fig. 1.

CS Scanned with
CamScanner

3.2 Support

This support makes it possible to hold the specimen at an angle of 45° to the horizontal and to place a cup, to take the alcohol, below the specimen.

As shown in Fig. 2, it consists of a base formed by a rectangular steel plate comprising:

- a rod of adjustable height in the centre, which supports a plate upon which the cup is placed. The cup rests on a round cork mat with a diameter which is the same as the outside diameter of the cup and a thickness of 2 mm ± 0.5 mm.
- a rod at each of the four corners, perpendicular to the baseplate, for holding the specimen at an angle of 45° to the baseplate. A cross piece links the tip of the two shorter rods.

3.3 Cup

This is made of brass, is cylindrical and has the following dimensions:

inside diameter : 35 mm ± 0.1 mm
depth : 14 mm ± 0.1 mm
thickness (bottom and side): 1 mm ± 0.1 mm.

The height of the cup, which rests on the round cork mat, is regulated so that the distance, measured along the symmetrical axis of the cup, between the bottom of the inside of the cup and the underside of the specimen, is 50 mm ± 1 mm.

3.4 Stopwatch

Accurate to the second.

4. REAGENT

Absolute ethanol.

CS Scanned with
CamScanner

- 3 -

A. 1

5. SPECIMENS

4 specimens of 160 x 400 mm (2 taken in the longitudinal direction and 2 taken in the transverse direction). If the longitudinal direction and the transverse direction are not specified, the specimens will be taken in two perpendicular directions: 2 specimens in direction A and 2 specimens in direction B.

6. CONDITIONING OF THE SPECIMENS

Before being tested, the specimens are conditioned at a temperature of between 20°C and 24°C and at a relative humidity of between 50% and 65%.

7. TESTING PROCEDURE

7.1 The test is carried out in still air in a fume cupboard of adequate dimensions (approximately 2 m³).

7.2 For materials whose thickness is less than or equal to 3 mm, the specimen is placed in the specimen carrier frame which is placed on the support in such a way that the transverse bar of the frame rests on the cross piece which links the two shortest rods.

For materials whose thickness is greater than 3 mm, the specimen is placed on the support, its lower transverse end resting on the cross piece which links the two shortest rods.

7.3 The height of the plate is adjusted as indicated in 3.2.

7.4 The cup is filled at ambient temperature with 4 ml ± 0.1 ml of absolute ethanol (care should be taken that the apparatus and especially the cup are at the temperature of the fume cupboard in which the test is being carried out (20°C to 24°C)).

7.5 The cup is placed on the round cork mat which covers the plate and is lit.

- 4 -

A. 1

7.6 The development of the test is observed and the following points noted:

- any afterburn or points still alight after the alcohol flame has been extinguished
- any fall of particles or burning drips.

7.7 After it is cooled, the specimen is wiped dry with a cloth or cleaned with a cloth soaked in a mixture of equal amounts of acetone and alcohol. The surface area of the carbonised zone is measured. The carbonised zone is the area which is damaged and soot-covered.

The places where there are distortions, blisters, changes in colour etc. do not belong to the carbonised zone as defined above.

Note is made of whether the specimen has burned through to its upper part. The surface can be measured by means of planimetry or by weighing a piece of paper (with a known surface mass) which reproduces the carbonised surface.

7.8 Care should be taken that the tests on the next specimens should not be carried out until the apparatus is completely cool (support, cup).

8. STATEMENT OF THE RESULTS

The following details are noted for each specimen:

- afterburn and points still alight after the alcohol flame has been extinguished
- surface area of the carbonised zone in cm²
- any fall of particles or burning drips.
- whether the upper edge of the specimen has been reached or not.

Lampiran J**Pengujian Tarik**

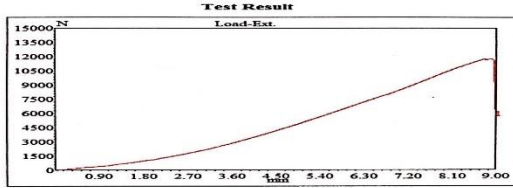
| No | Kode | UTS (MPa) | UTS Max (MPa) | UTS Average (MPa) | StDev |
|----|-------------|-----------|---------------|-------------------|----------|
| 1 | 0% AlOH3-1 | 136,15 | 145,53 | 141,1533333 | 4,721296 |
| 2 | 0% AlOH3-2 | 145,53 | | | |
| 3 | 0% AlOH3-3 | 141,78 | | | |
| 4 | 2% AlOH3-4 | 118,73 | 129,28 | 124,9433333 | 5,519695 |
| 5 | 2% AlOH3-5 | 129,28 | | | |
| 6 | 2% AlOH3-6 | 126,82 | | | |
| 7 | 4% AlOH3-7 | 109,08 | 111,01 | 110,35 | 1,100136 |
| 8 | 4% AlOH3-8 | 111,01 | | | |
| 9 | 4% AlOH3-9 | 110,96 | | | |
| 10 | 6% AlOH3-10 | 89,21 | 95,16 | 91,54 | 3,177845 |
| 11 | 6% AlOH3-11 | 95,16 | | | |
| 12 | 6% AlOH3-12 | 90,25 | | | |
| 13 | 8% AlOH3-13 | 76,44 | 76,44 | 75,18333333 | 1,341877 |
| 14 | 8% AlOH3-14 | 75,34 | | | |
| 15 | 8% AlOH3-15 | 73,77 | | | |



Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

0010

Test Date : 11-04-2019



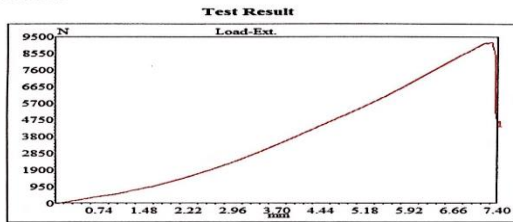
| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Exten. @ Break mm |
|---------------|----------|--------------|----------------------|-------------|---------|-------------------|
| 1 | 16.60 | 5.00 | 83.00 | 11767.49 | 141.78 | 8.75 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |



Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

2010

Test Date : 11-04-2019



| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Exten. @ Break mm |
|---------------|----------|--------------|----------------------|-------------|---------|-------------------|
| 1 | 15.50 | 5.00 | 77.50 | 9201.23 | 118.73 | 7.26 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

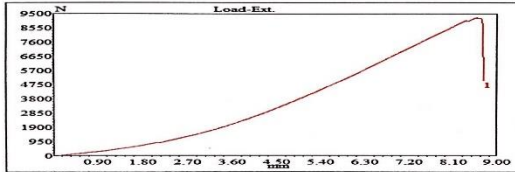


Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

2010

Test Date : 11-04-2019

Test Result



| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Exten. @ Break mm |
|---------------|----------|--------------|----------------------|-------------|---------|-------------------|
| --- | 15.90 | 4.50 | 71.55 | 9249.90 | 129.28 | 8.57 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

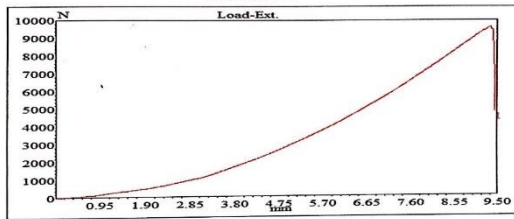


Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

2010

Test Date : 11-04-2019

Test Result



| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Exten. @ Break mm |
|---------------|----------|--------------|----------------------|-------------|---------|-------------------|
| --- | 15.50 | 4.90 | 75.95 | 9632.15 | 126.82 | 9.33 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

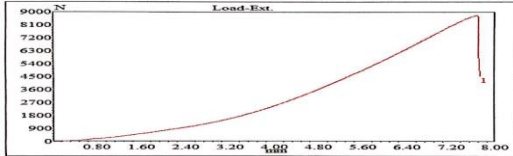


Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

4010

Test Date : 10-04-2019

Test Result



| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Exten. @ Break mm |
|---------------|----------|--------------|----------------------|-------------|---------|-------------------|
| 1 | 15.50 | 5.10 | 79.05 | 8771.08 | 110.96 | 7.66 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

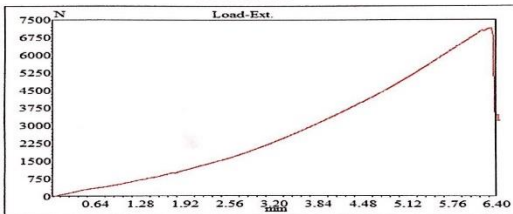


Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

6010

Test Date : 11-04-2019

Test Result

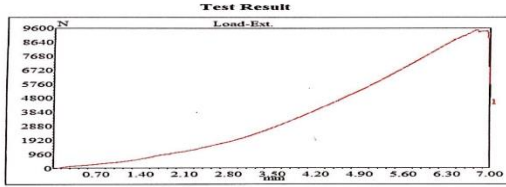


| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Exten. @ Break mm |
|---------------|----------|--------------|----------------------|-------------|---------|-------------------|
| 1 | 15.70 | 5.10 | 80.07 | 7143.25 | 89.21 | 6.32 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |



Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 11-04-2019

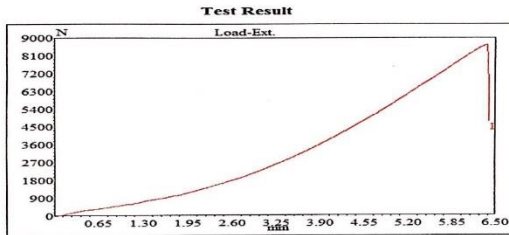


| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Extens. @ Break mm |
|---------------|----------|--------------|----------------------|-------------|---------|--------------------|
| 1 | 17.50 | 5.70 | 99.75 | 9492.60 | 95.16 | 6.78 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |



Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 11-04-2019



| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Extens. @ Break mm |
|---------------|----------|--------------|----------------------|-------------|---------|--------------------|
| 1 | 15.00 | 6.40 | 96.00 | 8663.93 | 90.25 | 6.36 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

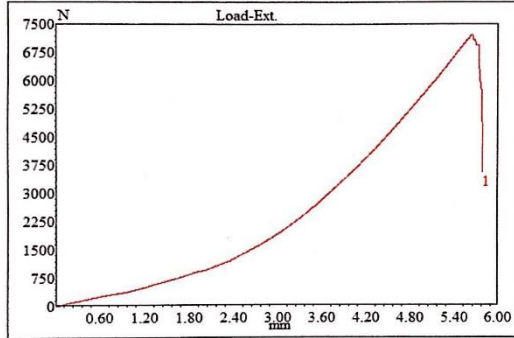


Laboratorium Metalurgi
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

80%

Test Date : 11-04-2019

Test Result



| Specimen Code | Width mm | Thickness mm | Area mm ² | Max. Load N | UTS MPa | Exten. @ Break mm |
|---------------|-------------|-----------------|-------------------------|----------------|------------|----------------------|
| | 17.80 | 5.50 | 97.90 | 7222.16 | 73.77 | 5.63 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Lutfi Hidayat. Dilahirkan di Surabaya pada tanggal 9 Juni 1997 dari pasangan Harmin dan Sitti Munawaroh. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, memiliki adik perempuan bernama Amellia Hidayah. Penulis pernah menempuh pendidikan formal di SD Kandangan I Surabaya, SMP

N 26 Surabaya dan SMAN 2 Surabaya. Penulis merupakan mahasiswa aktif Departemen Teknik Material FTI-ITS tahun masuk 2015. Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam acara besar di kampus ITS seperti Fasilitator Inti 2016 dan juga konseptor Simulasi Ekspresi Gerigi 2017. Selain itu, penulis juga aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri ITS (HMMT FTI-ITS) sebagai Staff BSO Kewirausahaan kepengurusan 2016/2017 dan Direktur BSO Kewirausahaan kepengurusan 2017/2018. Penulis juga aktif di laboratorium Material Inovasi sebagai Koordinator Laboratorium 2018/2019.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)