



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

# **APLIKASI KOMPOSIT *EPOXY - HGM - CARBON FIBER* PADA SUNGKUP HELMUNTUK MENAHAN PENETRASI DAN MEREDUKSI ENERGI *IMPACT***

AHMAT SAFA'AT  
NRP 2112 100 173

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR – TM141585**

**APLIKASI KOMPOSIT *EPOXY – HGM – CARBON FIBER* PADA SUNGKUP HELM  
UNTUK MENAHAN PENETRASI DAN  
MEREDUKSI ENERGI *IMPACT***

AHMAT SAFA'AT  
NRP 2112 100 173

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI SARJANA  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017



**FINAL PROJECT – TM141585**

**APPLICATION OF EPOXY – HGM – CARBON FIBER  
COMPOSITE FOR HELMET TO WITHSTAND  
PENETRATION AND TO REDUCE ENERGY  
IMPACT**

AHMAT SAFA'AT  
NRP 2112 100 173

Faculty Advisor  
Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2017

**APLIKASI KOMPOSIT EPOXY – HGM – CARBON FIBER  
PADA SUNGKUP HELM UNTUK MENAHAN PENETRASI  
DAN MENREDUKSI ENERGI IMPACT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik  
pada Proram Studi S1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**AHMAT SAFAAT**  
NRP. 2112100173

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T** ..... (Pembimbing)  
NIP. 197407032000031001
2. **Indra Sidharta, ST., M.Sc.** ..... (Penguji 1)  
NIP. 198006192006041004
3. **Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.** ..... (Penguji II)  
NIP. 198202092012121001
4. **Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D.** ..... (Penguji III)  
NIP. 198005202005011003

**SURABAYA  
JANUARI 2017**

# **Aplikasi Komposit *Epoxy – HGM – Carbon Fiber* pada Sungkup Helm Untuk Menahan Penetrasi dan Mereduksi Energi *Impact***

**Nama Mahasiswa** : Ahmat Safa'at  
**NRP** : 2112100173  
**Jurusan** : Teknik Mesin  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

## **ABSTRAK**

Helm merupakan alat perlindungan diri untuk meminimalisir cedera saat terjadi benturan di kepala. Sesuai dengan UU No.22 Tahun 2009 Tentang Lalu – lintas dan Angkutan Jalan, setiap pengendara motor wajib menggunakan helm. Helm yang digunakan harus memenuhi standar yang telah ditentukan yakni SNI 1811 – 2007 yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional. Helm yang banyak beredar di pasaran, umumnya telah memenuhi SNI 1811 – 2007. Sungkup helm dapat menahan penetrasi namun kurang baik dalam menyerap energi *impact*. Peran penyerapan energi *impact* dipegang oleh *foam* yang terdapat pada sungkup helm tersebut. Disamping itu, bagi pengendara, helm masih terasa berat dan dapat menyebabkan sakit di bagian kepala dan leher jika digunakan dalam jangka waktu tertentu.

Penelitian terdiri dari beberapa tahap, mulai dari studi pustaka, simulasi, pembuatan *prototype*, serta pengujian penetrasi dan penyerapan kejut. Geometri model helm mengacu pada SNI 1811 – 2007 disesuaikan dengan helm yang banyak beredar di pasaran. Pengujian penetrasi dan penyerapan kejut, baik simulasi maupun *impact* mengacu pada SNI 1811 – 2007. Proses simulasi ditujukan untuk memperoleh ketebalan HGM dan jumlah *layer carbon fiber* pada sungkup yang memenuhi ketentuan SNI 1811 – 2007. Dari hasil simulasi, dipilih konfigurasi dengan massa paling kecil untuk dibuat *prototype*-nya. Selanjutnya, dilakukan pengujian SNI 1811 -2007 terhadap

*prototype* helm yang telah dibuat. Hasil pengujian terhadap *prototype* dianalisa dan dibandingkan dengan hasil simulasi.

Mengacu pada SNI 1811 – 2007, sungkup helm tidak lolos uji penetrasi ketika sungkup helm tertembus paku pemukul. Untuk uji penyerapan kejut, percepatan yang terjadi pada pola kepala uji tidak lebih dari 2000 g. Dengan kriteria tersebut, dari semua sungkup yang memenuhi kriteria dipilih sungkup dengan massa terkecil. Didapatkan konfigurasi sungkup dengan ketebalan 5 mm HGM dan 2 *layer carbon fiber*.

**Kata kunci:** *sungkup helm, epoxy – HGM – carbon fiber, SNI 1811 – 2007*

***Application of Epoxy – HGM – Carbon Fiber  
Composite for Helmet to Withstand Penetration and to  
Reduce Impact Energy***

**Student's Name** : Ahmat Safa'at  
**Reg. Number** : 2112100173  
**Department** : Teknik Mesin  
**Advisor** : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

***ABSTRACT***

*Helmet is a self-protection equipment designed for minimalizing injury during an impact to the head. According to the constitution UU No.22 of 2009 on traffic and road transportation, every motorcycle rider require to use helmets. They must meet the requirement standards that have been Specified in SNI 1811 – 2007 and published by Badan Standardisasi Nasional. Helmets that are sold all over the market, generally have meet the SNI 1811 – 2007 standard. A helmet could withstand penetration but it could not absorb impact energy properly. Impact energy absorption mainly due to foam contained in the helmet itself. Besides that, for motorcycle rider, helmets still feel heavy and could cause pain in the head and neck if used in a long period of times.*

*This study consists of several stages, ranging from literature research, simulation, prototype manufacturing, as well as penetration and shock absorption testing. The geometry of this helmet corresponds to SNI 1811 – 2007 standard. The penetration and shock absorption tests also correspond to the SNI 1811 – 2007 standard. The simulation process is used to obtain the thickness of HGM and the amount of layer of carbon fiber that comply with the SNI 1811 – 2007 standard. From the simulation results, a configuration with the least mass are selected to create the prototype. The next step is to test the helmet prototype corresponds to the SNI 1811 – 2007 standard. The results of the prototype will be analyzed and compared with the simulation results. Referring to the SNI 1811 – 2007*

*standard, the helmet does not pass the penetration test if the helmet pierced by the spiked beater. For the shock absorption test, the acceleration that occurred from the test is not more than 2000 g. with these criteria, the helmet that meets the criteria with the least mass is selected. Configuration with the thickness of 5 mm HGM and 2 layers of carbon fiber are selected.*

***Key Word: Helmet, epoxy – HGM – carbon fiber, SNI 1811 – 2007***



## KATA PENGANTAR

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Kuasa karena atas berkat dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Aplikasi Komposit Epoxy – HGM – Carbon Fiber pada Sungkup Helm Untuk Menahan Penetrasi dan Mereduksi Energi Impact**” dapat terselesaikan walaupun terdapat banyak kekurangan. Tidak lupa *sholawat* serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada kanjeng Nabi Muhammad SAW.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Segenap orang tua dan keluarga penulis, Bapak, Ibu, adik, serta mbah – mbah penulis yang memberikan doa, restu, dan nasihat.
- **Alm. K.H.R. Asad Syamsul Arifin, Alm. K.H. Abdul Hamid Pasuruan, dan Alm. K.H. Hamim Jazuli (Gus Miek)** selalu menjadi panutan dan inspirasi penulis.
- Bapak **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.** selaku dosen pembimbing Tugas Akhir serta **Bapak Indra Sidharta, Bapak Suwarno, dan Bapak Wahyu** selaku dosen penguji Tugas Akhir.
- Teman – Teman Tugas Akhir “**Tikno Rangers**”, Gani, Tasa, Mas Wira, Mas Esya, Ridho, Mas Arya serta seluruh warga Lab Metalurgi, Lab Mekanika Benda Padat, M55, Tim Sapuangin, dan SMRM sekalian.
- **Laskar Labkom**, Mas Yuli, Mas Mufti, Mas Jo, Mas Faul, Iqbal, Luki Kacongs, dan mas – mas yang lain.
- **Sahabat Pemuda Nusantara**, Mas Wawi, Mas Aan, Mas Imam, Mas Najib, Okky, Bang Opik, Mas Ipung, Mas Ikhlil, Ropiq. Sahabat/i **PMII Sepuluh Nopember, Super Camp, IKASS, JEPITS, LAZIM**, Cak Mun, Cak Gembuk, Cak Santo, Mas Zikky, Cak Mat, Cak Wildi, Bos Jun, Bos Yiddin, Mas Iik, Mas Fajar, Mas Sadam, Bang Taslim, Bang Ryan, dan Dodo. Serta, Segenap Warga Keputih 3E sekalian.

- Segenap Alumni Super Camp SBMPTN 2015, terkhusus **Erviana Dwi Nurhidayati**.
- Segenap Dosen dan Tenaga Kependidikan Teknik Mesin FTI ITS.
- Semua pihak, termasuk calon istri, yang tidak dapat disebutkan satu – per satu.

Penulis mengharapkan kritik, saran, dan masukan atas kesalahan dan kekurangan yang terdapat dalam tulisan ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat dan barokah bagi penulis dan siapapun yang membaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL (Bahasa Indonesia)</b> ..... | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN JUDUL (Bahasa Inggris)</b> .....   | <b>ii</b>   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRAK</b> .....                          | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....                         | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                   | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                       | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                    | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                     | <b>xv</b>   |

### **BAB I PENDAHULUAN**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang.....    | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan.....            | 3 |
| 1.4 Manfaat.....           | 4 |
| 1.5 Batasan Masalah.....   | 4 |

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Tinjauan Pustaka.....  | 5  |
| 2.2 Dasar Teori.....   | 6  |
| 2.2.1 Komposit.....  | 6  |
| 2.2.2 <i>Hollow Glass Microsphere</i> .....                          | 11 |
| 2.2.3 <i>Carbon Fiber</i> .....                                      | 12 |
| 2.2.4 <i>Epoxy</i> .....   | 14 |
| 2.2.5 Helm.....  | 14 |
| 2.2.5.1 Jenis Helm.....  | 15 |
| 2.2.6 Aturan Hukum Penggunaan Helm<br>(Wilayah Hukum Indonesia)..... | 16 |
| 2.2.6.1 UU No. 14 Tahun 1992.....                                    | 17 |
| 2.2.6.2 UU No. 22 Tahun 2009.....                                    | 18 |
| 2.2.6.3 SNI 1811 – 2007.....   | 18 |

### **BAB III METODOLOGI**

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 3.1 Diagram Alir.....            | 21 |
| 3.2 Studi Literatur.....         | 27 |
| 3.3 Model Helm dan Alat Uji..... | 28 |
| 3.4 Simulasi.....                | 29 |

|       |                                 |    |
|-------|---------------------------------|----|
| 3.5   | Analisa Hasil Simulasi          | 32 |
| 3.6   | Pembuatan <i>Prototype</i> Helm | 33 |
| 3.6.1 | Peralatan dan Bahan             | 34 |
| 3.6.2 | Langkah – langkah               | 34 |
| 3.7   | Pengujian SNI 1811 – 2007       | 35 |

## **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>4.1</b>   | <b>Spesifikasi Sungkup Helm</b>  | <b>38</b> |
| 4.1.1        | Sungkup Helm <i>Epoxy – HGM</i>  | 38        |
| 4.1.2        | Sungkup Helm <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i>                                 | 38        |
| <b>4.2</b>   | <b>Hasil Simulasi</b>  | <b>39</b> |
| <b>4.2.1</b> | <b>Hasil Simulasi Uji Penetrasi Sungkup Helm <i>Epoxy – HGM</i></b>            | <b>39</b> |
| 4.2.1.1      | Penetrasi ( <i>Epoxy – HGM</i> )   | 39        |
| 4.2.1.2      | Tegangan Akibat Penetrasi ( <i>Epoxy – HGM</i> )                               | 40        |
| 4.2.1.2      | Regangan Akibat Penetrasi ( <i>Epoxy – HGM</i> )                               | 41        |
| <b>4.2.2</b> | <b>Hasil Simulasi Uji Penyerapan Kejut (<i>Epoxy – HGM</i>)</b>                | <b>41</b> |
| 4.2.2.1      | Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji ( <i>Epoxy – HGM</i> )            | 41        |
| 4.2.2.2      | Penyerapan Energi ( <i>Epoxy – HGM</i> )                                       | 43        |
| 4.2.2.3      | Tegangan Akibat Beban Kejut ( <i>Epoxy – HGM</i> )                             | 43        |
| 4.2.2.4      | Regangan Akibat Beban Kejut ( <i>Epoxy – HGM</i> )                             | 44        |
| 4.2.2.5      | Konservasi Energi ( <i>Epoxy – HGM</i> )                                       | 44        |
| <b>4.2.3</b> | <b>Hasil Simulasi Uji Penetrasi <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i></b>          | <b>45</b> |
| 4.2.3.1      | Penetrasi Akibat Penetrasi ( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> )               | 45        |
| 4.2.3.2      | Tegangan Akibat Penetrasi ( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> )                | 45        |
| 4.2.3.3      | Regangan Akibat Penetrasi ( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> )                | 46        |
| <b>4.2.4</b> | <b>Hasil Simulasi Uji Penyerapan Kejut (<i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i>)</b> | <b>47</b> |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 4.2.4.1      | Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....   | 47        |
| 4.2.4.2      | Penyerapan Energi<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....                              | 48        |
| 4.2.4.3      | Tegangan Akibat Beban Kejut<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....                    | 49        |
| 4.2.4.4      | Regangan Akibat Beban Kejut<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....                    | 50        |
| 4.2.4.5      | Konservasi Energi<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....                              | 51        |
| <b>4.3</b>   | <b>Pembahasan</b> .....  | <b>51</b> |
| <b>4.3.1</b> | <b>Simulasi Uji Penetrasi (<i>Epoxy – HGM</i>)</b> .....                                     | <b>51</b> |
| 4.3.1.1      | Penetrasi ( <i>Epoxy – HGM</i> ).....  | 51        |
| 4.3.1.2      | Tegangan dan Regangan Sungkup Akibat Penetrasi<br>( <i>Epoxy – HGM</i> ).....                | 52        |
| <b>4.3.2</b> | <b>Simulasi Uji Penyerapan Kejut<br/>(<i>Epoxy – HGM</i>)</b> .....                          | <b>52</b> |
| 4.3.2.1      | Percapatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji<br>( <i>Epoxy – HGM</i> ).....                  | 52        |
| 4.3.2.2      | Penyerapan Energi ( <i>Epoxy – HGM</i> ).....  | 53        |
| 4.3.2.3      | Tegangan dan Regangan Akibat Beban Kejut<br>( <i>Epoxy – HGM</i> ).....                      | 53        |
| 4.3.2.4      | Konservasi Energi ( <i>Epoxy – HGM</i> ).....  | 54        |
| <b>4.3.3</b> | <b>Simulasi Uji Penetrasi<br/>(<i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i>)</b> .....                  | <b>54</b> |
| 4.3.3.1      | Penetrasi ( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....   | 54        |
| 4.3.3.2      | Tegangan dan Regangan Sungkup Akibat Penetrasi<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> )..... | 55        |
| <b>4.3.4</b> | <b>Simulasi Uji Penyerapan Kejut<br/>(<i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i>)</b> .....           | <b>55</b> |
| 4.3.4.1      | Percapatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....   | 55        |
| 4.3.4.2      | Penyerapan Energi<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....                              | 56        |
| 4.3.4.3      | Tegangan dan Regangan Akibat Beban Kejut<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....       | 56        |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4.3.4.4 | Konservasi Energi<br>( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> )..... | 57 |
| 4.3.5   | Pemilihan Sungkup.....  | 58 |
| 4.4     | Tahap Eksperimen.....   | 58 |
| 4.4.1   | Referensi Cetakan Helm.....                                     | 58 |
| 4.4.2   | Cetakan Helm.....   | 59 |
| 4.4.3   | <i>Prototype Helm</i> .....                                     | 59 |
| 4.4.4   | Pengujian.....  | 60 |
| 4.4.4.1 | Uji Penetrasi.....  | 60 |

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|            |                             |           |
|------------|-----------------------------|-----------|
| <b>5.1</b> | <b>Kesimpulan</b> .....     | <b>63</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Saran</b> .....          | <b>64</b> |
|            | <b>DAFTAR PUSTAKA</b> ..... | <b>65</b> |

## **PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1  | Klasifikasi Komposit.....  | 7  |
| Gambar 2.2  | Komposit Berpenguat Partikel.....  | 8  |
| Gambar 2.3  | Komposit Berpenguat Serat.....   | 9  |
| Gambar 2.4  | Komposit Berpenguat Struktur.....  | 9  |
| Gambar 2.5  | <i>Hybrid Composite</i> .....  | 10 |
| Gambar 2.6  | Properties HGM 3M iM30K.....   | 12 |
| Gambar 2.7  | <i>Hollow Glass Microsphere</i> .....  | 12 |
| Gambar 2.8  | Helm Perang dari Berbagai Benua dan Negara.....  | 15 |
| Gambar 2.9  | Helm Pengendara Sepeda Motor.....  | 16 |
| Gambar 2.10 | Helm Proyek/Keselamatan.....   | 16 |
| Gambar 2.11 | Konstruksi Helm <i>Open Face</i> Menurut SNI 1811 – 2007.....  | 20 |
| Gambar 3.1  | Diagram Alir Penelitian.....   | 21 |
| Gambar 3.2  | Diagram Alir Simulasi Pengujian Penetrasi dan Penyerapan Beban Kejut Terhadap Helm dengan Material HGM.....                          | 22 |
| Gambar 3.3  | Diagram Alir Simulasi Pengujian Penetrasi dan Penyerapan Beban Kejut Terhadap Helm dengan Material HGM dan <i>Carbon Fiber</i> ..... | 23 |
| Gambar 3.4  | Diagram Alir Pembuatan Cetakan.....  | 24 |
| Gambar 3.5  | Diagram Alir Pembuatan <i>Prototype</i> Helm.....  | 25 |
| Gambar 3.6  | Diagram Alir Uji SNI 1811 – 2007.....  | 26 |
| Gambar 3.7  | Model Helm yang Digunakan pada Penelitian.....   | 28 |
| Gambar 3.8  | Pengkondisian Model Helm dengan Alat Uji pada Pengujian <i>Impact</i> .....  | 28 |
| Gambar 3.9  | Pengkondisian Model Helm dengan Alat Uji pada Pengujian Penetrasi.....   | 29 |
| Gambar 3.10 | <i>Import Geometri</i> dan <i>Input Properties</i> .....   | 26 |
| Gambar 3.11 | Langkah Proses dan Hasil <i>Meshing</i> .....  | 26 |
| Gambar 3.12 | Proses Pembebanan dan Pemberian <i>Constraint</i> .....  | 26 |
| Gambar 3.13 | Proses <i>Running</i> .....  | 27 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.14 | Contoh Hasil Simulasi Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007.....                    | 27 |
| Gambar 3.15 | Skema Hasil Simulasi Uji Penetrasi.....                                     | 28 |
| Gambar 3.16 | Pembuatan Cetakan Helm.....   | 30 |
| Gambar 3.17 | Skema Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007.....                                    | 31 |
| Gambar 3.18 | Kelengkapan Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007.....                              | 32 |
| Gambar 3.19 | Skema Uji Penyerapan Beban Kejut SNI 1811 – 2007.....                       | 32 |
| Gambar 4.1  | Penetrasi pada Sungkup Helm.....  | 34 |
| Gambar 4.2  | Penetrasi pada Sungkup Helm.....  | 34 |
| Gambar 4.3  | Tegangan pada Sungkup Akibat Penetrasi..._                                  | 35 |
| Gambar 4.4  | Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi..._                                  | 35 |
| Gambar 4.5  | Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji..._                                 | 36 |
| Gambar 4.6  | Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut.....                  | 37 |
| Gambar 4.7  | Tegangan pada Sungkup.....  | 37 |
| Gambar 4.8  | Regangan pada Sungkup Akibat Beban Kejut.....                               | 38 |
| Gambar 4.9  | Penetrasi pada Sungkup Helm.....  | 39 |
| Gambar 4.10 | Tegangan pada Sungkup Akibat Penetrasi..._                                  | 40 |
| Gambar 4.11 | Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi..._                                  | 41 |
| Gambar 4.12 | Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji..._                                 | 42 |
| Gambar 4.13 | Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut.....                  | 43 |
| Gambar 4.14 | Tegangan pada Sungkup Epoxy – HGM – Carbon Fiber (Uji Penyerapan Kejut..... | 44 |
| Gambar 4.15 | Regangan pada Sungkup Akibat Beban Kejut.....                               | 45 |



## DAFTAR TABEL

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1  | <i>Properties of Carbon Fiber TC35R – 12 K</i><br>[Formosa Plastic Corp.].....                | 13 |
| Tabel 2.2  | <i>Properties of Epoxy</i> .....  | 14 |
| Tabel 3.1  | Standar Pengujian SNI 1811 – 2007.....  | 35 |
| Tabel 4.1  | Spesifikasi Sungkup Helm <i>Epoxy – HGM</i> ...   | 38 |
| Tabel 4.2  | Spesifikasi Sungkup Helm <i>Epoxy – HGM –</i><br><i>Carbon Fiber</i> .....                    | 39 |
| Tabel 4.3  | Energi Internal yang Timbul pada Uji<br>Penyerapan Kejut.....                                 | 42 |
| Tabel 4.4  | Konservasi Energi dan Temperatur Elemen<br>Uji ( <i>Epoxy – HGM</i> ).....                    | 44 |
| Tabel 4.5  | Penetrasi pada Sungkup.....   | 45 |
| Tabel 4.6  | Tegangan pada Sungkup.....  |    |
| Tabel 4.7  | Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi....  | 46 |
| Tabel 4.8  | Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji....   | 47 |
| Tabel 4.9  | Energi Internal yang Timbul pada<br>Uji Penyerapan Kejut.....                                 | 48 |
| Tabel 4.10 | Tegangan pada Sungkup <i>Epoxy – HGM –</i><br><i>Carbon Fiber</i> (Uji Penyerapan Kejut)..... | 49 |
| Tabel 4.11 | Regangan Akibat Beban Kejut.....  | 50 |
| Tabel 4.12 | Konservasi Energi dan Temperatur Elemen<br>Uji ( <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> ).....     | 51 |



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di Indonesia, pertumbuhan kendaraan bermotor mengalami pertumbuhan rata-rata sebesar 12,2% per tahun [Hubdat, 2013]. Menurut Polri 74 % angka kecelakaan melibatkan sepeda motor dan 80 % dari total korban meninggal merupakan pengendara sepeda motor [Korlantas, 2013]. Di Australia, angka kepemilikan sepeda motor sebesar 4,5% dari total kendaraan penumpang, 0,9 % dari total perjalanan yang ditempuh, serta 16% angka kecelakaan disebabkan oleh sepeda motor [DITRDLG, 2008]. Di Eropa, 80% pengendara motor meninggal akibat benturan di kepala [COST, 2001]. Sementara di Amerika Serikat, 34 % cacat trauma pada otak disebabkan oleh kecelakaan kendaraan bermotor [NHTSA, 2014].

Tingkat cedera pada otak manusia, tergantung pada arah dan besar energi impact yang diteruskan pada otak. Untuk menghindari cedera, besarnya energi impact harus diminimalisir [Kleiven, 2013]. Untuk melindungi bagian kepala saat terjadi kecelakaan, setiap pengendara sepeda motor diwajibkan mengenakan helm. Di Indonesia, hal ini diatur melalui UU No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu – lintas dan Angkutan Jalan pasal 57 ayat 1 *juento* ayat 2. Selain itu, pada pasal 106 ayat 8 mensyaratkan bahwa helm yang dikenakan harus memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI). Dalam hal ini standar helm yang digunakan adalah SNI 1811-2007.

Menurut COST, Helm yang baik adalah helm yang dapat menahan beban tekan, menyerap setidaknya 50 % dari total energi impact yang timbul, dan memiliki kekasaran permukaan yang rendah. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan kemungkinan adanya rotasi yang bekerja pada helm saat terjadi benturan [Kleiven, 2013]. Sementara itu, helm yang banyak beredar saat ini dimaksudkan untuk tahan terhadap beban tekan namun kurang dapat menyerap energi *impact*. Energi impact yang timbul hanya diserap oleh lapisan foam. Sedangkan bagian tempurung hanya bertindak sebagai penahan beban tekan. Menurut SNI 1811-2007, asalkan tempurung tidak

mengalami deformasi, helm masih dianggap aman [SNI 1811, 2007]. Di sisi lain, kepala pengendara masih merasakan pusing dan kesakitan saat terjadi benturan meskipun helm tidak mengalami deformasi. Hal ini diakibatkan oleh energi impact yang tidak banyak terserap oleh helm.

Disamping ketahanan helm saat terjadi benturan, berat dan dimensi helm juga berpengaruh pada keamanan dan kenyamanan berkendara. Helm yang berat mempengaruhi kenyamanan pengendara sepeda motor. Helm yang berat cenderung menyebabkan leher pengendara lebih cepat mengalami kelelahan dan menurunkan konsentrasi pengendara motor [Erhardt, 2015]. Tercatat 80% dari total angka kecelakaan akibat menurunnya konsentrasi dalam mengemudi di jalan dipegang oleh pengendara sepeda motor [Korlantas, 2013].

Material komposit dikenal sebagai material yang kuat dan ringan. Material komposit banyak digunakan pada industri penerbangan, perkapalan, serta otomotif kelas atas semisal *super car* dan Formula 1. Salah satu dari sekian banyak pengaplikasian komposit berupa pembuatan helm dengan material *fiber* dan *fiber glass*. Helm jenis ini sangat ringan dan kuat. Namun demikian, komposit serat dapat mengalami delaminasi yang dapat menurunkan performa helm yaitu ketahanan terhadap tekanan dan penyerapan beban kejut [Pinnoji, 2010].

Komposit *epoxy-HGM* (*epoxy – Hollow Glass Microsphere*) merupakan komposit dengan matriks *epoxy* dan penguat berupa bola kaca berrongga dengan ukuran mikro. Beberapa keunggulan *HGM* diantaranya densitas yang rendah, kemampuan isi yang tinggi, dan penyerapan energi *impact* yang tinggi [3M, 2013]. Menurut Ritonga, komposit *epoxy – HGM* dapat menaahan beban tekan hingga 121,3 MPa dan ketangguhan maksimum sebesar  $21,54 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$  pada fraksi volume *HGM* 16 % [Ritonga, 2013]. Menurut Hindun, komposit *epoxy-HGM* dapat menyerap hingga 86,39 % energi *impact* yang diberikan [Hindun, 2014].

Penelitian sebelumnya mengenai *epoxy – HGM* sebagai material cangkang helm, yang dilakukan oleh Galang, dengan

memvariasikan ketebalan helm (4 mm, 6 mm, dan 8 mm). Dari hasil simulasi penelitian tersebut, didapatkan hubungan antara variasi ketebalan dengan ketahanan terhadap beban tekan dan penyerapan energi *impact*. [Galang, 2015]. Diperlukan aplikasi pembuatan cangkang helm dengan material *epoxy-HGM* hingga didapatkan *prototype* helm. Selanjutnya, dilakukan uji mutu *prototype* helm berupa uji beban tekan dan beban kejut sesuai dengan SNI 1811 – 2007.

## 1.2 Perumusan Masalah

Helm yang banyak beredar dan digunakan oleh pengendara umumnya telah memenuhi SNI 1811 – 2007. Helm masih terasa berat ketika digunakan sehingga menyebabkan pengguna mudah lelah dan pegal-pegal di bagian leher. Helm tersebut dapat menahan beban tekan namun kurang baik dalam penyerapan energi *impact*. Energi *impact* akibat benturan hanya diserap oleh busa *styrofoam*. Akibatnya, energi *impact* yang diteruskan ke kepala pengendara masih cukup besar dan pengendara merasa kesakitan.

Dalam penelitian sebelumnya, telah dilakukan simulasi uji penetrasi dan penyerapan beban kejut, mengacu pada SNI 1811 – 2007, terhadap helm dengan material komposit *epoxy – HGM*. Di sisi lain, banyak ditemukan aplikasi dan evaluasi penggunaan *carbon fiber* pada berbagai bidang seperti otomotif, penerbangan, dan perkapalan baik dalam skala penelitian ataupun industri.

Dalam penelitian ini, akan dibuat *prototype* helm dengan material *epoxy – HGM – carbon fiber* dengan penyerapan energi *impact* tinggi.

## 1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *prototype* helm dengan material *epoxy – HGM – carbon fiber* dengan kemampuan penyerapan energi *impact* yang baik. *Prototype* helm harus memenuhi uji mutu SNI 1811 – 2007 untuk uji beban tekan dan penyerapan energi *impact*.

#### **1.4 Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian ini diantaranya dapat digunakan oleh pihak terkait sebagai pertimbangan dalam pemilihan material helm dan atau penggunaan material *epoxy – HGM – carbon fiber* sebagai bahan pembuatan lapisan luar helm beserta pengembangannya.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini tidak melenceng dari tujuan yang ditetapkan, perlu ada batasan. Adapun batasan dalam penelitian ini yaitu pengujian terhadap helm berupa uji tekan dan uji impact sesuai dengan SNI 1811 – 2007. Di samping itu, model helm yang digunakan berupa helm *open face* serta, *prototype* dibuat dari material *epoxy – HGM – carbon fiber*.



**BAB II**  
**TINJAUAN PUSAKA**  
**DAN DASAR TEORI**



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Komposit *epoxy-HGM* (*epoxy – Hollow Glass Microsphere*) merupakan komposit dengan matriks *epoxy* dan penguat berupa bola kaca berrongga dengan ukuran mikro. Beberapa keunggulan *HGM* diantaranya densitas yang rendah, kemampuan isi yang tinggi, dan penyerapan energi *impact* yang tinggi [3M, 2013]. Menurut Ritonga, komposit *epoxy – HGM* dapat menaahan beban tekan hingga 121,3 MPa dan ketangguhan maksimum sebesar  $21,54 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$  pada fraksi  $v$  olume *HGM* 16 % [Ritonga, 2013]. Menurut Hindun, komposit *epoxy-HGM* dapat menyerap hingga 86,39 % energi *impact* yang diberikan [Hindun, 2014].

Dari penelitian yang dilakukan oleh Galang, dilakukan pengujian helm yang terbuat dari komposit *matrix* 84% *epoxy* – 16% *HGM* dengan mensimulasikannya ke dalam *software finite element*. Pembuatan model helm *open face* dengan tebal awal 4 mm, diameter 87,57 mm, tinggi 114 mm dan *foam* dengan ketebalan 20 mm. Selanjutnya model alat pengujian penetrasi dan pengujian penyerapan kejut berupa paku pemukul dengan berat 3 kg, pola kepala uji sebagai tempat helm, pemberat helm dengan berat 5 kg dan landasan jatuh. Pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 1811-2007 (Standart Nasional Indonesia), dimana paku pemukul dijatuhkan bebas dari ketinggian 1,6 m ke helm yang terikat di pola kepala uji untuk uji penetrasi dan untuk uji penyerapan kejut helm di jatuhkan bebas ke anvil yang berbentuk setengah bola. Untuk pelaksanaan simulasi pada uji penetrasi paku di tempelkan ke helm yang terikat pada pola kepala uji dan diberi kecepatan sebesar 5,6 m/s, untuk uji penyerapan kejut helm di tempelkan ke landasan dan pemberat helm di beri kecepatan sebesar 5,6 m/s.

Pada hasil simulasi didapatkan bahwa helm dengan ketebalan 8 mm sudah mampu memenuhi standart pada SNI 1811-2007 menyatakan bahwa sungkup helm tidak boleh tembus untuk uji penetrasi dan untuk penyerapan kejut gaya



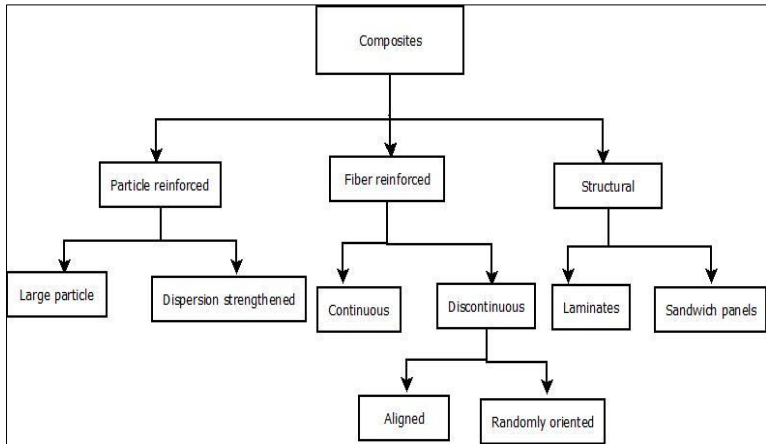
yang diteruskan oleh helm tidak boleh lebih dari 2000 *kgf*. Pada helm dengan tebal 8 mm tegangan maksimal 0,74105, deformasi pada sungkup  $8,828 \times 10^{-4}$  dan gaya yang diteruskan oleh helm sebesar 460 *kgf*.

Penelitian sebelumnya mengenai *epoxy - HGM* sebagai material sungkup helm, yang dilakukan oleh Galang, dengan memvariasikan ketebalan helm (4 mm, 6 mm, dan 8 mm). Dari hasil simulasi penelitian tersebut, didapatkan hubungan antara variasi ketebalan dengan ketahanan terhadap beban tekan dan penyerapan energi *impact*. [Galang, 2015]. Diperlukan aplikasi pembuatan sungkup helm dengan material *epoxy-HGM* hingga didapatkan *prototype* helm. Selanjutnya, dilakukan uji mutu *prototype* helm berupa uji beban tekan dan beban kejut sesuai dengan SNI 1811 – 2007.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Komposit**

Komposit merupakan suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun dengan sifat berbeda. Komposit memiliki beberapa sifat diantaranya kekuatan dan kekakuan tinggi, sangat ringan, tahan terhadap korosi akibat cairan kimia dan cuaca, mudah dibentuk, serta ketahanan *creep* tinggi. Dengan kelebihan tersebut, komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi dan konstruksi bangunan.



Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit

Material komposit tersusun atas dua bahan penyusun yaitu bahan utama sebagai penguat (*reinforce*) dan bahan pendukung sebagai pengisi (matriks). Matriks merupakan unsur yang bertugas untuk mengikat dan melindungi penguat. Unsur ini juga menahan dan meneruskan tegangan yang di terima oleh komposit tersebut. Penguat merupakan unsur utama dalam pembentukan material komposit yang menentukan karakteristik material komposit seperti kekakuan, kekuatan, dan sifat mekanik lainnya.

Jenis komposit berdasarkan jenis matriks terdiri :

1. *Polimer Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer.

Contoh : *Thermoplastik, Thermoseting*

2. *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan komposit berbahan matriks logam.

Contoh : *Aluminium, Magnesium, dan Titanium*

3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik.

Contoh: *Alumina, Aluminium Titanate, Silicon Carbide*

Komposit berbahan matriks logam (MMC) sering diaplikasikan pada bidang kedirgantaraan dan komponen otomotif. MMC digunakan untuk keperluan perlindungan panas pada pesawat luar angkasa dan komponen pada roket. Komposit berbahan polimer (PMC) sering digunakan pada alat-alat rumah tangga hingga peralatan elektronik.

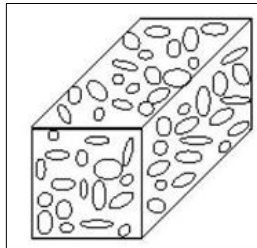
Bahan polimer pada matriks dibagi menjadi 2 jenis yaitu *thermoset* dan *thermoplastic*. Polimer *thermoset* adalah bahan yang akan menjadi keras jika dipanaskan di atas temperatur kritisnya dan tidak dapat dilunakkan dengan cara dipanaskan. Polimer *thermoset* tidak dapat didaur ulang. Contoh matriks polimer *thermoset* adalah *epoxy* dan *polyester*. Polimer *thermoplastic* adalah polimer yang dapat dilunakkan dengan cara dipanaskan di atas temperatur kritisnya. Polimer *thermoplastic* dapat didaur ulang. Contoh polimer *thermoplastic* adalah *polystyrene* dan *nylons*.

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

#### 1. Komposit Berpenguat Partikel

Merupakan komposit yang penguatnya berupa fase partikel

Contoh: Beton, yang merupakan bahan baku bangunan dimana matriksnya adalah semen sedangkan penguatnya adalah pasir.

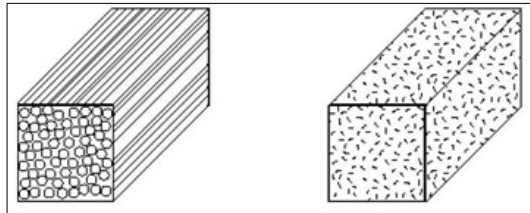


Gambar 2.2 Komposit Berpenguat Partikel

#### 2. Komposit Berpenguat Serat

Merupakan komposit yang fase penguatnya berupa serat.

Contoh: *fiber glass* dalam matriks polimer dan serat alam dalam matriks polimer.

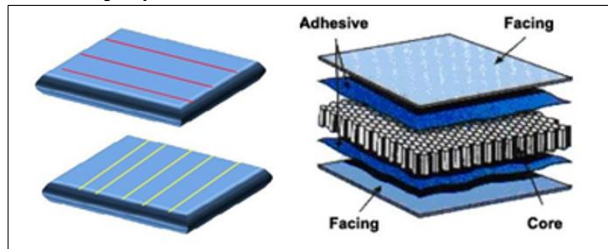


Gambar 2.3 Komposit Berpenguat Serat

### 3. Komposisi Berpenguat Struktur

Merupakan komposit yang penguatnya berupa lapisan maupun struktural.

Contoh: *polywood*



Gambar 2.4 Komposit Berpenguat Struktur

### 4. *Hybrid Composite*

Merupakan suatu jenis komposit yang penguatnya lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Tingkat pencampuran dapat dalam skala kecil dan skala besar. Tujuan dari hibridisasi adalah untuk membuat suatu material baru yang mengandung keunggulan dari penyusunnya. Contoh dari *hybrid composite* adalah *Glass Reinforced Fiber Metal Laminate (GLARE)*

*Hybrid Composite* dibedakan menjadi 4 jenis yaitu :

#### a. *Sandwich*

Merupakan suatu material yang dihimpit oleh material lainnya

b. *Interply* atau *Laminated*

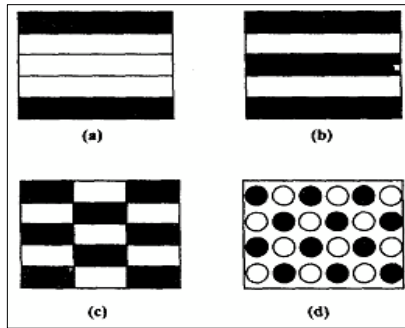
Merupakan suatu material yang terdiri atas lapisan penyusun yang berbeda.

c. *Intraply*

Merupakan gabungan dua atau lebih jenis serat yang tersusun dalam satu lamina

d. *Intimately mixed*

Penyusun dari masing-masing serat penguat dicampurkan sedemikian rupa sehingga tidak ada konsentrasi dari masing-masing yang tampak pada material komposit.



Gambar 2.5 Hybrid Composite

(a) *Sandwich*

(b) *Interply*

(c) *Intraply*

(d) *Intimately mixed*

Material penguat adalah salah satu penyusun utama pada material komposit. Material ini secara umum berbentuk serat baik serat panjang dan serat pendek. Mayoritas fraksi volume dari material komposit terdiri dari material penguat ini agar beban yang dikenakan dapat terdistribusi dengan baik ke material penguat. Pemilihan jenis serat, fraksi volume serat, panjang serat, dan arah serat akan mempengaruhi karakteristik material komposit sebagai berikut: berat jenis, kekuatan tarik dan modulus elastisitas, kekuatan tekan dan modulus, kekuatan fatique serta mekanisme kegagalannya, dan biaya produksi.

### 2.2.2 *Hollow Glass Microsphere*

*Hollow Glass Microsphere* (HGM) juga dikenal sebagai *Hollow Glass Sphere* (HGS) merupakan material yang memiliki bentuk dasar bulat berongga dan berukuran mikro. HGM terbuat dari kaca yang mengandung *Sodium Borosilicate*. Umumnya, HGM tidak cukup kuat menahan gaya geser dan tekanan tinggi semisal pada proses pembuatan plastik dan *injection molding*.

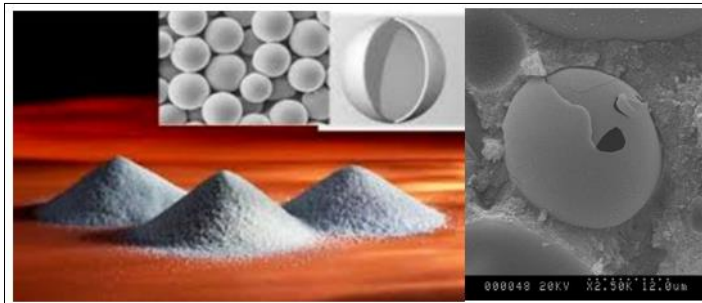
Jenis HGM tertentu, semisal iM30K yang diproduksi oleh 3M, memiliki kekuatan tekan dan *strength to density ratio* yang lebih tinggi dibandingkan jenis HGM pada umumnya. HGM jenis iM30K dapat menahan tekanan hingga kisaran 30000 psi serta memiliki kekuatan isostatik hingga 28000 psi. HGM jenis ini memiliki ukuran rata-rata sebesar 18 mikron tiap butirnya dengan densitas sebesar  $0.6 \text{ g/cm}^3$ .

HGM banyak digunakan sebagai *filler* dalam material komposit ringan seperti beton ringan. Dengan properti densitas yang rendah, konduktivitas termal rendah, dan ketahanan terhadap tegangan tekan yang tinggi, HGM juga banyak digunakan pada peralatan yang berkerja di laut dalam seperti peralatan pengeboran minyak.

Beberapa keunggulan dari HGM yaitu:

1. Memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi.
2. Memiliki rasio *strength to density* yang tinggi.
3. Memiliki kestabilan kimia yang baik.
4. Memiliki kekuatan tekan yang tinggi.
5. Memiliki konduktivitas termal yang rendah.

| Property   | iM30K                          |                                  |
|--|--------------------------------|----------------------------------|
| Shape  | Hollow spheres with thin walls |                                  |
| Composition  | Soda-lime-borosilicate glass   |                                  |
| Color, Unaided Eye                                     | White, powder                  |                                  |
| <b>Physical Properties</b>                             |                                |                                  |
| Property   | iM30K                          | Test Method                      |
| Isostatic Crush Strength (psi)                         | 28,000                         | 3M QCM 14.1.8                    |
| True Density (g/cc)                                    | 0.60                           | 3M QCM 14.24.1                   |
| Packing Factor (bulk density to true particle density) | 63%                            |                                  |
| Oil Absorption (g oil/100 cc)                          | 33.5                           | ASTM D282-84 of polymer additive |
| Softening Point (°C)                                   | 600                            |                                  |
| Flotation (density < 1.0 g/cc)                         | 90% (in volume)                | 3M QCM 37.2                      |
| Volatile Content (by weight)                           | 0.5% max.                      | 3M QCM 1.5.7                     |
| Alkalinity (milliequivalents)                          | 0.5                            | 3M QCM<br>55.19/gram max         |
| pH (5% loading in water)                               | 9.5                            | ASTM D3100-1982                  |
| Diameter (average)                                     | 18 microns                     | 3M QCM 193.0                     |

Gambar 2.6 *Properties HGM 3M iM30K*Gambar 2.7 *Hollow Glass Microsphere*

### 2.2.3 Carbon fiber

*Carbon fibers* merupakan material yang terdiri dari serat berdiameter 5-10  $\mu\text{m}$  dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon. *Carbon fiber* dibuat dengan karbonisasi dari material PAN (*Polyacrylonitrile*) dan rayon yang biasa

digunakan saat ini, material tersebut merupakan polimer tekstil. Setelah proses karbonisasi dilanjutkan proses grafitisasi pada temperatur tinggi dan dilanjutkan dengan proses penggulangan serat-serat karbon menjadi *tow* yang bisa langsung digunakan atau ditenun menjadi bentuk anyaman.

Tabel 2.1 *Properties of Carbon Fiber TC35R – 12 K*  
[Formosa Plastic Corp.]

| <i>Specifications</i>   | <b>TC35R – 12 K</b> |                       |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| <i>Tensile Strength</i> | MPa                 | 4.27 x10 <sup>3</sup> |
| <i>Young's Modulus</i>  | MPa                 | 2.45 x10 <sup>5</sup> |
| <i>Density</i>          | g/cm <sup>3</sup>   | 1.79                  |
| <i>Elongation</i>       | %                   | 1.62                  |
| <i>Yield</i>            | Tex                 | 812                   |

Ukuran *tow* pada *carbon fiber* terdiri dari *3k*, *6k*, *12k*, *24k*, *40k*, *48k*, *80k*, *160k*, *320k*, *400k* dan *410k*. Maksud dari *carbon fiber* 1 *tow* terdiri dari *3k* adalah terdiri dari 3000 serat.

*Carbon fiber* dapat diaplikasikan pada pesawat terbang, otomotif, konstruksi, militer, dan peralatan olahraga. *Carbon fiber* biasanya dijadikan material penguat pada komposit, kelebihan dari *carbon fiber* ini antara lain:

- Memiliki kekakuan, kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi.
- Massa jenis yang relatif kecil.
- Memiliki chemical resistance dan temperature tolerance yang tinggi
- Memiliki konduktivitas termal yang rendah.

Meskipun banyak kelebihan yang dimiliki, *carbon fiber* memiliki harga yang relatif mahal jika dibandingkan dengan material serat lain seperti *glass fiber* atau *plastic fibers*. *Axial compressive strength* pada *carbon fiber* lebih rendah dari kekuatan tariknya. Dapat disebutkan bahwa semakin tinggi nilai modulus dari *carbon fiber* maka semakin rendah nilai *compressive strength* yang dimilikinya.



### 2.2.4 Epoxy

*Epoxy* adalah polimer yang terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda disebut sebagai “resin” dan “pengeras”. Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok epoksida di kedua ujung. *Epoxy* resin yang paling umum dihasilkan dari reaksi antara *epiklorohidrine* dan *bisphenol-A*. Meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Pengeras terdiri dari monomer *polyamine* semisal *Triethylenetetramine (teta)*. Ketika senyawa ini dicampurkan, kelompok amina akan bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida menghasilkan polimer yang kaku dan kuat.

Tabel 2.2 *Properties of Epoxy*

| <i>Properties</i>           |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| <i>Tensile Strength</i>     | 85 MPa               |
| <i>Tensile Modulus</i>      | 10500 Mpa            |
| <i>Compressive Strength</i> | 190 MPa              |
| <i>Water Absorption</i>     | 5-10 mg at 24h, 23°C |

Bahan *epoxy* cenderung mengeras secara bertahap. Berbeda dengan bahan poliester yang cenderung mengeras dengan cepat, terutama jika katalis yang digunakan dalam reaksi merupakan katalis eksotermik. Semakin besar jumlah katalis yang digunakan, laju reaksi akan meningkat dan panas yang dihasilkan akan semakin besar.

### 2.2.5 Helm

Helm merupakan topi pelindung kepala yang dibuat dari bahan yang tahan benturan (dipakai oleh tentara, anggota barisan pemadam kebakaran, pekerja tambang, penyelam sebagai bagian dari pakaian, pengendara sepeda motor, dan sebagainya) [KBBI]. Helm terus berkembang seiring dengan berjalannya waktu dan menyesuaikan dengan penggunaannya.

### 2.2.5.1 Jenis Helm

Jenis Helm dibedakan berdasarkan keperluan penggunaannya antara lain:

#### 1. Helm Perang

Pada awalnya helm digunakan sebagai bagian dari baju zirah peradaban Yunani Kuno, Romawi Klasik, hingga akhir abad ke-17 yang membentang dari Eropa hingga Jepang dan jarang ditemukan penggunaan helm selain untuk keperluan perang. Helm melindungi kepala pengguna dari tebasan senjata lawan, hujaman panah, hingga peluru dengan kecepatan rendah. Penggunaan helm menurun seiring dengan meningkatnya efisiensi dan kecepatan peluru senapan. Sehingga, pada kisaran abad ke-18 jarang ditemukan pasukan infantri yang mengenakan helm.

Pada era Napoleon, penggunaan helm kembali dilakukan oleh pasukan kavaleri Perancis. Pada Perang Dunia I, penggunaan artileri berat menuntut prajurit infantri kembali menggunakan helm untuk melindungi diri dari serpihan bom (*schrapnel*). Pada Perang Dunia II hingga masa sekarang, helm merupakan alat perlindungan standar bagi semua angkatan bersenjata.



Gambar 2.8 Helm perang dari berbagai benua dan masa

#### 2. Helm Motor

Helm motor digunakan untuk melindungi kepala bila terjadi kecelakaan lalu-lintas yang melibatkan pengendara sepeda motor. Kewajiban menggunakan helm di Indonesia, pertama kali dicetuskan oleh Kapolri Jenderal Hoegeng Iman Santoso dan mendapat penolakan keras. Selanjutnya, peraturan penggunaan helm diatur dalam Undang-

Undang No.14 Tahun 1992 Tentang Kewajiban Menggunakan Helm.



Gambar 2.9 Helm Pengendara Sepeda Motor

### 3. Helm Proyek/Keselamatan

Helm proyek merupakan helm yang direncanakan untuk melindungi jatuhnya material pada proyek pembangunan rumah, gedung ataupun juga digunakan di daerah pertambangan. Helm proyek wajib dikenakan oleh semua orang yang ada di lokasi proyek/pekerjaan. Penggunaan helm disesuaikan dengan pekerjaan yang dilakukan dan atau jabatan orang yang bersangkutan. Helm proyek digolongkan dengan warnanya masing masing, kuning untuk pekerja, putih untuk supervisor dan merah untuk safety (HSE).



Gambar 2.10 Helm Proyek/Keselamatan

#### 2.2.6 Aturan Hukum Penggunaan Helm (Wilayah Hukum Indonesia)

Kebijakan penggunaan helm bagi pengguna sepeda motor pertama kali dicetuskan oleh Kapolri Jenderal Polisi Hoegeng Iman Santoso (l.1921-m.2004). Saat itu, ide penggunaan helm dianggap tidak lazim sehingga mendapat

penolakan keras dari berbagai pihak. Selanjutnya, kewajiban menggunakan helm bagi pengendara sepeda motor diatur melalui UU No. 14 Tahun 1992, UU No. 22 Tahun 2009, serta aturan-aturan pendukung Undang-Undang yang dikeluarkan oleh badan/lembaga terkait seperti SNI 1811-2007 oleh Badan Standar Nasional.

### 2.2.6.1 UU No.14 Tahun 1992

UU No. 14 tahun 1992 tentang Lalu-lintas dan Angkutan Jalan merupakan salah satu instrumen hukum yang diberlakukan pemerintah dalam rangka menata tata tertib lalu lintas di jalan raya. Pada awalnya dengan pembentukan undang-undang ini adalah karena perkembangan transportasi yang begitu pesat dan membutuhkan peraturan yang dapat menjangkau semua pihak dan memberikan kenyamanan dalam berlalu lintas seperti dalam undang-undang itu sendiri yang dilatar belakangi konsep sampai dengan selamat [Utami, 2015].

Aturan penggunaan helm bagi pengendara sepeda motor, dalam UU No 14 tahun 1992, tercantum pada Pasal 23 point e dan f. Selanjutnya, pada pasal 61 ayat 1 dan 2 disebutkan konsekuensi hukum akibat tidak pelanggaran terhadap pasal 23 point e dan f.

Adapun redaksi pasal 23 point e dan f sebagai berikut:

- e. Pengemudi kendaraan bermotor pada waktu mengemudikan kendaraan bermotor di jalan wajib memakai sabuk keselamatan bagi pengemudi kendaraan bermotor roda empat atau lebih, dan mempergunakan **helm** bagi pengemudi kendaraan bermotor roda dua atau bagi pengemudi kendaraan bermotor roda empat atau lebih yang tidak dilengkapi dengan rumah-rumah.
- f. Penumpang kendaraan bermotor roda empat atau lebih yang duduk di samping pengemudi wajib memakai sabuk keselamatan, dan bagi penumpang kendaraan roda dua atau kendaraan bermotor roda empat atau lebih yang tidak dilengkapi dengan rumah-rumah wajib memakai **helm**.

### **2.2.6.2 UU No. 22 Tahun 2009**

Undang-undang No.22 Tahun 2009 tentang Lalu-lintas dan Angkutan Jalan merupakan salah satu instrumen hukum yang diberlakukan pemerintah dalam rangka menata tata tertib lalu lintas di jalan raya. UU No. 22 Tahun 2009 merupakan undang-undang pengganti UU No.14 Tahun 1992 tentang Lalu-lintas dan Angkutan Jalan dimana pada UU No. 22 Tahun 2009, aturan penggunaan helm diperjelas dan dipertegas baik dari segi teknis penggunaan helm maupun spesifikasi teknis dari helm yang digunakan.

Aturan penggunaan helm pada UU No. 22 Tahun 2009, tercantum pada pasal 57 ayat 1 dan 2. Selain itu, pada pasal 106 ayat 8 mensyaratkan bahwa helm yang dikenakan harus memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI).

Adapun redaksi UU No. 22 Tahun 2009 ayat 1 dan 2 serta pasal 106 ayat 8 sebagai berikut:

Pasal 57 ayat 1 berbunyi, ”Setiap kendaraan bermotor yang dioperasikan di jalan wajib dilengkapi dengan perlengkapan kendaraan bermotor.”

Pasal 57 ayat 2 berbunyi, ”Perlengkapan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) bagi sepeda motor berupa helm standar nasional Indonesia.”

Pasal 106 ayat 8 berbunyi, ”Setiap orang yang mengemudikan sepeda motor dan penumpang sepeda motor wajib mengenakan helm yang memenuhi standar nasional Indonesia.”

Di samping itu, UU No. 22 Tahun 2009, pada pasal 290 serta pasal 291 terdapat aturan konsekuensi pengendara sepeda motor yang tidak mengindahkan apa yang tercantum pada pasal 57 dan 106.

### **2.2.6.3 SNI 1811 – 2007**

Sesuai dengan UU No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu-lintas dan Angkutan Jalan, helm yang digunakan oleh pengendara sepeda motor harus memenuhi standar nasional Indonesia. Dalam hal ini, standar yang berlaku adalah SNI 1811 Tahun 2007 yang dikeluarkan oleh Badan Standar Nasional (BSN).

Dalam SNI 1811 – 2007 dicantumkan beberapa persyaratan mutu yang harus dipenuhi oleh suatu helm sebelum dapat digunakan antara lain:

1. Material

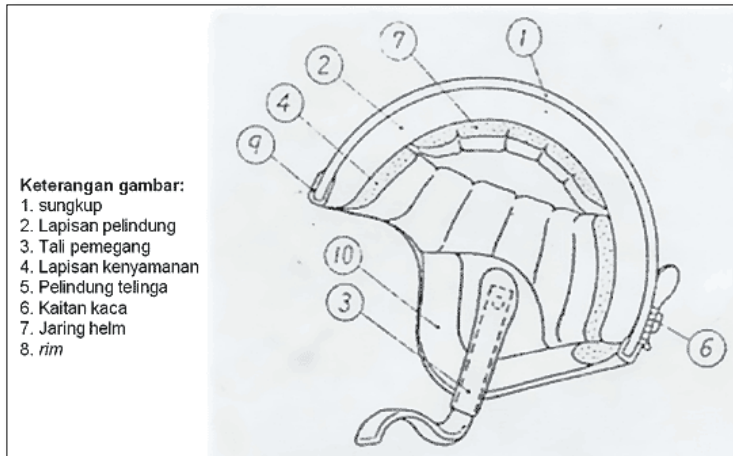
Dibuat dari bahan yang kuat dan bukan logam, tidak berubah jika ditempatkan di ruang terbuka pada suhu 0 °C – 50 °C selama paling tidak 4 jam dan tidak berpengaruh terhadap sinar ultraviolet, bensin, minyak, sabun, deterjen, air serta pembersih lainnya. Bahan pelengkap harus tahan lapuk, air, dan tidak berpengaruh terhadap perubahan suhu. Bahan yang bersinggungan dengan kulit tidak menyebabkan iritasi dan penyakit kulit.

2. Konstruksi

Konstruksi helm harus memenuhi beberapa kriteria diantaranya:

- Tempurung yang keras dengan permukaan yang halus
- Lapisan peredam benturan
- Tali pengikat dagu.

Tempurung helm terbuat dari bahan yang keras dengan ketebaan dan kemampuan yang homogen, serta tidak menyatu dengan pelindung muka. Selain itu, tidak dibenarkan terdapat penguatan setempat. Peredam benturan terdiri dari lapisan peredam kejut yang dipasang pada permukaan bagian dalam tempurung dengan tebal sekurang-kurangnya 10 milimeter dan jaring helm atau konstruksi lain yang berfungsi seperti jaring helm.



Gambar 2.11 Konstruksi Helm Menurut SNI 1811 – 2007

### 3. Pengujian Mutu

Pada SNI 1811 – 2007, terdapat beberapa pengujian yang disyaratkan pada suatu helm sebelum benar-benar dapat digunakan atau dipasarkan yaitu:

- Uji penyerapan kejut
- Uji penetrasi
- Uji efektivitas sistem penahan
- Uji kekuatan sistem penahan dengan tali pemegang
- Uji pergeseran tali pemegang
- Uji ketahanan terhadap keausan dari tali pemegang
- Uji impact miring
- Uji pelindung dagu
- Uji sifat mudah terbakar



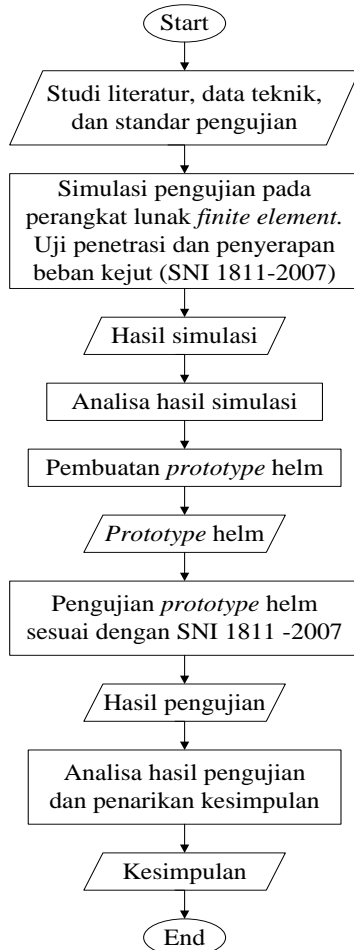
**BAB III**  
**METODOLOGI**



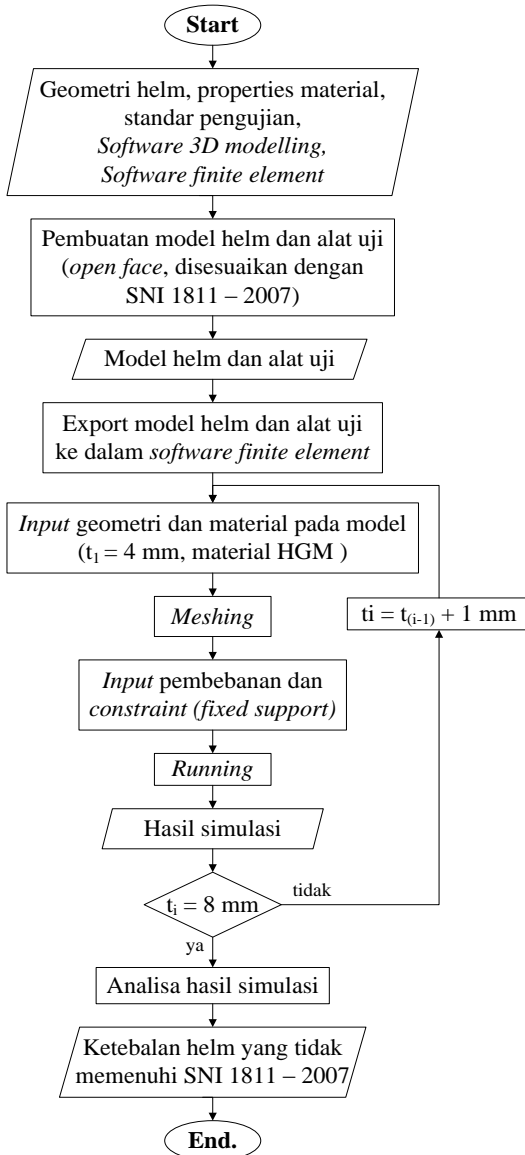
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

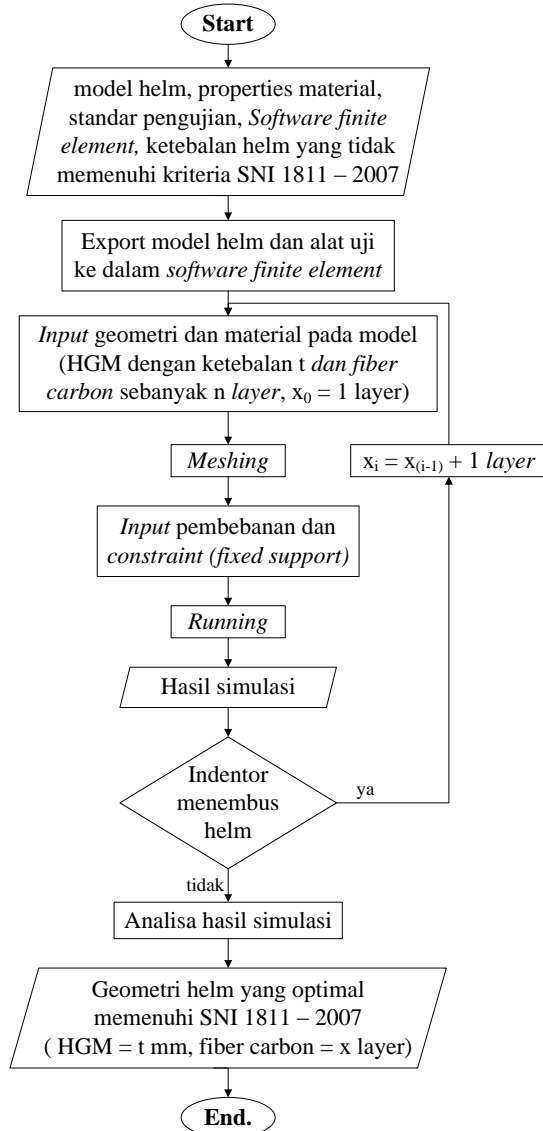
Adapun diagram alir dalam rangkaian penelitian ini dibedakan menjadi beberapa jenis, diantaranya diagram alir rangkaian penelitian, diagram alir simulasi, dan diagram alir eksperimen.



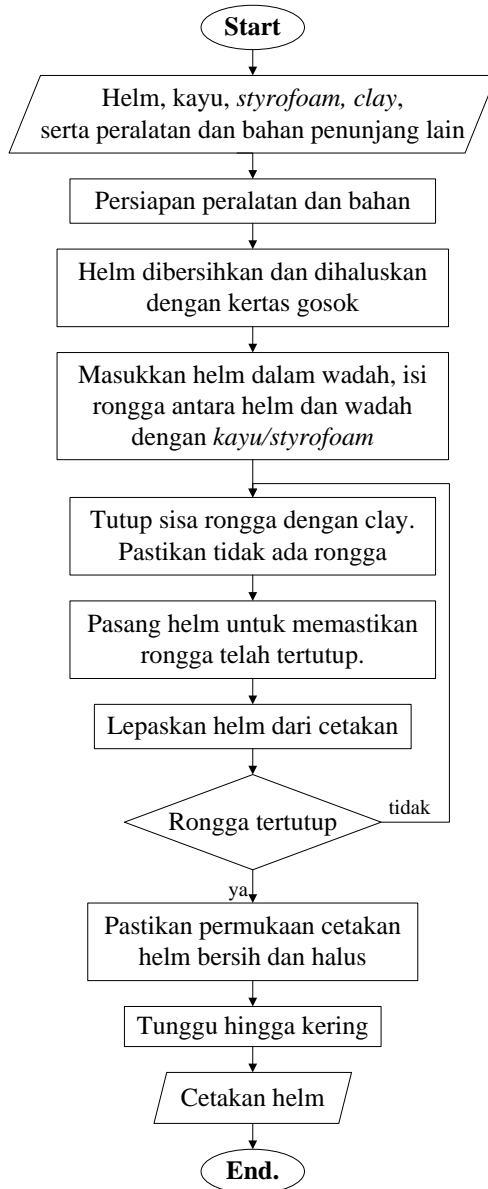
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



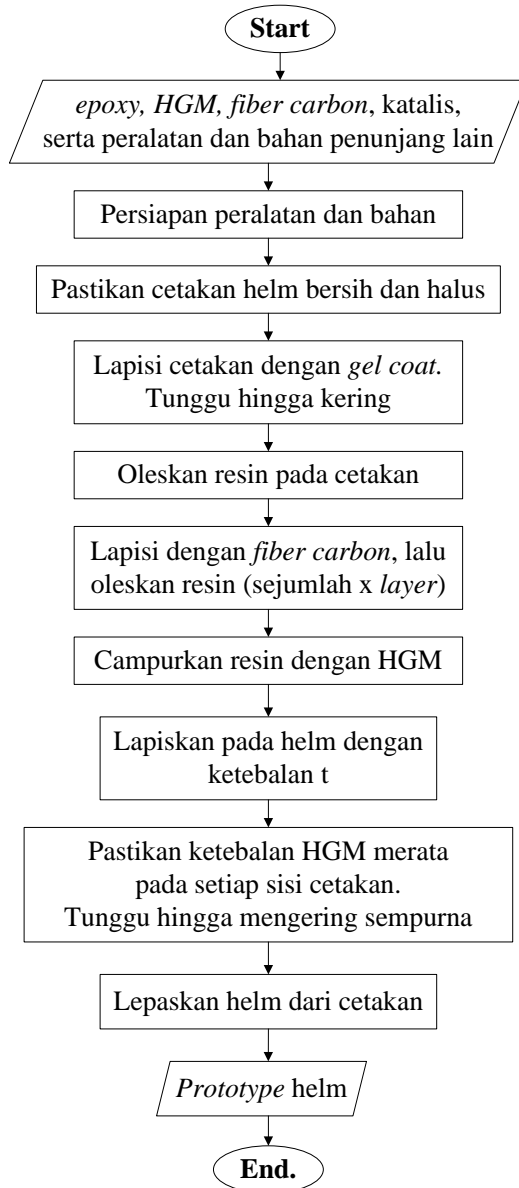
Gambar 3.2 Diagram alir simulasi pengujian penetrasi dan penyerapan beban kejut terhadap helm dengan material HGM



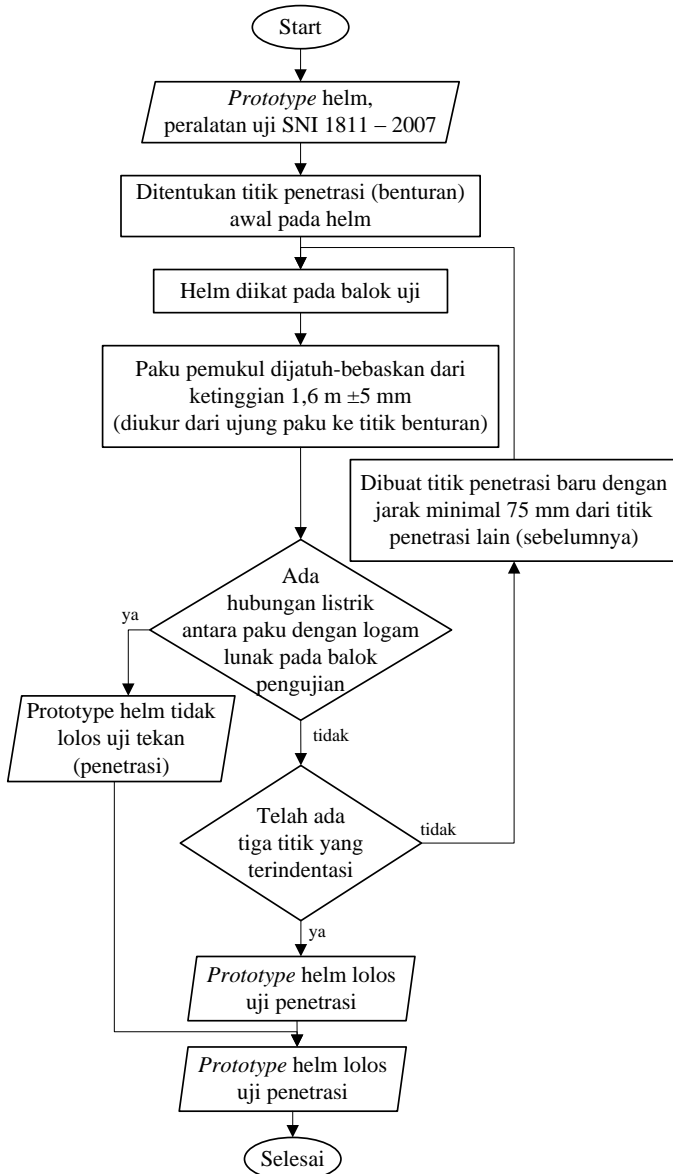
Gambar 3.3 Diagram alir simulasi pengujian penetrasi dan penyerapan beban kejut terhadap helm dengan material HGM dan *carbon fiber*



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan cetakan helm



Gambar 3.5 Diagram alir pembuatan *prototype* helm



Gambar 3.6 Diagram alir uji SNI 1811-2007

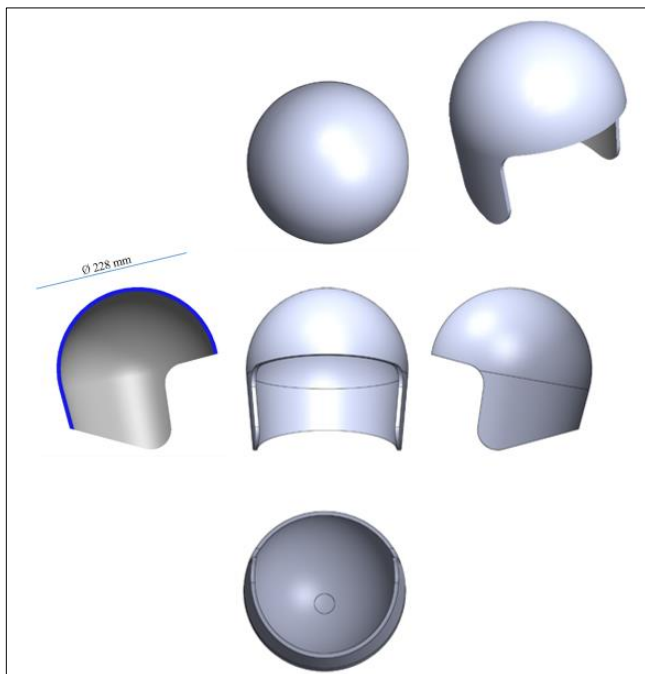
### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mengetahui informasi-informasi terkait dengan penelitian. Penggalan informasi dilakukan dari berbagai sumber mulai dari artikel, jurnal, undang-undang, katalog, internet, serta hasil penelitian terkait yang pernah dilakukan sebelumnya. Adapun beberapa informasi terkait yaitu:

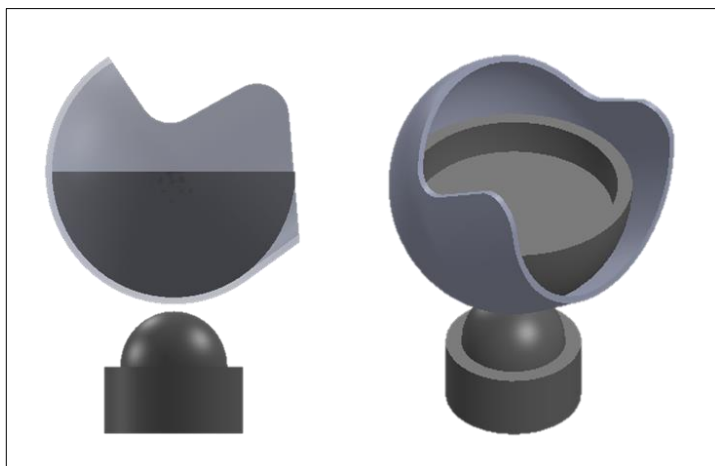
1. Hasil Penelitaian Sebelumnya.  
Penelitian sebelumnya terkait penerapan penggunaan material, HGM maupun *carbon fiber*, dalam berbagai bidang baik dalam skala penelitian maupun industri. Lebih spesifik, penelitian mengenai penggunaan HGM sebagai bahan pembuatan helm oleh M. Galang Perkasa.
2. *Hollow Glass Microsphere*  
Literatur yang digunakan berupa *data sheet* material HGM tipe tertentu yang diterbitkan oleh pabrikan. *Data sheet* berisi *properties* serta informasi pendukung terkait.
3. *CarbonFiber*  
Literatur berupa *data sheet* material *carbon fiber* 12k yang diterbitkan oleh pabrikan. *Data sheet* berisi *properties* serta informasi pendukung terkait.
4. SNI 1811 – 2007  
SNI 1811 – 2007 diterbitkan oleh Badan Standar Nasional berisi informasi yang berkaitan dengan helm standar mulai dari geometri serta standar pengujian yang dilakukan terhadap helm.

### 3.3 Model Helm dan Alat Uji

Model helm yang digunakan mengacu pada SNI 1811 – 2007 yang disesuaikan dengan helm *open face* yang ada di pasaran pada umumnya.

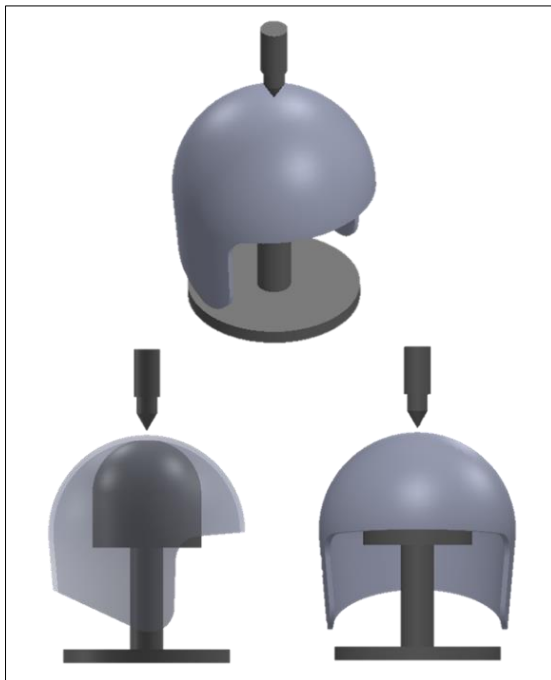


Gambar 3.7 Model Helm yang Digunakan pada Penelitian



Gambar 3.8 Pengkondisian Model Helm dengan Alat Uji pada Pengujian *Impact*





Gambar 3.9 Pengkondisian Model Helm dengan Alat Uji pada Pengujian Penetrasi

### 3.4 Simulasi

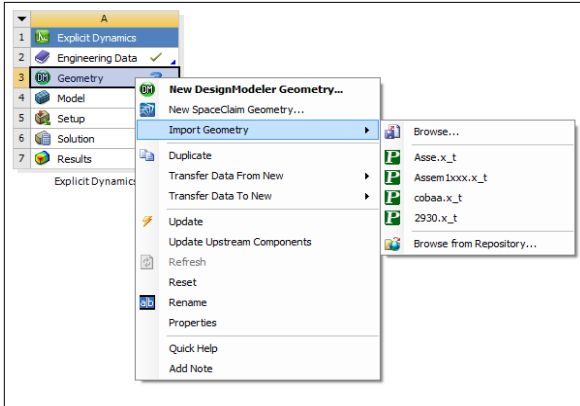
Simulasi Pengujian SNI 1811 – 2007, uji penetrasi dan uji penerapan kejut, dilakukan menggunakan perangkat lunak *finite element*. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan antara lain:

#### 1. Pembuatan model helm dan alat uji

Geometri helm yang digunakan dalam simulasi didasarkan pada helm *open face* sesuai ketentuan SNI 1811-2007. Pembuatan model menggunakan perangkat lunak 3D-CAD. Selanjutnya, dilakukan proses *assembly* terhadap model helm dan alat uji sesuai dengan ketentuan SNI 1811-2007. Selanjutnya, model helm dan alat uji di-export ke dalam perangkat lunak *finite element*.

## 2. Input data material

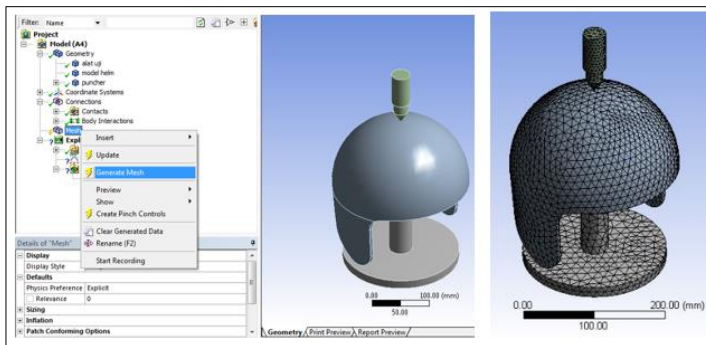
Nilai *properties* dari suatu material dimasukkan ke dalam sub menu *engineering data* pada perangkat lunak *finite element*. Adapun *properties* material yang dimasukkan merupakan *properties* material *epoxy – HGM* iM30k dengan fraksi berat 84% epoxy - 16 % HGM.



Gambar 3.10 *Import geometri dan input properties*

## 3. Meshing

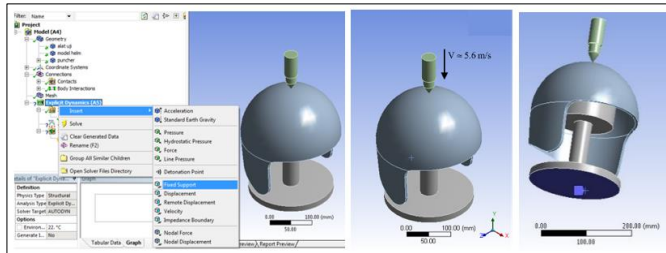
*Meshing* atau pembagian suatu komponen menjadi simpul-simpul (*nodes*) pengamatan yang terhubung satu sama lain. Pemilihan *meshing* ditujukan untuk mengatur tingkat detailan hasil simulasi.



Gambar 3.11 Langkah Proses *Meshing* dan Hasil *Meshing*

#### 4. Pembebanan

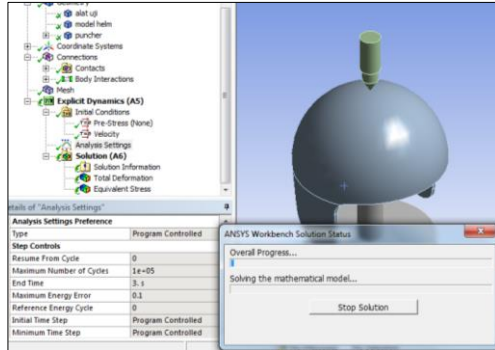
Pada pembebanan, dilakukan pengkondisian area-area *fixed support* dan pemberian initial condition seperti kecepatan yang bekerja pada alat uji.



Gambar 3.12 Proses pembebanan dan pemberian *constraint*

#### 5. Running

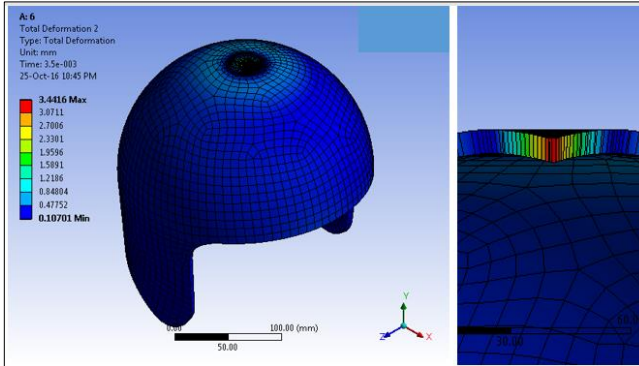
Proses *running* dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi. Lamanya waktu *running* bergantung pada kerapatan meshing, jumlah *cycle* yang dimasukkan, serta spesifikasi atau kemampuan komputer yang digunakan.



Gambar 3.13 Proses *Running*

#### 6. Hasil Simulasi dan Analisa Data

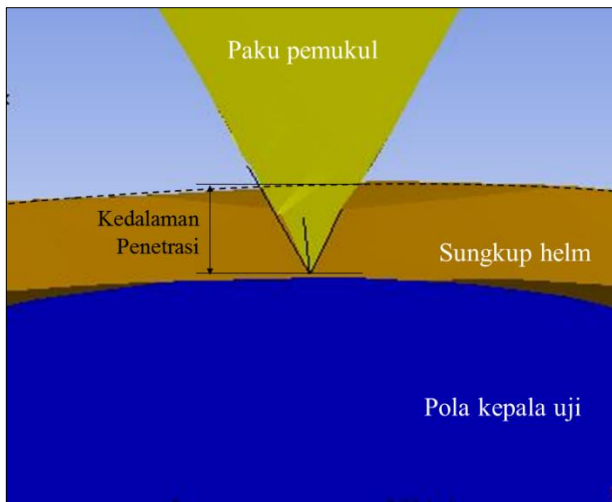
Setelah proses *running* selesai dilakukan, akan didapatkan hasil simulasi. Dari hasil simulasi, didapatkan ketebalan helm yang memenuhi kriteria uji penetrasi dan uji penyerapan beban kejut.



Gambar 3.14 Hasil Simulasi Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007

### 3.5 Analisa Hasil Simulasi

Pada simulasi uji penetrasi dapat ditampilkan nilai deformasi yang terjadi pada paku pemukul. Nilai deformasi tersebut merupakan perpindahan paku pemukul pada sumbu y sekaligus nilai kedalaman penetrasi paku terhadap sungkup helm. Hal tersebut dikarenakan posisi ujung paku pemukul, di awal, tepat berada pada permukaan sungkup helm.



Gambar 3.15 Skema hasil simulasi uji penetrasi

Dengan menggunakan Teori Tegangan Normal Maksimum, dimana jika tegangan yang terjadi melebihi yield, akan terjadi deformasi plastis serta jika tegangan melebihi kekuatan ultimate, material akan rusak. Kegagalan akan terjadi apabila:

$$\sigma_1 \geq S_{ut}/n_s \quad (\text{indentor menembus helm})$$

$$\sigma_1 \geq S_y/n_s \quad (\text{terjadi deformasi plastis pada helm})$$

Dimana  $\sigma_1$  = tegangan normal yang bekerja pada material  
 $S_{ut}$  = kekuatan *ultimate* material  
 $S_y$  = kekuatan *yield* material  
 $n_s$  = faktor keamanan ( $n_s = 1$ )

Pada uji penyerapan beban kejut, disyaratkan bahwa pola kepala uji tidak diperbolehkan menerima beban kejut melebihi 2000g. Pada hasil *simulasi software finite element*, dapat ditampilkan percepatan yang dialami oleh pola kepala uji. Dari data yang ditampilkan, diambil nilai maksimum percepatan yang dialami oleh pola kepala uji. Selanjutnya, nilai tersebut dikonvesikan kedalam g (gravitasi).

$a > 2000g$       tidak memenuhi SNI 1811 – 2007  
 $a \leq 2000g$       memenuhi SNI 1811 – 2007

Bila percepatan yang dialami pola kepala uji melebihi 2000g, maka helm tersebut tidak memenuhi kriteria uji penyerapan beban kejut SNI 1811 – 2007.

### 3.6 Pembuatan *Prototype* Helm

Pembuatan *prototype* helm menggunakan acuan geometri helm yang banyak beredar di pasaran, memenuhi SNI 1811 – 2007, serta tidak berbeda jauh dengan model yang telah disimulasikan. Adapun peralatan dan bahan yang digunakan dalam pembuatan tercantum pada subbab selanjutnya.

### 3.6.1 Peralatan dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan adalah:

1. alat keselamatan: sarung tangan, masker, kacamata.
2. alat bantu: penggaris, gunting, cutter, gerinda, kuas, penjepit, kertas gosok
3. *epoxy, polyester, Hollow Glass Microsphere, carbon fiber, fiber glass, gel coat*, PVA, katalis.
4. helm
5. kayu, *styrofoam*, dan
6. serta peralatan dan bahan lain yang mendukung.

### 3.6.2 Langkah – langkah

Adapun langkah – langkah yang dilakukan dalam pembuatan *prototype* helm dibagi menjadi langkah-langkah pembuatan cetakan dan pembuatan *prototype*. Adapun pembuatan cetakan helm sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Helm dibersihkan dari kotoran dan dihaluskan dengan kertas gosok.
3. Helm diolesi wax sebanyak 3 – 5 kali dengan jeda 5 – 10 menit. Kemudian, helm dilapisi dengan PVA dan ditunggu hingga kering.
4. Setelah PVA kering, helm diolesi dengan resin polyester dan dilapisi dengan *fiber glass* sebanyak dua la yer.
5. Cetakan dilepas dari helm setelah resin – fiber glass benar – benar kering.

Setelah dilakukan pembuatan cetakan helm, dilakukan pembuatan *prototype*. Adapun langkah – langkah pembuatan *prototype* helm sebagai berikut:

1. Pastikan cetakan halus dan bersih.
2. *Gel coat* dilapiskan pada cetakan. Tunggu hingga kering.
3. Campurkan *epoxy* dengan katalis. Oleskan kedalam cetakan.
4. Lapisi cetakan dengan *carbon fiber*. Lapisi kembali dengan resin.

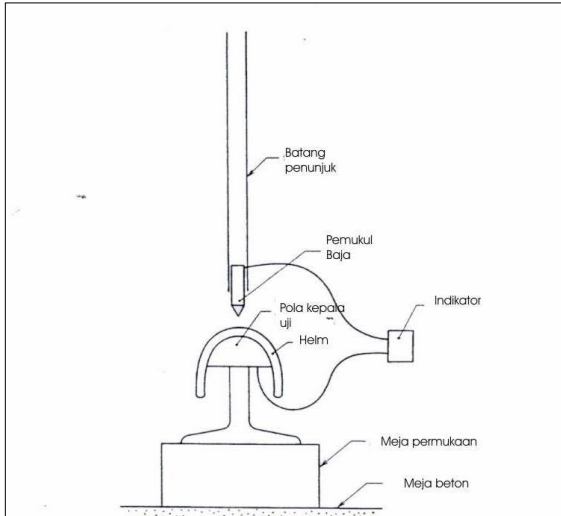
5. Campurkan HGM dan resin.
6. Lapiskan pada *carbon fiber* dalam cetakan.
7. Pastikan HGM dalam cetakan memiliki ketebalan yang merata. Tunggu hingga kering.
8. Lepaskan *prototype* dari cetakan.

### 3.7 Pengujian SNI 1811 – 2007

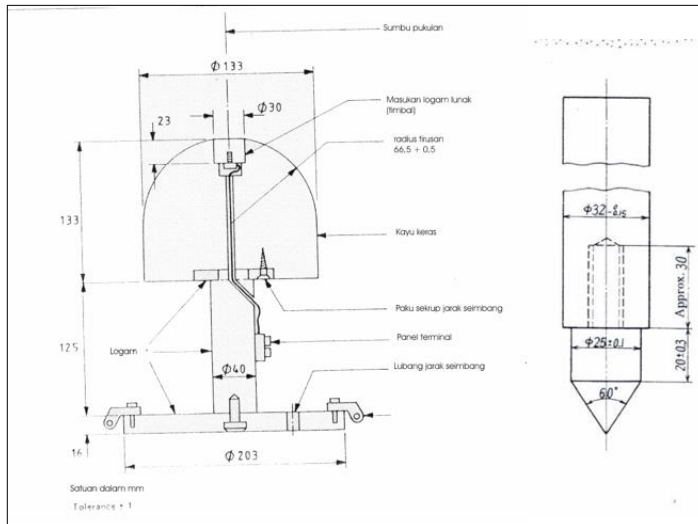
Pengujian ditujukan untuk mengetahui ketahanan material penyusun helm terhadap beban penetrasi dan beban kejut. Pengujian yang dilakukan terhadap helm disesuaikan dengan aturan standar yang berlaku, dalam hal ini SNI 1811 - 2007. Syarat kerja dan kriteria ditampilkan pada tabel 3.1. Skema dan kelengkapan uji pada gambar 3.12, 3.13, dan 3.14.

Tabel 3.1 Standar Pengujian SNI 1811-2007

| No. | Jenis pengujian          | Syarat kerja  | Kriteria   |
|-----|--------------------------|---|--|
| 1   | Uji Penetrasi            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paku pemukul dijatuh bebaskan dari ketinggian 1,6 m terhadap helm</li> <li>• Berat paku pemukul 3 kg <math>\pm</math> 45 gram, kekerasan 45-50 HRC</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material pada sungkup tidak tembus</li> </ul>   |
| 2   | Uji Penyeran Beban Kejut | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Paron baja plat berbentuk setengah bola dengan diameter 130 mm</li> <li>• Berat model kepala uji tidak termasuk helm sebesar 5 <math>\pm</math> 0.2 kg</li> <li>• Helm dan pola epala uji dijatuh bebaskan dari ketinggian tertentu dan menumbuk paron</li> <li>• Kecepatan saat tumbukan sebesar 6 <math>\pm</math> 0.15 m/s</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak mengalami retak atau pecah pada sungkup helm</li> <li>• Beban kejut yang diterima oleh pola kepala uji tidak lebih dari 2000 g</li> </ul> |

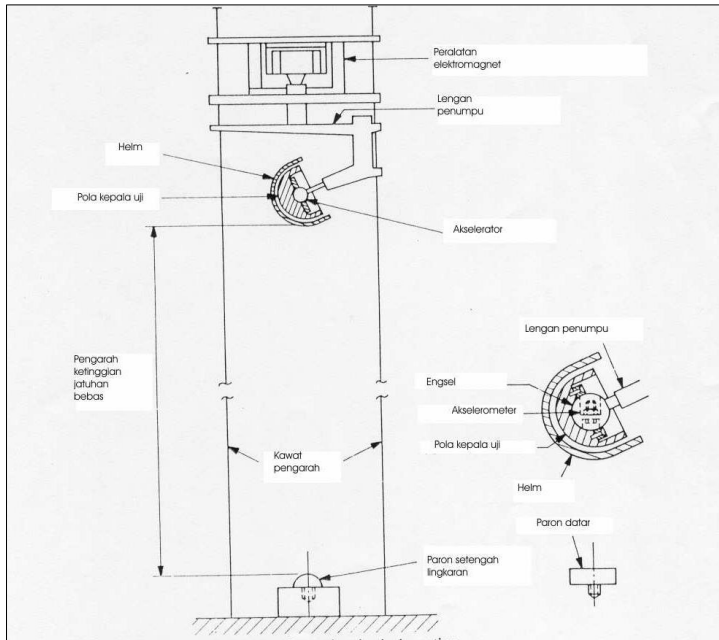


Gambar 3.16 Skema Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007



Gambar 3.17 Kelengkapan Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007  
 a. Model kepala uji  
 b. Paku pemukul





Gambar 3.18 Skema Uji Penyerapan Kejut SNI 1811 – 2007



**BAB IV**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Spesifikasi Sungkup Helm

##### 4.1.1 Sungkup Helm *Epoxy – HGM*

Berdasarkan model yang telah dibuat, didapatkan volume dan berat helm. Volume helm didapatkan sesuai dengan nilai yang ditampilkan pada software 3D CAD. Massa helm diperoleh dari perkalian antara *density epoxy – HGM* dan volume helm. *Density epoxy – HGM* mengacu pada spesimen yang didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya sebesar  $1035.4 \text{ g/cm}^3$ .

Tabel 4.1 Spesifikasi Sungkup Helm *Epoxy – HGM*

| <b>Ketebalan<br/>(mm)</b> | <b><i>Density</i><br/>(<math>\text{g/cm}^3</math>)</b> | <b>Volume<br/>(<math>\text{cm}^3</math>)</b> | <b>Massa<br/>(gram)</b> |
|---------------------------|--|--|-------------------------|
| 4                         | 1.035  | 505.32                                       | <b>522.91</b>           |
| 5                         | 1.035  | 636.37                                       | <b>658.64</b>           |
| 6                         | 1.035  | 769.33                                       | <b>796.26</b>           |
| 7                         | 1.035  | 904.22                                       | <b>935.87</b>           |
| 8                         | 1.035  | 1041.05                                      | <b>1077.49</b>          |

##### 4.1.2 Sungkup Helm *Epoxy – HGM – Carbon Fiber*

Massa sungkup helm yang terbuat dari material komposit *epoxy – HGM – carbon fiber* merupakan penjumlahan massa sungkup yang terbuat dari *epoxy – HGM* ditambah dengan massa *carbon fiber*. Massa *carbon fiber* bergantung pada jumlah layer yang ada pada sungkup. Massa carbon fiber diperoleh dari perkalian antara *density epoxy – carbon fiber* dengan volume layer.

Tabel 4.2 Spesifikasi Sungkup Helm *Epoxy – HGM – Carbon Fiber*

| Ketebalan (mm) | Massa <i>Epoxy – HGM</i> (gram) | Massa Total <i>Epoxy – HGM – Carbon Fiber</i> |         |         |
|----------------|---------------------------------|---|---------|---------|
|                |                                 | 1 layer                                       | 2 layer | 3 layer |
| 4              | 522.91                          | 598.59  | 674.57  | 751.27  |
| 5              | 658.64                          | 735.42  | 812.66  | 890.32  |
| 6              | 796.26                          | 874.15  | 952.51  | 1031.31 |
| 7              | 935.87                          | -   | -       | -       |
| 8              | 1077.49                         | -   | -       | -       |

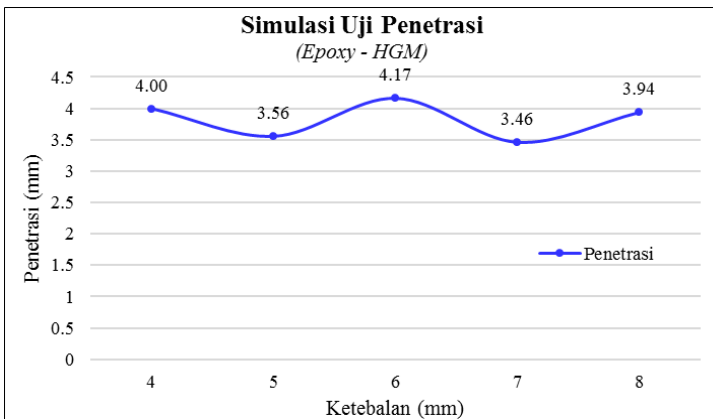
## 4.2 Hasil Simulasi

Simulasi yang dilakukan berupa uji penetrasi dan uji penyerapan kejut. Pengujian dikenakan, baik pada helm dengan bahan *epoxy – HGM* ataupun *epoxy – HGM – carbon fiber*.

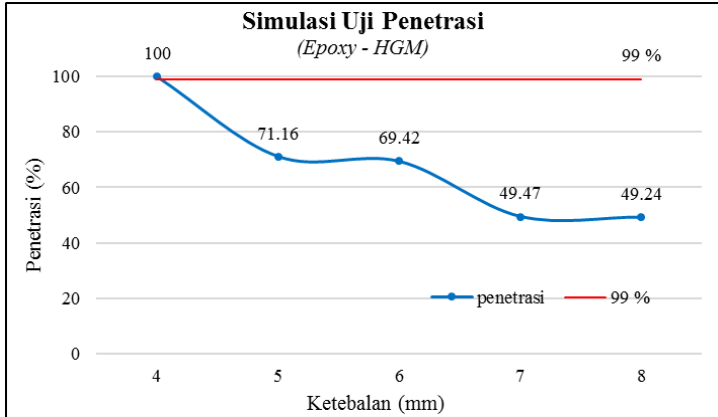
### 4.2.1 Hasil Simulasi Uji Penetrasi Sungkup Helm *Epoxy – HGM*

#### 4.2.1.1 Penetrasi (*Epoxy – HGM*)

Nilai kedalaman penetrasi ditampilkan dalam satuan milimeter (Gambar 4.1) serta persentase kedalaman penetrasi terhadap ketebalan sungkup helm (Gambar 4.2).



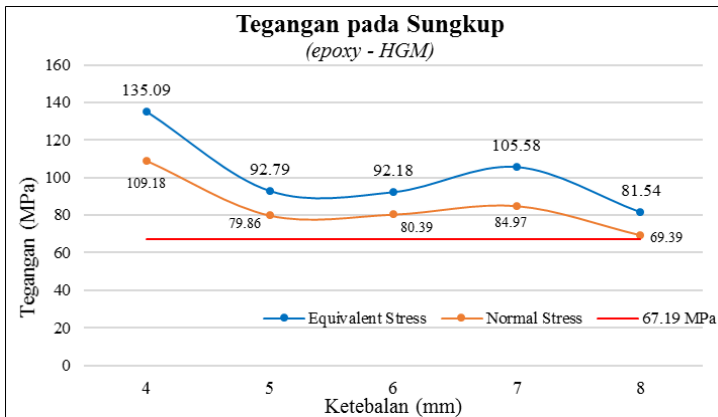
Gambar 4.1 Penetrasi pada Sungkup Helm



Gambar 4.2 Penetrasi pada Sungkup Helm

#### 4.2.1.2 Tegangan Akibat Penetrasi (Epoxy – HGM)

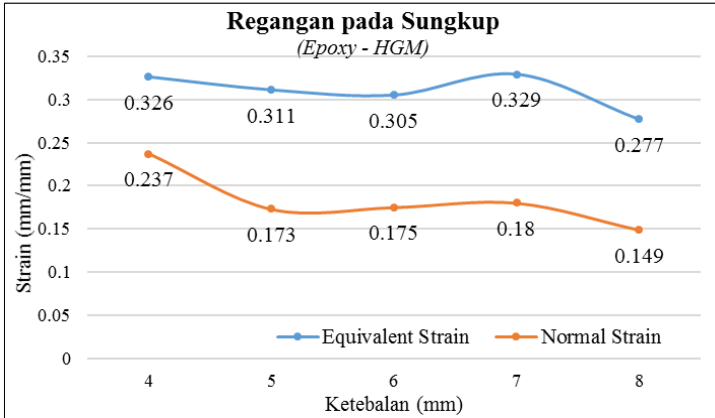
Nilai tegangan yang ditampilkan merupakan nilai tegangan ekuivalen dan tegangan normal dalam satuan MPa (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Tegangan pada Sungkup Akibat Penetrasi

### 4.2.1.3 Regangan Akibat Penetrasi (*Epoxy – HGM*)

Besarnya regangan yang ditampilkan merupakan nilai regangan ekuivalen dalam satuan mm/mm (Gambar 4.4).

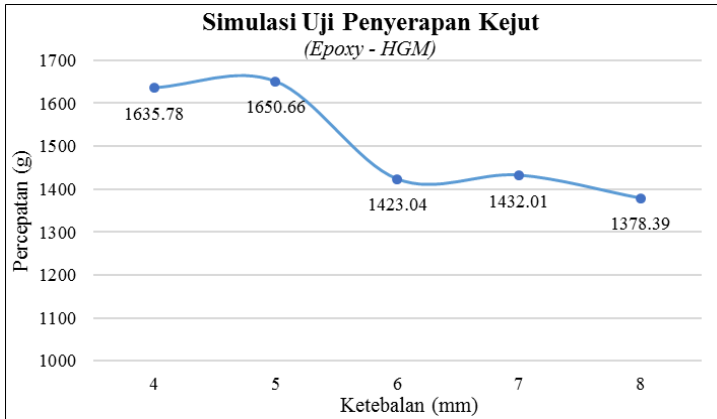


Gambar 4.4 Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi

## 4.2.2 Hasil Simulasi Uji Penyerapan Kejut (*Epoxy – HGM*)

### 4.2.2.1 Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji (*Epoxy – HGM*)

Nilai percepatan uji yang didapat dari simulasi dikonversi dari Satuan Internasional (SI –  $m/s^2$ ) ke dalam satuan percepatan g (gravitasi). Selanjutnya, besar percepatan ditampilkan pada Gambar 4.5.



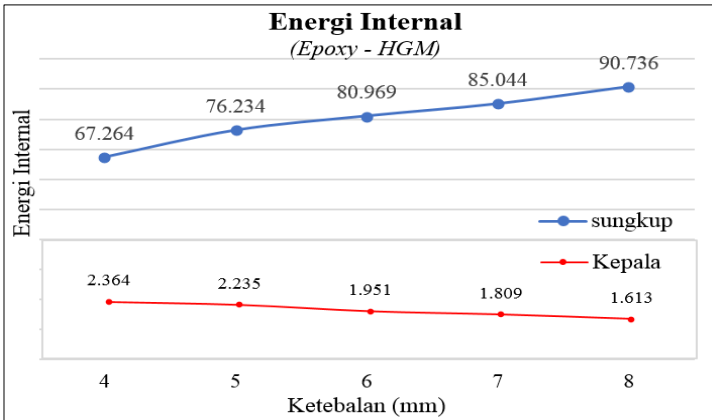
Gambar 4.5 Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji

#### 4.2.2.2 Penyerapan Energi (*Epoxy – HGM*)

Setelah dilakukan simulasi, didapatkan nilai energi-energi pada masing – masing komponen uji. Selanjutnya, energi yang diserap oleh sungkup dan energi yang diterima oleh pola kepala uji ditampilkan dalam satuan Joule (Tabel 4.3 dan Gambar 4.6).

Tabel 4.3 Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut

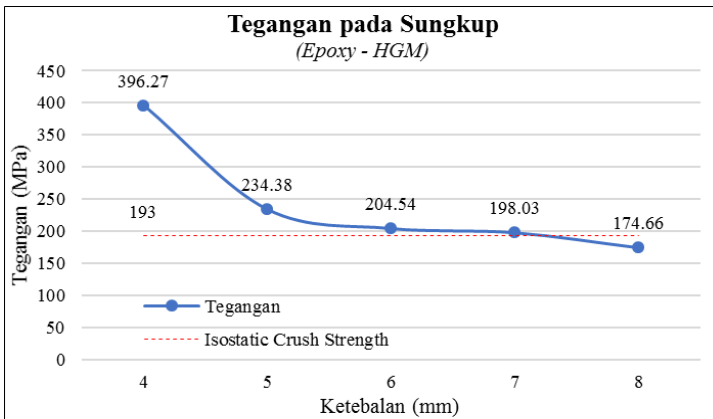
| Ketebalan (mm) | Energi Internal (Joule) |        |         |       |
|----------------|-------------------------|--------|---------|-------|
|                | kepala                  | foam   | sungkup | anvil |
| 4              | 2.364                   | 41.123 | 67.264  | 1.103 |
| 5              | 2.235                   | 38.494 | 76.234  | 1.360 |
| 6              | 1.951                   | 35.471 | 80.969  | 1.204 |
| 7              | 1.809                   | 33.703 | 85.044  | 1.010 |
| 8              | 1.613                   | 29.801 | 90.736  | 1.744 |



Gambar 4.6 Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut

#### 4.2.2.3 Tegangan Akibat Beban Kejut (Epoxy – HGM)

Nilai tegangan yang didapatkan dari simulasi ditampilkan dalam satuan MPa (Gambar 4.7).

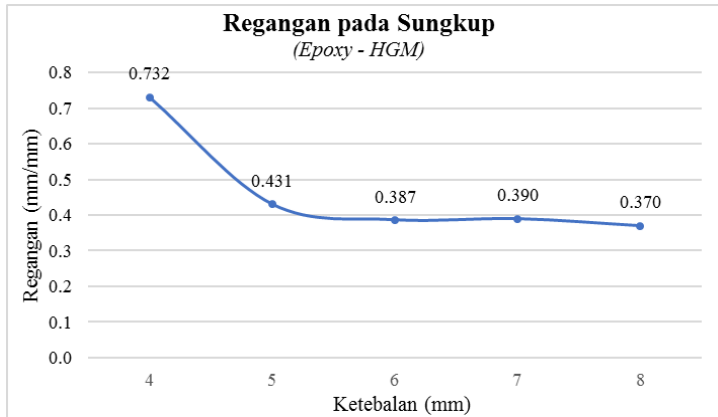


Gambar 4.7 Tegangan pada Sungkup (Mpa)



#### 4.2.2.4 Regangan Akibat Beban Kejut (*Epoxy – HGM*)

Nilai regangan yang terjadi pada sungkup helm ditampilkan dalam satuan mm/mm (Gambar 4.8).



Gambar 4.8 Regangan pada Sungkup Akibat Beban Kejut

#### 4.2.2.5 Konservasi Energi (*Epoxy – HGM*)

Setelah dilakukan simulasi uji penyerapan kejut, dapat ditampilkan energi total yang bekerja pada elemen uji. Energi di tampilkan dalam satuan Joule serta temperatur dalam satuan °C (Tabel 4.4).

Tabel 4.4 Konservasi Energi dan Perubahan Temperatur (*Epoxy – HGM*)

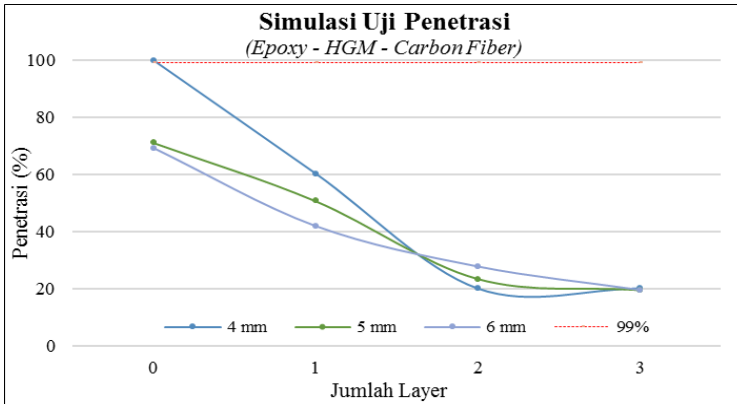
| Ketebalan (mm) | Energi Total (Joule) |           |        | Elastic Strain Energy | Thermal Energy | Temperatur (°C) |        |
|----------------|----------------------|-----------|--------|-----------------------|----------------|-----------------|--------|
|                | initial              | collision | end    |                       |                | initial         | end    |
| 4              | 130.38               | 124.45    | 130.14 | 5.69                  | 0.24           | 22              | 22     |
| 5              | 132.81               | 129.53    | 132.55 | 3.02                  | 0.26           | 22              | 22.001 |
| 6              | 135.28               | 131.36    | 134.95 | 3.59                  | 0.33           | 22              | 22     |
| 7              | 137.78               | 133.61    | 137.34 | 3.73                  | 0.44           | 22              | 22     |
| 8              | 140.33               | 137.16    | 139    | 1.84                  | 1.33           | 22              | 22     |

## 4.2.3 Hasil Simulasi Uji Penetrasi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

### 4.2.3.1 Penetrasi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Nilai kedalaman penetrasi ditampilkan dalam satuan milimeter (Tabel 4.5) serta persentase kedalaman penetrasi terhadap ketebalan sungkup helm (Gambar 4.9).

Tabel 4.5 Penetrasi pada Sungkup



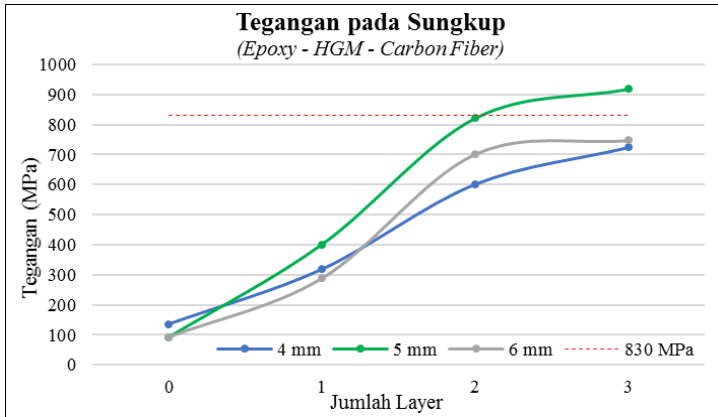
Gambar 4.9 Penetrasi pada Sungkup Helm

### 4.2.3.2 Tegangan Akibat Penetrasi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Nilai tegangan ditampilkan dalam satuan MPa (Tabel 4.6 dan Gambar 4.10).

Tabel 4.6 Tegangan pada Sungkup (Mpa)

|                        |   | Jumlah Layer |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|---|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                        |   | 0            | 1      |        | 2      |        | 3      |        |
|                        |   |              | HGM    | Carbon | HGM    | Carbon | HGM    | Carbon |
| Ketebalan Sungkup (mm) | 4 | 135.09       | 137.59 | 318.36 | 155.94 | 601.7  | 138.51 | 724.84 |
|                        | 5 | 92.791       | 103.15 | 401.43 | 97.001 | 821.24 | 103.84 | 918.55 |
|                        | 6 | 92.181       | 119.61 | 288.5  | 109.69 | 701.9  | 92.448 | 748.08 |
|                        | 7 | 105.58       | x      | x      | x      | x      | x      | x      |
|                        | 8 | 81.54        | x      | x      | x      | x      | x      | x      |



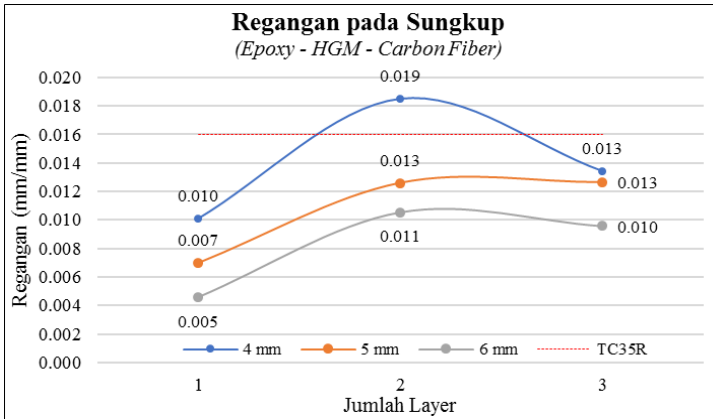
Gambar 4.10 Tegangan pada Sungkup Akibat Penetrasi

#### 4.2.3.3 Regangan Akibat Penetrasi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Setelah dilakukan simulasi, didapatkan nilai regangan yang terjadi pada sungkup helm. Nilai regangan ditampilkan dalam satuan mm/mm (Tabel 4.7 dan Gambar 4.11).

Tabel 4.7 Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi)

| Ketebalan (mm) | Jumlah Layer |       |        |       |        |       |        |
|----------------|--------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                | 0            | 1     |        | 2     |        | 3     |        |
|                |              | HGM   | Carbon | HGM   | Carbon | HGM   | Carbon |
| 4              | 0.326        | 0.320 | 0.010  | 0.302 | 0.019  | 0.259 | 0.013  |
| 5              | 0.311        | 0.236 | 0.007  | 0.248 | 0.013  | 0.216 | 0.013  |
| 6              | 0.305        | 0.286 | 0.005  | 0.236 | 0.011  | 0.197 | 0.010  |
| 7              | 0.329        | x     | x      | x     | x      | x     | x      |
| 8              | 0.277        | x     | x      | x     | x      | x     | x      |



Gambar 4.11 Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi

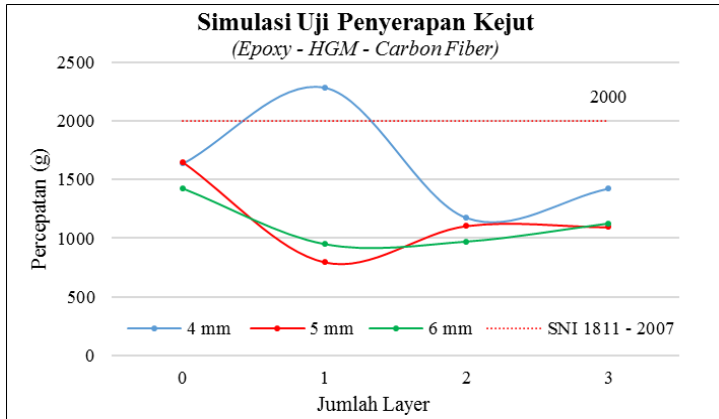
## 4.2.4 Hasil Simulasi Uji Penyerapan Kejut

### 4.2.4.1 Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Nilai percepatan pola kepala uji dikonversi dari Satuan Internasional (SI –  $m/s^2$ ) ke dalam satuan g (Tabel 4.8 dan Gambar 4.12).

Tabel 4.8 Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji

| Ketebalan<br>(mm) | Jumlah Layer |         |         |         |
|-------------------|--------------|---------|---------|---------|
|                   | 0            | 1       | 2       | 3       |
| 4                 | 1635.78      | 2284.30 | 1175.33 | 1423.75 |
| 5                 | 1650.66      | 796.01  | 1105.51 | 1094.80 |
| 6                 | 1423.04      | 951.42  | 972.51  | 1126.10 |
| 7                 | 1432.01      | x       | x       | x       |
| 8                 | 1378.39      | x       | x       | x       |



Gambar 4.12 Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji

#### 4.2.4.2 Penyerapan Energi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Besarnya energi pada masing – masing komponen uji, energi yang diserap oleh sungkup dan energi yang diterima oleh pola kepala uji, ditampilkan dalam satuan Joule (Tabel 4.9 dan Gambar 4.13).

Tabel 4.9 Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut

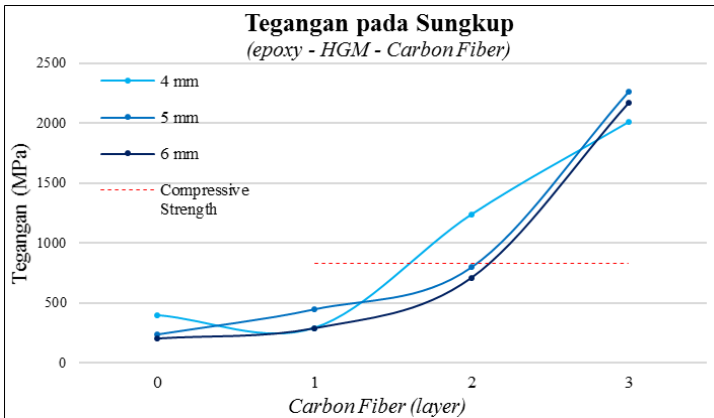
| Jumlah Layer    | Ketebalan (mm) | 0      |        | 1      |        | 2      |        | 3      |        |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 |                | HGM    | Carbon | HGM    | Carbon | HGM    | Carbon | HGM    | Carbon |
| Pola Kepala Uji | 4              | 2.364  |        | 4.952  |        | 3.831  |        | 3.052  |        |
|                 | 5              | 2.235  |        | 1.329  |        | 1.317  |        | 1.103  |        |
|                 | 6              | 1.951  |        | 0.871  |        | 1.132  |        | 1.127  |        |
| Sungkup         | 4              | 67.264 | 36.656 | 16.153 | 51.888 | 31.222 | 68.606 | 35.790 |        |
|                 | 5              | 76.234 | 73.181 | 8.901  | 51.612 | 24.254 | 43.648 | 42.323 |        |
|                 | 6              | 80.969 | 68.597 | 9.648  | 55.346 | 27.733 | 41.088 | 33.794 |        |

#### 4.2.4.3 Tegangan Akibat Beban Kejut (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Besarnya tegangan yang terjadi pada sungkup helm ditampilkan dalam satuan MPa (Tabel 4.10 dan Gambar 4.14).

Tabel 4.10 Tegangan pada Sungkup *Epoxy – HGM – Carbon Fiber* (Uji Penyerapan Kejut)

| Ketebalan (mm) | Jumlah Layer |            |               |            |               |            |               |
|----------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
|                | 0            | 1          |               | 2          |               | 3          |               |
|                |              | <i>HGM</i> | <i>Carbon</i> | <i>HGM</i> | <i>Carbon</i> | <i>HGM</i> | <i>Carbon</i> |
| 4              | 396.27       | 177.58     | 290.2         | 151.02     | 1236.5        | 247.03     | 2006.4        |
| 5              | 234.38       | 156.68     | 444.68        | 178.3      | 796.3         | 133.74     | 2264.7        |
| 6              | 204.54       | 135.33     | 290.32        | 128.66     | 711.6         | 152.64     | 2168.2        |
| 7              | 198.03       | x          | x             | x          | x             | x          | x             |
| 8              | 174.66       | x          | x             | x          | x             | x          | x             |



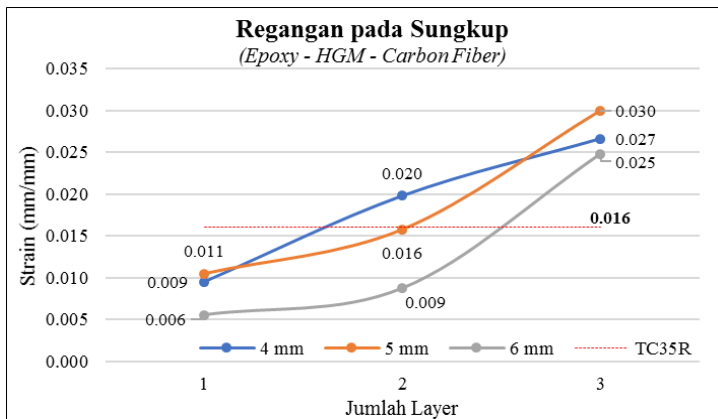
Gambar 4.14 Tegangan pada Sungkup *Epoxy – HGM – Carbon Fiber* (Uji Penyerapan Keju)

#### 4.2.4.4 Regangan Akibat Beban Kejut (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Nilai regangan yang terjadi pada sungkup helm ditampilkan dalam satuan mm/mm (Tabel 4.11 dan Gambar 4.15).

Tabel 4.11 Regangan Akibat Beban Kejut (mm/mm)

| Ketebalan (mm) |       | Jumlah Layer |       |        |       |        |       |        |
|----------------|-------|--------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                |       | 0            | 1     |        | 2     |        | 3     |        |
|                |       |              | HGM   | Carbon | HGM   | Carbon | HGM   | Carbon |
| 4              | 0.732 | 0.411        | 0.009 | 0.294  | 0.020 | 0.520  | 0.027 |        |
| 5              | 0.431 | 0.392        | 0.011 | 0.387  | 0.016 | 0.275  | 0.030 |        |
| 6              | 0.387 | 0.310        | 0.006 | 0.280  | 0.009 | 0.313  | 0.025 |        |
| 7              | 0.390 | x            | x     | x      | x     | x      | x     |        |
| 8              | 0.370 | x            | x     | x      | x     | x      | x     |        |



Gambar 4.15 Regangan pada Sungkup Akibat Beban Kejut

#### 4.2.4.5 Konservasi Energi

Energi total yang bekerja pada elemen ditampilkan dalam satuan Joule serta temperatur dalam satuan °C (Tabel 4.12).

Tabel 4.12 Konservasi Energi dan Temperatur Elemen Uji (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

| Jumlah Layer    | Ketebalan | 0      | 1      | 2      | 3      |        |        |        |
|-----------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pola Kepala Uji | 4         | 2.364  | 4.952  | 3.831  | 3.052  |        |        |        |
|                 | 5         | 2.235  | 1.329  | 1.317  | 1.103  |        |        |        |
|                 | 6         | 1.951  | 0.871  | 1.132  | 1.127  |        |        |        |
| Sungkup         |           | HGM    | HGM    | Carbon | HGM    | Carbon | HGM    | Carbon |
|                 | 4         | 67.264 | 36.656 | 16.153 | 51.888 | 31.222 | 68.606 | 35.790 |
|                 | 5         | 76.234 | 73.181 | 8.901  | 51.612 | 24.254 | 43.648 | 42.323 |
|                 | 6         | 80.969 | 68.597 | 9.648  | 55.346 | 27.733 | 41.088 | 33.794 |

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Simulasi Sungkup Helm *Epoxy – HGM*

##### 4.3.1.1 Penetrasi

Merujuk Gambar 4.1, terdapat fluktuasi terhadap nilai penetrasi seiring dengan penambahan ketebalan sungkup. Dengan kata lain, tidak terlihat adanya korelasi antara ketebalan sungkup dengan besarnya penetrasi yang terjadi. Sementara itu, jika dilihat dari persentase penetrasi terhadap ketebalan sungkup, grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan adanya korelasi antara nilai penetrasi dan ketebalan sungkup. Semakin besar ketebalan sungkup helm, persentase penetrasi yang ditimbulkan akan semakin kecil.

Mengacu pada SNI 1811 – 2007, sungkup dengan ketebalan 4 mm tidak lolos uji penetrasi dikarenakan tertembus sepenuhnya oleh paku pemukul (4 mm ~ 100 %). Sementara, keempat sungkup lain memenuhi kriteria SNI 1811 – 2007 yang mensyaratkan paku pemukul tidak menembus sungkup helm. Sungkup dengan ketebalan 5 mm dan 6 mm masing – masing mengalami penetrasi sebesar 3.5582 mm dan 4.1653 mm.



Kedua sungkup tersebut mengalami penetrasi di atas 50 % ketebalan sungkup. Sungkup dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm masing – masing mengalami penetrasi di bawah 50 % ketebalan sungkup.

Untuk menurunkan nilai penetrasi yang terjadi, ditambahkan lapisan carbon fiber pada bagian atas sungkup. Penambahan dilakukan terhadap sungkup dengan ketebalan 4 mm, 5 mm, dan 6 mm dikarenakan memiliki persentase penetrasi diatas 50 % ketebalan.

#### **4.3.1.2 Tegangan dan Regangan Sungkup *Epoxy* – *HGM* Akibat Penetrasi**

Besarnya tegangan cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup epoxy – HGM. Kecuali, sungkup dengan ketebalan 7 mm memiliki tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan sungkup dengan ketebalan 5 mm, 6 mm, dan 8 mm. Ditinjau *compressive strength*, baik tegangan normal maupun tegangan ekivalen akibat penetrasi, sungkup memiliki nilai tegangan di atas *compressive strength* HGM. Sehingga, dapat dikatakan bahwa kelima sungkup helm mengalami deformasi plastis.

Mengacu pada Gambar 4.4, regangan yang timbul akibat penetrasi menunjukkan tren grafik yang menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup. Regangan terbesar terjadi pada sungkup dengan ketebalan 4 mm, terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 8 mm. Regangan yang terjadi pada sungkup berada pada kisaran 0.149 sampai dengan 0.237. Regangan yang terjadi pada sungkup terdiri atas regangan akibat penetrasi dan defleksi pada titik tumbukan antara sungkup dan pemukul.

#### **4.3.2 Simulasi Uji Penyerapan Kejut (*Epoxy* – *HGM*)**

##### **4.3.2.1 Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji (*Epoxy* – *HGM*)**

Mengacu pada SNI 1811 – 2007, percepatan yang dialami oleh pola kepala uji harus tidak lebih dari 2000 g. Jika

percepatan yang dialami melebihi 2000 g, helm dinyatakan tidak lolos uji peyerapan kejut SNI 1811 – 2007. Satuan g merupakan satu percepatan dalam gravitasi dimana g sama dengan  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

Mengacu pada Gambar 4.5, kelima sungkup, dari ketebalan 4 mm hingga 8 mm, telah memnuhi SNI 1811 – 2007 dengan percepatan pola kepala uji di bawah 2000 g. Percepatan pola kepala uji terbesar terjadi pada sungkup dengan ketebalan 4 mm sebesar 1635.78 g.

#### **4.3.2.2 Penyerapan Energi (*Epoxy – HGM*)**

Garafik pada Gambar 4.6 menunjukkan, peningkatan energi internal sungkup seiring dengan penambahan ketebalan sungkup. Sementara itu, energi internal pada pola kepala uji menurun seiring dengan penambahan ketebalan sungkup.

Energi internal terbesar terjadi pada sungkup dengan ketebalan 8 mm dengan nilai sebesar 90.736 Joule. Energi internal terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 4 mm dengan nilai sebesar 67.264 Joule. Sementara itu, energi internal pola kepala uji tertinggi terjadi pada sungkup dengan ketebalan 4 mm senilai 2.364 Joule. Energi internal terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 8 mm sebesar 1.613 Joule.

Energi internal yang terjadi merupakan konversi dari energi kinetik elemen - elemen uji saat terjadi tumbukan antara sungkup dengan anvil. Energi kinetik sendiri merupakan hasil konversi dari energi potensial elemen – elemen uji. Porsi konversi energi kinetik menjadi energi internal bergantung pada ketebalan masing – masing sungkup helm.

#### **4.3.2.3 Tegangan dan Regangan Akibat Beban Kejut (*Epoxy – HGM*)**

Mengacu pada Gambar 4.7, besarnya tegangan cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup *epoxy – HGM*.

Ditinjau dari nilai tegangan dan *compressive strength*, kecuali sungkup dengan ketebalan 8 mm, sungkup memiliki nilai tegangan di atas 193 MPa. Sehingga, sungkup dengan ketebalan 4 mm, 5 mm, 6 mm, dan 7 mm memiliki kemungkinan untuk mengalami kerusakan atau keretakan saat dilakukan uji penyerapan kejut.

#### **4.3.2.4 Konservasi Energi (*Epoxy – HGM*)**

Dari simulasi, setelah dilakukan perhitungan, didapatkan selisih energi antara sebelum tumbukan dan sesudah tumbukan serta saat tumbukan dan sesudah tumbukan (Tabel 4.4). Selisih energi antara sebelum dan setelah tumbukan merupakan energi yang berubah menjadi energi termal yang ditunjukkan dengan adanya perubahan temperatur. Selisih energi antara energi saat tumbukan dengan sesudah tumbukan merupakan energi yang diubah menjadi *elastic strain energy*. Hal tersebut dapat diketahui dari kenaikan energi dari kondisi saat tumbukan menuju setelah terjadi tumbukan. Hal ini mengindikasikan terjadinya *recovery* dari kondisi teregang menjadi kondisi awal (kondisi sebelum terjadi tumbukan).

### **4.3.3 Simulasi Uji Penetrasi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)**

#### **4.3.3.1 Penetrasi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)**

Besarnya penetrasi menurun seiring dengan bertambahnya jumlah layer serat karbon pada sungkup dengan ketebalan 4 mm, 5 mm, dan 6 mm (Tabel 4.5 dan Gambar 4.9). Penambahan layer pada sungkup helm menyebabkan penambahan berat pada sungkup helm. Setiap layer memiliki ketebalan ~ 0.8 mm dengan massa jenis kurang lebih sebesar  $1.45 \text{ g/m}^3$ .

Sungkup dengan ketebalan 4 mm, 5 mm, dan 6 mm (HGM) tanpa penambahan serat karbon memiliki penetrasi di atas 50 % ketebalan sungkup. Penambahan 1 layer pada sungkup dapat menurunkan penetrasi pada kisaran 35 % – 45 % ketebalan sungkup.

### 4.3.3.2 Tegangan dan Regangan Sungkup Akibat Penetrasi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Besarnya tegangan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya layer serat karbon pada sungkup (Tabel 4.6 dan Gambar 4.10). Jika merujuk pada *compressive strength* HGM (193 MPa), semua kombinasi ketebalan HGM dengan jumlah layer (Tabel 4.6) tidak mengalami kegagalan. Hal tersebut dikarenakan tegangan yang terjadi berada di bawah nilai *compressive strength* HGM. Ditinjau dari nilai *compressive strength* karbon TC35R senilai 830 MPa, semua kombinasi ketebalan HGM dengan jumlah layer tidak mengalami kegagalan. Hal tersebut dikarenakan tegangan yang terjadi pada lapisan *epoxy – carbon fiber* berada di bawah nilai *tensile strength* TC35R.

Regangan yang terjadi pada sungkup cenderung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan lapisan serat karbon (Gambar 4.11). Semua kombinasi ketebalan HGM (4 mm, 5 mm, dan 6 mm) tidak mengalami kegagalan kecuali sungkup dengan ketebalan 4 mm dengan penambahan 2 layer serat karbon. Hal ini mengacu pada *maximal elongation* serat karbon TC35R sebesar 1.6 % (0.016).

### 4.3.4 Simulasi Uji Penyerapan Kejut (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

#### 4.3.4.1 Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)

Grafik pada Gambar 4.12 menunjukkan adanya fluktuasi antara besarnya percepatan yang dialami pola kepala uji terhadap jumlah lapisan serat karbon (Subbab 4.4.2.1). Secara umum, penambahan layer menyebabkan adanya penurunan percepatan.

Mengacu pada SNI 1811 – 2007 untuk uji penyerapan kejut, semua kombinasi ketebalan HGM dan jumlah layer telah memenuhi kriteria uji kecuali sungkup dengan ketebalan 4 mm HGM dan 1 layer serat karbon. Pola kepala uji pada sungkup

dengan ketebalan 4 mm HGM dan 1 layer serat karbon mengalami percepatan sebesar 2284.30 g.

Penambahan lapisan serat karbon menyebabkan menurunnya kemampuan penyerapan beban kejut sungkup sehingga percepatan yang dialami pola kepala uji meningkat. Di sisi lain, penambahan ketebalan sungkup, baik dengan HGM ataupun serat karbon, dapat meningkatkan kemampuan penyerapan baban kejut oleh sungkup.

#### **4.3.4.2 Penyerapan Energi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)**

Besarnya energi internal pada pola kepala uji menurun seiring dengan penambahan ketebalan sungkup (Tabel 4.9 dan Gambar 4.13). Energi internal pola kepala uji tertinggi terjadi pada sungkup dengan ketebalan 4 mm dengan penambahan 1 layer serat karbon senilai 4.952 Joule.

Energi internal yang terjadi merupakan konversi dari energi kinetik elemen - elemen uji saat terjadi tumbukan antara sungkup dengan anvil. Dengan kata lain, energi kinetik diteruskan oleh sungkup dan foam kepada pola kepala uji sebagai energi internal. Sungkup dan foam berperan sebagai peredam atau penyerap energi tersebut.

#### **4.3.4.3 Tegangan dan Regangan Akibat Beban Kejut (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)**

Besarnya tegangan cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan serat karbon (Tabel 4.10 dan Gambar 4.14).

Material *HGM* memiliki *compressive strength* sebesar 193 MPa. Sungkup dengan ketebalan 4 mm HGM dan 3 layer serat karbon mengalami tegangan sebesar 247.03 MPa. Mengacu pada *compressive strength* HGM, kemungkinan besar, konfigurasi sungkup tersebut akan mengalami kegagalan. Sementara itu, sungkup dengan konfigurasi lain dapat dikatakan aman jika ditinjau dari *compressive strength* HGM (Tabel 4.10).

Ditinjau dari tegangan yang dialami oleh lapisan serat karbon, ketiga sungkup dengan tambahan 3 layer serat karbon memiliki tegangan di atas *compressive strength* serat karbon. Nilai tegangan di atas *compressive strength* juga dimiliki oleh sungkup dengan ketebalan 4 mm HGM dan 2 layer serat karbon. Sehingga, keempat sungkup tersebut memiliki kemungkinan untuk mengalami kegagalan (Gambar 4.14).

Regangan yang timbul akibat beban kejut pada sungkup *epoxy – HGM – carbon fiber* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah layer serat karbon (Tabel 4.11 dan Gambar 4.15). Konfigurasi sungkup dengan ketebalan 4 mm ditambah 2 dan 3 layer, 5 mm ditambah 2 dan 3 layer, serta 6 mm ditambah dengan 1 layer memiliki nilai regangan yang lebih besar dari 0.016 mm/mm. Sehingga, konfigurasi sungkup tersebut kemungkinan besar mengalami kegagalan.

#### **4.3.4.4 Konservasi Energi (*Epoxy – HGM – Carbon Fiber*)**

Setelah dilakukan simulasi uji penyerapan kejut didapatkan energi total dan temperatur pada masing – masing elemen uji (Tabel 4.12). Sesuai dengan hukum kekekalan energi, dimana energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi total sebelum dan sesudah tumbukan seharusnya memiliki nilai yang sama (ditinjau dari energi kinetik dan internal).

Dari simulasi, setelah dilakukan perhitungan, didapatkan selisih energi antara sebelum tumbukan dan sesudah tumbukan serta saat tumbukan dan sesudah tumbukan. Selisih energi antara sebelum dan setelah tumbukan merupakan energi yang berubah menjadi energi termal ditunjukkan dengan adanya perubahan temperatur. Selisih energi antara energi saat tumbukan dengan sesudah tumbukan merupakan energi yang diubah menjadi *elastic strain energy*. Hal tersebut dapat diketahui dari kenaikan energi dari kondisi saat tumbukan menuju setelah terjadi tumbukan. Hal ini mengindikasikan terjadinya *recovery* dari kondisi teregang menjadi kondisi awal (kondisi sebelum terjadi tumbukan).

### **4.3.5 Pemilihan Sungkup**

Alur pemilihan sungkup didasarkan pada diagram alir pada subbab 3.1 serta kriteria yang telah tercantum pada tabel 3.1. Kriteria prioritas pemilihan sungkup adalah kemampuan sungkup untuk menahan penetrasi dan percepatan yang dialami oleh pola kepala uji sesuai dengan SNI 1811 - 2007. Apabila terdapat beberapa sungkup yang memenuhi kriteria prioritas, sungkup – sungkup tersebut dibandingkan berdasarkan beberapa kriteria lain seperti tegangan, regangan, serta penyerapan energi. Didapatkan sungkup dengan konfigurasi 5 mm HGM dan 1 layer karbon telah memenuhi dua kriteria uji serta beberapa kriteria tambahan. Namun, dengan pertimbangan angka penetrasi 50 % ketebalan, dipilih sungkup dengan konfigurasi 5 mm HGM dan 2 layer serat karbon.

Adapun penjelasan lebih lanjut terlampir.

## **4.4 TAHAP EKSPERIMEN**

### **4.4.1 Referensi Cetakan Helm**

Setelah dilakukan simulasi uji penetrasi dan uji penyerapan kejut terhadap model helm, dilakukan pembuatan *prototype* helm. Sebelum dilakukan pembuatan *prototype* helm, diperlukan pembuatan cetakan helm. Referensi yang digunakan sebagai cetakan helm harus merepresentasikan helm yang banyak beredar di pasaran dan sesuai dengan model yang telah disimulasikan.

Referensi cetakan helm merupakan gambaran geometri *prototype* helm yang sesungguhnya. Referensi helm bertindak sebagai positif dalam pembuatan cetakan.



Gambar 4.14 Referensi Cetakan Helm

#### 4.4.2 Cetakan Helm

Cetakan helm terbuat dari material komposit resin poliester dan serat kaca (*fiber glass*). Pembuatan cetakan mengacu pada referensi yang telah ditentukan di awal. Cetakan terdiri dari bagian kiri dan bagian kanan. Pembagian cetakan mengacu pada garis tengah yang membagi helm hingga simetri.



Gambar 4.15 Cetakan Helm

#### 4.4.3 *Prototype* Helm

Pembuatan *prototype* helm dilakukan setelah kedua bagian cetakan selesai dibuat. Kedua bagian cetakan disatukan sehingga memiliki bentuk menyerupai helm. Selanjutnya, dilakukan persiapan sebelum dilakukan pelapisan *carbon fiber*



dan HGM pada cetakan. Persiapan meliputi pengamplasan, pengolesan *wax*, dan pelapisan menggunakan *polyvinyl alcohol* (PVA). Setelah proses persiapan selesai, dilakukan pelapisan lapisan *carbon fiber* dengan resin *epoxy*. Selanjutnya, dilakukan pemvakuman pada lapisan helm untuk menghilangkan resin yang terkonsentrasi pada area tertentu pada helm.



Gambar 4.16 Sungkup Helm percobaan ke-1 dan ke-2



Gambar 4.17 *Prototype* Sungkup Helm

#### 4.4.4 Pengujian

Setelah *prototype* sungkup selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap *prototype*. Pengujian yang dilakukan disesuaikan dengan SNI 1811 – 2007.

##### 4.4.4.1 Uji Penetrasi

Menurut SNI 1811 – 2007, pengujian penetrasi dilakukan dengan menjatuhkan paku pemukul pada sungkup yang telah dipasangkan pada pola kepala uji. Paku pemukul yang digunakan memiliki massa sebesar ~ 3 kg. Setelah paku pemukul dijatuhkan, didapatkan titik – titik yang terpenetrasi oleh paku pemukul (Gambar 4.19). Selanjutnya, dilakukan analisa terhadap sungkup helm. Pada percobaan pembuatan

sungkup pertama, didapatkan massa sungkup 0.694 kg (percobaan 2).

Pada titik penetrasi 1, paku pemukul menembus sungkup. Pada titik penetrasi 2, paku pemukul tidak menembus sungkup. Namun, pada bagian dalam sungkup terdapat retakan akibat penetrasi paku pemukul. Pada titik penetrasi 3, penetrasi berupa goresan memanjang. Pada titik penetrasi 4, terjadi penetrasi namun tidak menembus sungkup.

Adanya pemukul yang menembus sungkup dan retak pada bagian dalam sungkup, dikarenakan lapisan HGM memiliki ketebalan yang tidak merata serta terdapat kesalahan dalam proses pembuatan sungkup, khususnya dalam pengkondisian *epoxy* – *HGM*.



Gambar 4.18 Pola Kepala Uji Penetrasi dan Paku Pemukul



Gambar 4.19 Hasil Uji Penetrasi



Gambar 4.20 Hasil Uji Penetrasi pada Titik 1



Gambar 4.21 Hasil Uji Penetrasi pada Titik 2



Gambar 4.22 Hasil Uji Penetrasi pada Titik 3 dan 4



**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari serangkaian proses penelitian ini antara lain:

1. Dengan pengkondisian simulasi sesuai dengan syarat kerja SNI 1811 – 2007, untuk uji penetrasi, sungkup yang terbuat dari material komposit *epoxy – HGM* dengan ketebalan 4 mm tertembus sepenuhnya oleh paku pemukul. Sungkup dengan ketebalan 5 mm dan 6 mm mengalami penetrasi lebih dari 50 % ketebalan. Sungkup dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm mengalami penetrasi di bawah 50 % ketebalan. Untuk uji penyerapan beban kejut, kelima sungkup memenuhi kriteria SNI 1811 – 2007 dengan percepatan yang dialami oleh pola kepala uji kurang dari 2000 g. Sungkup dengan ketebalan 7 mm dan 8 mm telah memenuhi kriteria SNI 1811 – 2007 untuk penetrasi dan penyerapan beban kejut. Sungkup dengan ketebalan 4 mm, 5 mm, dan 6 mm tidak memenuhi kriteria SNI 1811 – 2007.
2. Pada sungkup helm dengan ketebalan 4 mm, 5 mm, dan 6 mm dilakukan penambahan lapisan *carbon fiber* sebanyak 1 hingga 3 layer untuk masing – masing sungkup. Hasil simulasi uji penetrasi menunjukkan sungkup dengan ketebalan 4 mm dengan penambahan 2 layer dan 3 layer, ketebalan 5 mm dengan penambahan 2 layer dan 3 layer, serta ketebalan 6 mm dengan penambahan 1 layer, 2 layer, dan 3 layer mengalami penetrasi di bawah 50 % ketebalan sungkup. Hasil simulasi uji penyerapan kejut menunjukkan semua sungkup, kecuali sungkup yang memiliki ketebalan 4 mm dengan penambahan 1 layer, memiliki percepatan pola kepala uji di bawah 2000 g. Hal tersebut dikarenakan adanya foam yang turut serta menyerap energi kinetik elemen – elemen uji saat terjadi tumbukan.

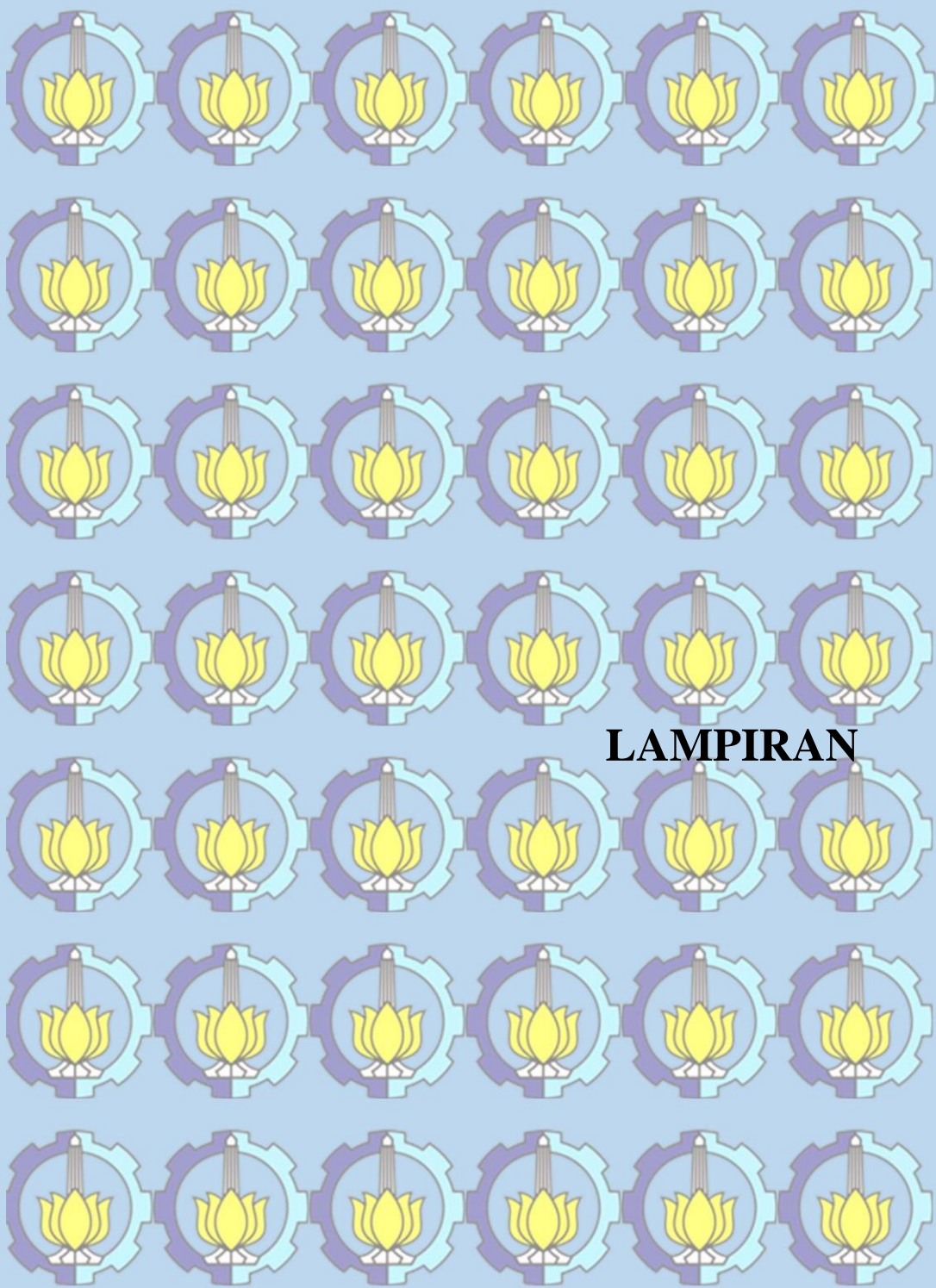
3. Memperhatikan ergonomi pengguna helm, setelah dibandingkan dari segi penetrasi, penyerapan kejut (percepatan), tegangan, dan regangan, dipilih sungkup dengan massa paling rendah. Mengacu pada hasil simulasi, dan pertimbangan hasil uji penetrasi, dipilih sungkup yang memiliki ketebalan 5 mm dengan penambahan 2 layer serat karbon. Konfigurasi sungkup tersebut, dari hasil simulasi, memiliki massa sebesar 812.66 gram.
4. Setelah dilakukan pembuatan *prototype*, didapatkan helm dengan konfigurasi 5 mm dan 2 layer serat karbon dengan massa 694.8 gram. Selanjutnya, dilakukan uji penetrasi terhadap sungkup helm. Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa sungkup mengalami penetrasi di beberapa titik. Kerusakan pada beberapa titik disebabkan oleh perbedaan ketebalan dan keterbatasan dalam pembuatan *prototype*.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah dilakukan penelitian ini antara lain:

1. Hendaknya simulasi dilakukan secara teratur dan bertahap untuk menghindari adanya akumulasi data sehingga mempengaruhi hasil simulasi.
2. Perlu diperhatikan keamanan, kebersihan, dan kerapian dalam proses eksperimen (pembuatan spesimen dan pengujian).





**LAMPIRAN**

# LAMPIRAN

Tabel Rekapitulasi Hasil Simulasi

| Ketebalan | Jumlah layer | Massa   | Uji Penetrasi |          |        |          | Uji Penyerapan Kejut |                        |          |       | Ketegangan |          |       |        |    |   |
|-----------|--------------|---------|---------------|----------|--------|----------|----------------------|------------------------|----------|-------|------------|----------|-------|--------|----|---|
|           |              |         | Penetrasi     | Tegangan |        | Regangan |                      | Energi yang diteruskan | Tegangan |       |            | Regangan |       |        |    |   |
|           |              |         |               | 99%      | HGM    | Carbon   | HGM                  |                        | Carbon   | HGM   |            | Carbon   | HGM   | Carbon |    |   |
|           | 0            | 522.91  | 100           | 135.09   | x      | 0.326    | x                    | 0.016                  | 2000     | x     | 193        | 830      | x     | 0.016  | x  | X |
| 4 mm      | 1            | 598.59  | 60.49         | 137.59   | 318.36 | 0.32     | 0.01                 |                        | 1635.78  | 2.364 | 396.27     | x        | 0.732 | x      | X  |   |
|           | 2            | 674.57  | 20.35         | 155.94   | 401.7  | 0.302    | 0.019                |                        | 2284.3   | 4.952 | 177.58     | 290.2    | 0.411 | 0.009  | X  |   |
|           | 3            | 751.27  | 20.37         | 138.51   | 724.84 | 0.259    | 0.013                |                        | 1175.33  | 3.831 | 151.02     | 1236.5   | 0.294 | 0.02   | X  |   |
| 5 mm      | 0            | 658.64  | 81.16         | 92.79    | x      | 0.311    | x                    |                        | 1423.75  | 3.052 | 247.03     | 2006.4   | 0.52  | 0.027  | X  |   |
|           | 1            | 735.42  | 50.73         | 152.15   | 401.43 | 0.236    | 0.02                 |                        | 1650.66  | 2.235 | 234.38     | x        | 0.431 | x      | X  |   |
|           | 2            | 812.66  | 23.41         | 97.001   | 821.24 | 0.248    | 0.013                |                        | 1196.01  | 1.329 | 156.68     | 444.68   | 0.392 | 0.011  | OK |   |
| 6 mm      | 3            | 890.32  | 19.51         | 103.84   | 918.55 | 0.216    | 0.013                |                        | 1105.51  | 1.317 | 178.3      | 796.3    | 0.387 | 0.016  | OK |   |
|           | 0            | 796.26  | 69.42         | 92.18    | x      | 0.305    | x                    |                        | 1094.8   | 1.103 | 133.74     | 2264.7   | 0.275 | 0.03   | X  |   |
|           | 1            | 874.15  | 42.07         | 119.61   | 288.5  | 0.286    | 0.005                |                        | 1423.04  | 1.951 | 204.54     | x        | 0.387 | x      | X  |   |
| 7 mm      | 2            | 952.51  | 27.87         | 109.69   | 801.9  | 0.236    | 0.011                |                        | 951.42   | 0.871 | 135.33     | 290.32   | 0.31  | 0.006  | OK |   |
|           | 3            | 1031.31 | 19.66         | 92.448   | 748.08 | 0.197    | 0.01                 |                        | 972.51   | 1.132 | 128.66     | 711.6    | 0.28  | 0.009  | OK |   |
|           | 0            | 935.87  | 49.47         | 105.58   | x      | 0.329    | x                    |                        | 1126.1   | 1.127 | 152.64     | 2168.2   | 0.313 | 0.025  | X  |   |
| 8 mm      | 0            | 1077.49 | 49.24         | 81.54    | x      | 0.277    | x                    |                        | 1432.01  | 1.809 | 198.03     | x        | 0.39  | x      | OK |   |
|           | 0            |         |               |          |        |          |                      |                        | 1378.39  | 1.613 | 174.66     | x        | 0.37  | x      | OK |   |

**Keterangan:**

- Untuk uji penetrasi, sungkup mengalami kegagalan jika tertembus oleh paku pemukul.
- Untuk uji penyerapan kejut, sungkup dikatakan gagal jika memiliki percepatan pola kepala uji di atas 2000 g atau mengalami pecah/retak.
- Sungkup mengalami retak, pecah, atau gagal jika:
  - o Tegangan yang terjadi pada HGM melebihi *compressive strength* (193 MPa)
  - o Tegangan yang terjadi pada serat karbon (komposit) melebihi *compressive strength* (830 MPa)
  - o Regangan yang terjadi pada serat karbon (komposit) melebihi *maximum elongation* (0.016 %)



## DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Hindun. 2014. *Pengaruh Komposit Epoxy – HGM pada Bumper Depan Kendaraan untuk Mereduksi Energi Impact*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.
- Andersson, Marcus. 2014. *Crash Behavior of Composite Structure*. Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden.
- Arista, Fachmi Yuni. 2014. *Pengaruh Variasi Fraksi Volume dan temperature curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy Partikel Hollow Glass Microspheres*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN – Indonesia). 2007. *Standar Nasional Indonesia 1811- 2007, Indonesia*.
- COST 2001. *European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research Final Report*. European Commission, Directorate General for Energy and Transport. Luxemburg.
- DITRDLG. 2008. *Research and Analysis Report Road Safety: Fatal and Serious Road Crashes Involving Motorcyclists*. Department of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government. Australia.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. 2013. *Perhubungan Darat Dalam Angka 2013*. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Jakarta.
- Erhardt, Taryn. 2015. *Motorcycle Helmet Type and the Risk of Head Injury and Neck Injury during Motorcycle Collisions in California*. Elsevier.
- Kleiven, Svein. 2013. *Why Most Traumatic Brain Injuries are not Caused by Linear Acceleration but Skull Fracture are*. KTH Royak Institute of Technology. Huddinge, Swedden.
- Korlantas Polri. 2013. *Data Kecelakaan Lalu-lintas 2013*. POLRI. Jakarta.
- NHTSA, 2014. *Traffict Safety Facts: 2013 Motor Vehicle Crashes: Overview*. National Highway Traffic Safety Administrasion. USA.

- Perkasa, Moh. Galang. 2015. Analisa Pengaruh Komposit Epoxy-Hollow Glass Microspheres Pada Material Luar Helm Dalam Mereduksi Energi Impact dengan Variasi Ketebalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- 3M. 2013. 3M™ Glass Bubbles K Series, S Series and iM Series. 3M Center. USA.
- Ritonga, Widyansyah. 2013. Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy - Hollow Glass Microspheres IM30K. Jurnal teknik POMITS. Surabaya.
- SETNEG RI. 2009. UU No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu – lintas dan Angkutan Jalan. Pemerintah Republik Indonesia.

## PENULIS



Penulis merupakan pemuda yang dilahirkan di Blitar pada 25 Juni 1994 dari dengan nama “**AHMAT SAFA’AT**” pasangan M. Ikhwan dan Nur Saidah. Penulis memiliki seorang adik yang dilahirkan tahun 2009 bernama Ainul Yaqin. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Al Hidayah Muslimat NU Karangsari, SDN Karangsari 1, SMPN 2 Blitar, SMAN 1 Blitar. Di saat anak – anak seusia penulis sibuk dengan les piano, bermain biola, dan belajar Bahasa Ibrani, penulis menghabiskan waktu dengan bermain layang – layang, kelereng, dan mengaji.

Penulis pernah aktif dalam beberapa organisasi dan menghabiskan 17 tahun masa mudanya di Kota Blitar sebelum akhirnya melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Di luar kuliah dan kegiatan lain, penulis menghabiskan waktu untuk belajar berbagai macam hal utamanya di Laboratorium Komputasi Teknik Mesin ITS.

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana, penulis menempuh Tugas Akhir dibawah bimbingan Dr. Sutikno, S.T., M.T. Penulis dapat dihubungi melalui emai di [ahmsafaat@gmail.com](mailto:ahmsafaat@gmail.com) atau SMS/WA di 085746373509.