



TUGAS AKHIR – TM141585

**APLIKASI KOMPOSIT *EPOXY-HGM-SISAL 90°*
WOVEN SEBAGAI MATERIAL SUNGKUP HELM
YANG MAMPU MENAHAN PENETRASI DAN BEBAN
*IMPACT***

JOKO ADE NUGROHO

NRP. 0211134000073

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – TM141585

**APLIKASI KOMPOSIT *EPOXY-HGM-SISAL 90°*
WOVEN SEBAGAI MATERIAL SUNGKUP HELM
YANG MAMPU MENAHAN PENETRASI DAN BEBAN
*IMPACT***

JOKO ADE NUGROHO

NRP. 0211134000073

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM141585

***APPLICATION OF EPOXY-HGM-SISAL 90° WOVEN
COMPOSITE FOR HELMET TO WITHSTAND
PENETRATION AND TO REDUCE IMPACT ENERGY***

JOKO ADE NUGROHO

NRP. 0211134000073

Faculty Advisor

Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Intstitut of Technology

Surabaya 2018

**APLIKASI KOMPOSIT *EPOXY-HGM-SISAL 90⁰*
WOVEN SEBAGAI MATERIAL SUNGKUP HELM
YANG MAMPU MENAHAN PENETRASI DAN BEBAN
IMPACT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

JOKO ADE NUGROHO

NRP. 02111340000073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr Eng. Sutikno, ST, MT (Pembimbing)
NIP. 197407032000031001
2. Prof. Dr. Ir. Wajan Bertha (Penguji I)
NIP. 195012111985021001
3. Indra Sidharta, ST, MS (Penguji II)
NIP. 198006192006041001
4. Fahmi Mubarak ST, MS, PhD (Penguji III)
NIP. 197801152003121002

SURABAYA

JULI, 2018



APLIKASI KOMPOSIT *EPOXY-HGM-SISAL 90° WOVEN* SEBAGAI MATERIAL SUNGKUP HELM YANG MAMPU MENAHAN PENETRASI DAN BEBAN *IMPACT*

Nama Mahasiswa : **Joko Ade Nugroho**
NRP : **2113100073**
Jurusan : **Teknik Mesin**
Dosen Pembimbing : **Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.**

ABSTRAK

Helm berstandar SNI merupakan alat kelengkapan wajib bagi setiap pengendara sepeda motor [UU No. 22 Tahun 2009; pasal 57 ayat 1 juncto, ayat 2; pasal 106 ayat 8]. Helm yang baik harus mampu menerima beban penetrasi serta mampu menahan energi impact [SNI 1811-2007]. Material sungkup helm pada umumnya hanya mampu menahan penetrasi namun, kurang baik dalam menyerap energi impact. Energi impact akibat benturan hanya diserap oleh foam sehingga kepala masih merasakan pusing saat terjadi benturan. Selain itu, helm yang ada harus memiliki bobot yang ringan, agar helm tidak mengganggu konsentrasi [Erhardt, 2015], serta tidak merusak syaraf leher [dr Ruslin Yusni Hasan, 2012]. Penggunaan material komposit serat sisal sangat bagus diterapkan pada helm. Hal ini dikarenakan serat sisal memiliki properties yang baik dibandingkan dengan material serat alam yang lain [Kusumastuti, 2009]. Arah serat pada komposit sangat mempengaruhi kekuatan komposit yang terbentuk. Komposit epoxy-sisal chooped memiliki kekuatan tarik sebesar 19,774 MPA [I Wayan Surata, 2016], sedangkan kekuatan tarik dari komposit epoxy-sisal wooven sebesar 25 MPA [A Sardrach, 2015]. Komposit epoxy-HGM 16% (Hollow Glass Microspheres) dapat menyerap energi impact sebesar 86,39% [Hindun, 2015]. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan prototype helm berbahan komposit epoxy-HGM- sisal 90° woven yang mampu menahan penetrasi serta mampu menyerap energi impact sesuai dengan SNI 1811-2007.

Penelitian ini memiliki beberapa tahap, mulai dari studi pustaka, simulasi, pembuatan prototype, serta pengujian penetrasi dan penyerapan beban kejut sesuai dengan SNI 1811-2007. Geometri helm menggunakan helm open face sesuai SNI 1811-2007. Proses pengujian serta simulasi mengacu pada SNI 1811-2007. Proses simulasi ditujukan untuk mendapatkan geometri helm lolos uji penetrasi dan penyerapan beban kejut sesuai SNI 1811-2007 dengan ketebalan minimal. Prototype yang dibuat menggunakan konfigurasi helm yang paling ringan yang didapatkan dari hasil simulasi. Selanjutnya, dilakukan pengujian ketahanan penetrasi serta penyerapan beban kejut sesuai SNI 1811-2007 terhadap prototype yang sudah terbentuk.

Mengacu pada SNI 1811-2007 kriteria helm lolos uji penyerapan beban kejut adalah helm tidak rusak dan pola kepala uji menerima perlambatan sesaat setelah terjadi benturan tidak lebih dari 300g. Sedangkan pada uji penetrasi sungkup helm harus tidak tembus saat dijatuhkan oleh indentor. Dengan kriteria tersebut, dari semua sungkup helm yang memenuhi dipilih konfigurasi helm yang memiliki massa paling kecil dengan ketebalan 4 mm. Hasil simulasi menunjukkan sungkup Epoxy-HGM-Sisal Woven 4 mm mengalami penetrasi sebesar 81.59% dan percepatan yang diterima pola kepala uji sebesar 213 g.

Kata kunci: sungkup helm, epoxy – HGM – sisal 90° Woven, SNI 1811 – 2007

**APPLICATION OF EPOXY-HGM-SISAL 90° WOVEN
COMPOSITE FOR HELMET TO WITHSTAND
PENETRATION AND TO REDUCE IMPACT ENERGY**

Student's Name : Joko Ade Nugroho
Reg. Number : 2113100073
Department : Teknik Mesin
Advisor : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRACT

Standard SNI helmet is a compulsory fittings for every motorcycle driver [Law no. 22 of 2009; Article 57 paragraph 1 juncto, paragraph 2; article 106 verse 8]. Good helmets should be able to accept the burden of penetration and able to withstand the impact energy [SNI1811-2007]. Helmet hood material is generally only able to resist penetration, but less good in absorbing impact energy. Impact impact energy is only absorbed by the foam so the head is still feeling dizzy during a collision. In addition, the existing helmet should have a light weight, so that the helmet does not interfere with concentration [Erhardt, 2015], and does not damage the neck nerves [dr Ruslin Yusni Hasan, 2012]. The use of composite fiber sisal material is very good applied to the helmet. This is because sisal fiber has good properties compared to other natural fiber materials [Kusumastuti, 2009]. The direction of fibers on composites greatly affects the composite strength that is formed. The chooped epoxy-sisal composite has a tensile strength of 19,774 MPA [I Wayan Surata, 2016], while the tensile strength of the wooven epoxy-sisal composite is 25 MPA [A Sardrach, 2015]. Epoxy-HGM 16% composite (Hollow Glass Microspheres) can absorb the impact energy of 86.39% [Hindun, 2015]. The purpose of this research is to get prototype helmet made of 90° woven epoxy-sisal composite which can resist penetration and able to absorb ennergi impact in accordance with SNI 1811-2007.

This research has several stages, ranging from literature study, simulation, prototype making, as well as penetration testing

and shock absorption in accordance with SNI 1811-2007. Helmet geometry using open face helmet according to SNI 1811-2007. The testing process and simulation refer to SNI 1811-2007. The simulation process is aimed to obtain helmet geometry pass penetration test and shock absorption according to SNI 1811-2007 with minimum thickness. The prototype is made using the lightest helmet configuration obtained from the simulation results. Furthermore, the testing of penetration resistance and absorption of shock load according to SNI1811-2007 against prototype that has been formed.

Referring to SNI 1811-2007 the criteria of helmets passing the shock absorption test are the undamaged helmets and the test head pattern receives a deceleration shortly after a collision of no more than 300g. While on the penetration test helmet lid should not penetrate when obeyed by the indenter. With these criteria, of all helmet lids that meet the chosen helmet configuration that has the smallest mass with a thickness of 4 mm. The simulation results showed Epoxy-HGM-Sisal Woven 4 mm enclosure penetrated by 81.59% and the acceleration received by the test head pattern was 213 g.

Keywords : helmet, epoxy – HGM – sisal 90° Woven, SNI 1811 – 2007.

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan perlindungan-Nya selama proses pembuatan tugas akhir dengan lancar serta atas kemudahan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul : **“APLIKASI KOMPOSIT *EPOXY-HGM-SISAL 90^o WOVEN* SEBAGAI MATERIAL SUNKUP HELM YANG MAMPU MENAHAN PENETRASI DAN BEBAN *IMPACT*”**. Dalam kesempatan ini, secara khusus penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ayah penulis, Puryanto yang senantiasa memberikan motivasi untuk terus giat menimba ilmu, dan berbuat baik. Ibu penulis, Linawati yang senantiasa memberikan kasih sayang yang tak pernah pupus. Adik penulis, Nana Dwi Yani yang senantiasa membantu penulis dalam banyak hal.
2. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu mau meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan wejangan hidup serta, tidak bosan-bosannya selalu memberikan kesempatan kepada penulis untuk menikmati secangkir kopi dan sebatang rokok bersama.
3. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA Fahmi Mubarok, ST, MSc. PhD., Indra Sidharta, ST, MSc., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Beribu terimakasih penulis ucapkan kepada Pencot, Jokul, Ananta, Fahmi, Risqu, Greg, dan seluruh anggota JN yang telah bersedia menjadi teman, sahabat, penyumbang rokok, penyandang dana, dan penyedia penginapan bagi penulis selama 5 tahun di Surabaya.
5. Semangat dan dorongan dari Bro Safaat, Ricky, Anggek, Devimkosa, Gilas, Anas dan Septiyen sangat membantu penulis untuk kembali kejalan kebenaran.

6. Ucapan terimakasih kepada seluruh anggota ITS Team Sapuangin yang sudah menjadi teman dan saudara seperjuangan.
7. Penulis merasa bangga menjadi keturunan dari Alm. Mbah Wongso Sentiko, Alm, Mbah Jowikromo. Alm Mbah R Ngatoen Soetjipto , yang sudah memberikan contoh, tauladan dan ketegasan semasa hidupnya sehingga penulis dan seluruh trah keluarga Suro Rejo dapat merasakan dampak baik.
8. Terimakasih penulis haturkan kepada keluarga besar Alm Subagijo SH, yang sudah memberikan dukungan lahir dan batin kepada penulis.
9. Terimakasih kepada keluarga Sri Hartatik di pasuruan sudah menjadi tempat bernaung dan berkeluh kesah. Nasihat Ibuk dan Bapak serta mas Gani menjadikan penulis menjadi lebih baik.
10. Terakhir, tak lupa penulis sampaikan terimakasih kepada Pahlawan Indonesia, karena tanpa jasa pahlawan penulis tidak akan dapat melaksanakan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, 31 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL (Bahasa Indonesia)	
HALAMAN JUDUL (Bahasa Inggris)	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Komposit	8
2.2.2 <i>Hollow Glass Microsphere</i>	13
2.2.3 <i>Epoxy</i>	15
2.2.4 Sisal	16
2.2.5 Helm	18
2.2.5.1 Jenis Helm	18
2.2.6 Aturan Hukum Penggunaan Helm	21
2.2.6.1 UU No. 14 Tahun 1992	21
2.2.6.2 UU No. 22 Tahun 2009	22
2.2.6.3 SNI 1811 – 2007	23
BAB III METODOLOGI	
3.1 Diagram Alir	25
3.2 Studi Literatur	30
3.3 Model Helm dan Alat Uji	31
3.4 Simulasi	32

3.5	Analisa Hasil Simulasi	34
3.6	Pembuatan <i>Specimen</i> Uji D 638	36
3.6.1	Peralatan dan Bahan	36
3.6.2	Langkah – langkah	36
3.7	Pembuatan <i>Prototype</i> Helm	38
3.7.1	Peralatan dan Bahan	38
3.7.2	Langkah-langkah	38
3.8	Pengujian SNI 1811-2007	40

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Spesifikasi Sungkup Helm	45
4.1.1	Sungkup Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>	45
4.1.2	Sungkup Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	45
4.2	Hasil Simulasi dan Pembahasan	46
4.2.1	Hasil Simulasi Uji Penetrasi Sungkup Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>	47
4.2.1.1	Penetrasi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	47
4.2.1.2	Tegangan dan Regangan Akibat Penetrasi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	48
4.2.2	Hasil Simulasi Uji Penyerapan Kejut (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	50
4.2.2.1	Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	50
4.2.2.2	Penyerapan Energi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	51
4.2.2.3	Tegangan dan Regangan Akibat Beban Kejut (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	54
4.2.2.4	Konservasi Energi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	55
4.2.3	Hasil Simulasi Uji Penetrasi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>)	56
4.2.3.1	Penetrasi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>)	56
4.2.3.2	Tegangan dan Regangan Akibat Penetrasi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>)	58
4.2.4	Hasil Simulasi Uji Penyerapan Kejut (<i>Epoxy-HGM-Carbon Fiber</i>)	59
4.2.4.1	Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji (<i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>)	59
4.2.4.2	Penyerapan Energi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>)	60
4.2.4.3	Tegangan dan Regangan Akibat Beban Kejut (<i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>)	63

4.2.4.4	Konservasi Energi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>)	64
4.3	Pemilihan Sungkup Helm	65
4.4	Tahap Eksperimen	73
4.4.1	Referensi Cetakan Helm	73
4.4.2	Cetakan Helm	73
4.4.3	<i>Prototype</i> Helm	74
4.4.4	Pengujian Penetrasi	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	79
5.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA		83
PENULIS		85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Komposit	9
Gambar 2.2	Komposit Berpenguat Partikel	10
Gambar 2.3	Komposit Berpenguat Serat	11
Gambar 2.4	Komposit Berpenguat Struktur	11
Gambar 2.5	<i>Hybrid Composite</i>	12
Gambar 2.6	<i>Hollow Glass Microsphere</i>	15
Gambar 2.7	<i>Agave Sisalana</i>	17
Gambar 2.8	Serat Sisal	18
Gambar 2.9	Helm Perang dari Berbagai Benua dan Masa	19
Gambar 2.10	Helm Pengendara Sepeda Motor	20
Gambar 2.11	Helm Proyek/Keselamatan	20
Gambar 2.12	Konstruksi Helm Berdasarkan SNI 1811-2007	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2	Diagram Alir Simulasi Pengujian Penetrasi dan Penyerapan Beban Kejut Terhadap Helm dengan Material <i>Epoxy-HGM-Sisal 90⁰ Woven</i>	26
Gambar 3.3	Diagram Alir Pembuatan Cetakan	27
Gambar 3.4	Diagram Alir Pembuatan <i>Prototype</i> Helm	28
Gambar 3.5	Diagram Alir Uji SNI 1811 – 2007	29
Gambar 3.6	Model Helm yang Digunakan pada Penelitian	31
Gambar 3.7	Pengkondisian Model Helm dengan Alat Uji pada Pengujian <i>Impact</i>	31
Gambar 3.8	Pengkondisian Model Helm dengan Alat Uji pada Pengujian Penetrasi	32
Gambar 3.9	Hasil Meshing	33
Gambar 3.10	Contoh Hasil Simulasi Uji Penetrasi SNI 1811–2007	34
Gambar 3.11	Skema Hasil Simulasi Uji Penetrasi	35
Gambar 3.12	Skema Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007	41
Gambar 3.13	Kelengkapan Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007	41
Gambar 3.14	Kelengkapan Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007 Model Kepala Uji	42
Gambar 3.15	Skema Uji Penyerapan Beban Kejut SNI 1811 – 2007	32
Gambar 4.1	Penetrasi pada Sungkup Helm (dalam mm)	47
Gambar 4.2	Penetrasi pada Sungkup Helm (dalam %)	48
Gambar 4.3	Tegangan pada Sungkup Akibat Penetrasi	

	(dalam MPa)	49
Gambar 4.4	Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi (dalam mm/mm)	50
Gambar 4.5	Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji (dalam g)	51
Gambar 4.6	Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut	52
Gambar 4.7	Energi Internal yang Diserap Kepala	53
Gambar 4.8	Tegangan pada Sungkup	54
Gambar 4.9	Regangan pada Sungkup Akibat Beban Keju	55
Gambar 4.10	Penetrasi Sungkup Helm (dalam mm)	57
Gambar 4.11	Penetrasi Sungkup Helm (dalam %)	57
Gambar 4.12	Tegangan pada Sungkup Akibat Penetrasi (MPa)	58
Gambar 4.13	Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi	59
Gambar 4.14	Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji	60
Gambar 4.15	Energi Internal Helm (<i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>) dan <i>Foam</i>	61
Gambar 4.16	Energi internal yang Diterima oleh Model Kepala	62
Gambar 4.17	Tegangan pada Sungkup <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven (Uji Penyerapan Kejut)</i>	63
Gambar 4.18	Regangan pada Sungkup Akibat Beban Kejut	64
Gambar 4.19	Grafik Penetrasi <i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i> Vs <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	66
Gambar 4.20	Grafik Energi Internal <i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i> Vs <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	67
Gambar 4.21	Grafik Serapan Energi <i>Impact</i> Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Copped</i> Vs <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	69
Gambar 4.22	Kemampuan Serap Energi <i>Impact Foam</i> Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Copped</i> Vs <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	70
Gambar 4.23	Energi yang Diterima oleh Pola Kepala Uji Sungkup Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Copped</i> Vs Sungkup Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	70
Gambar 4.24	Grafik Penyerapan Beban Kejut <i>Epoxy-HGM-Sisal Copped</i> Vs <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	72
Gambar 4.25	Referensi Cetakan Helm	73
Gambar 4.26	Cetakan Helm	74
Gambar 4.27	Proses Pelepasan Helm dari Cetakan	75
Gambar 4.28	<i>Prototype</i> Sungkup Helm	75

Gambar 4.29	Alat Uji Penetrasi	76
Gambar 4.30	Spesimen Uji yang Terindentasi	77
Gambar 4.31	Hasil Uji Penetrasi pada Titik 1, Titik 2 dan Titik 3	77
Gambar 4.32	Hasil Uji Penetrasi pada Titik 3 dan Titik 5	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Properties HGM 3M iM30K</i>	14
Tabel 2.2	<i>Properties of Epoxy</i>	15
Tabel 2.3	<i>Mechanical Properties Serat Sisal</i>	16
Tabel 3.1	Standar Pengujian SNI 1811-2007	40
Tabel 4.1	Spesifikasi Sungkup Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>	45
Tabel 4.2	<i>Properties Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>	45
Tabel 4.3	Spesifikasi Sungkup Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	46
Tabel 4.4	<i>Properties Epoxy-HGM-Sisal Woven</i>	46
Tabel 4.5	Energi Internal yang Timbul pada Uji penyerapan Kejut	52
Tabel 4.6	Konservasi energi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	55
Tabel 4.7	Energi Internal yang Timbul pada Uji penyerapan Kejut	61
Tabel 4.8	Konservasi energi (<i>Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>)	65
Tabel 4.9	Perbandingan Sungkup Helm <i>Epoxy-HGM-Sisal Woven Vs Epoxy-HGM-Sisal Chopped</i>	72

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 121,39 juta unit. Badan Pusat Statistik menyebutkan 81,5 % dari total kendaraan adalah sepeda motor dengan angka pertumbuhan 10% pertahunnya. Korlantas RI menyebutkan bahwa, jumlah kecelakaan lalu lintas yang terjadi Indonesia selama 2016 sampai dengan Juni 2017 mencapai 155,750 kejadian. 21,56% dari total kejadian merupakan kecelakaan dengan korban meninggal dunia. Dari kejadian setiap periode, rata-rata 72,49%-nya merupakan kecelakaan dengan melibatkan sepeda motor. 9,25% diantaranya diakibatkan karena pengendara melanggar pasal 283 jo serta pasal 106 ayat 1 tentang, mengemudi dengan tidak wajar (melakukan kegiatan lain dan atau dipengaruhi oleh sesuatu keadaan sehingga mengganggu konsentrasi dalam mengemudi).

Menurut *World Health Organization* (WHO) tahun 2004, 90% kecelakaan yang menyebabkan cedera kepala banyak terjadi pada negara berkembang seperti di Indonesia. 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 kepala, besarnya energi impact saat terjadi benturan di kepala harus diminimalisir [Kleiven, 2013]. Salah satu cara untuk meminimalisir energy impact pada kepala adalah dengan menggunakan helm. Di Indonesia, hal ini diatur melalui UU No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu – lintas dan Angkutan Jalan pasal 57 ayat 1 *juncto* ayat 2. Serta, pasal 106 ayat 8 yang 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]. Selain itu, helm yang terlalu berat dapat menyebabkan kerusakan syaraf leher bagi penggunanya [dr. Ruslin Yusni Hasan, 2012]. Tercatat 80% dari total angka kecelakaan akibat menurunnya konsentrasi dalam mengemudi di jalan dipegang oleh pengendara sepeda motor [Korlantas, 2013]. Serta 9,25% dari jumlah total kecelakaan sepeda motor yang menyebabkan kematian pada tahun 2017 diakibatkan karena pengendara melanggar pasal 283 jo serta pasal 106 ayat 1 tentang, mengemudi dengan tidak wajar (melakukan kegiatan lain dan atau dipengaruhi oleh sesuatu keadaan sehingga mengganggu konsentrasi dalam mengemudi)[Korlantas-POLRI, 2017].

Material komposit merupakan material yang ringan serta kuat, yang sering kali diaplikasikan pada industry pesawat terbang, perkapalan serta industry otomotif kelas atas yang membutuhkan

weight ratio besar sehingga didapatkan tenaga yang besar dengan masa yang relative ringan. Salah satu pengaplikasian komposit adalah pembuatan helm *sport* menggunakan material *carbon fiber* untuk mendapatkan helm yang ringan serta memiliki kekuatan yang besar. Namun, komposit berbahan serat karbon memiliki harga yang relative mahal. Selain itu, komposit serat dapat mengalami delaminasi yang dapat menurunkan performa helm yaitu ketahanan terhadap tekanan dan penyerapan beban kejut [Pinnoji, 2010]. Untuk itu perlu adanya pengembangan material alternative untuk mendapatkan kekuatan yang sama seperti *carbon fibre* tetapi dengan harga yang relative murah. Salah satu material alternative tersebut adalah serat sisal.

Serat sisal (*Agave Sisalana*) merupakan salah satu dari sekian banyak serat yang bisa didapatkan dari alam dan dapat digunakan sebagai penguat material komposit. Kumaresan, dkk. (2015) mengevaluasi sifat mekanik material komposit serat sisal dan resin *epoxy* dengan memvariasikan orientasi seratnya. Serat sisal mampu menerima beban *impact* hingga 3,53 Joule dengan orientasi serat 90°. Serat sisal memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup tinggi, daya tahan, hambatan, dan kemampuan untuk meregang dalam air asin. Nilai kekuatan tarik, dan kelenturan yang dimiliki oleh komposit serat sisal lebih baik dibandingkan dengan komposit lain yang sejenis. [Pickering, dkk., 2015]. Kekuatan tarik komposite *epoxy-sisal chooped 3cm* mencapai 19.774 MPA [I Wayan Surata dkk, 2016]. A Sandrach dkk(2015) menguji komposit *epoxy 10B11:K6-sisal woven*, dalam penelitiannya A Sandrach mendapatkan kekuatan tarik sebesar 25 MPA.

Penelitian tentang temperatur *curing* dan *post-curing* terhadap karakteristik tekan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* IM30K juga telah dilakukan oleh Ritonga (2014). Hasil penelitan menunjukkan nilai ketangguhan maksimum adalah sebesar $21,54 \times 10^{-3} \text{ J/mm}^3$ didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 16%. Penelitian tentang pengaruh komposit HGM pada *bumper* kendaraan dalam mereduksi energi *impact* dilakukan oleh Hindun (2015). Hasil penelitian didapatkan

bahwa rata-rata penyerapan energi untuk material *epoxy HGM* sebesar 86.39%.

Penelitian sebelumnya mengenai *epoxy – HGM* sebagai material cangkang helm, yang dilakukan oleh Galang, dengan mevariasikan ketebalan helm (4mm, 6mm, dan 8mm). Dari hasil simulasi penelitian tersebut, didapatkan hubungan antara variasi ketebalan dengan ketahanan terhadap beban tekan dan penyerapan energi *impact*[Galang, 2015]. Sfaat (2016), mengembangkan penelitian Galang dengan menggunakan *epoxy-HGM-carbon fibre* sebagai material cangkang helm dengan massa 694,8 gram didapatkan ketebalan helm 5mm *epoxy-HGM* dengan 2 layer *carbon fibre* berhasil lolos uji SNI 1811-2007. Laboratorium *Metallurgy* Teknik Mesin ITS berhasil menciptakan *prototype* helm menggunakan komposit *HGM-Epoxy-sisal chooped* dengan tebal 4mm + Layer *Carbon fibre*. *Prototype Helm* yang sudah berhasil dibuat oleh Laboratorium *Metallurgy* Teknik Mesin ITS masih memiliki unsur *carbon fibre* sehingga, biaya produksi yang ada masih relatif mahal.

Untuk itu, perlu diadakan penelitian untuk mendapatkan *prototype* helm yang sesuai standar SNI 1811-2007 dengan menggunakan material komposit *epoxy-HGM-serat sisal 90°woven*, agar helm yang didapatkan memiliki kemampuan serap beban kejut tinggi serta ketahanan penetrasi baik. Dengan orientasi serat 90° kekuatan komposit akan meningkat, sehingga akan didapatkan helm dengan ketebalan rendah, serta masa helm yang ringan. Dalam penelitian ini material serat didapatkan dari BALITAS Malang.

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 serta berpotensi menyebabkan kerusakan syaraf 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 saat mengalami benturan.

Penelitian sebelumnya sudah berhasil membuat *prototype* helm dengan material *epoxy – HGM 4mm+ 2layer carbon fiber* dengan penyerapan energi *impact* tinggi.

Untuk itu, dalam penelitian ini akan dibuat *prototype* helm berbahan komposit *Epoxy-HGM-sisal 90° woven* yang sesuai dengan SNI 1811-2007.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *prototype* helm dengan material *epoxy-HGM-sisal 90° woven* dengan kemampuan penyerapan energi *impact* 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-sisal 90° woven* 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-sisal woven*. Diameter serat sisal yang digunakan diasumsikan sama dan pencampuran *HGM* dengan resin *epoxy* dianggap homogen. Sisal yang digunakan adalah sisal dari

BALITAS Malang, yang sebelumnya sudah ditreatment dengan perendaman NaOH 5% selama dua jam serta pengeringan dengan suhu 80°C selama 3 jam. Anyaman serat dianggap seragam dengan nilai TEX sebesar 0,3 gram/30 cm.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Komposit HGM-*epoxy*-serat sisal merupakan jenis komposit *multi reinforcement* dengan *matrix epoxy* yang memiliki penguat yang terdiri dari serat alam dan bola kaca berongga berukuran mikro. Beberapa keunggulan HGM diantaranya densitas yang rendah, kemampuan isi yang tinggi, dan penyerapan energi *impact* yang tinggi [3M, 2013]. 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]. 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 *matriks* 84% *epoxy – 16% HGM* dengan menyimulasikannya 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, 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 6 m/s.

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 *epoxy – HGM* sebagai material sungkup helm oleh Galang(2015), dengan memvariasikan ketebalan helm (4mm, 6mm, dan 8mm) menghasilkan hubungan antara variasi ketebalan dengan ketahanan terhadap beban tekan dan penyerapan energi *impact*. Safaat(2016) berhasil membuat prototype sungkup helm berbahan *epoxy-hgm-carbon fiber* dengan ketebalan 5mm *epoxy-hgm* dengan 2 layer *carbon fibre* dibagian luarnya. Hasil prototype safaat dengan berat 694,8 gram berhasil lolos uji SNI1811-2007. Laboratorium *Metalurgy Teknik Mesin ITS*(2017) berhasil menciptakan *prototype* helm dengan ketebalan sungkup 4mm yang terbuat dari komposit *HGM-epoxy-sisal chooped 4mm+ 1 layer carbon fibre*.

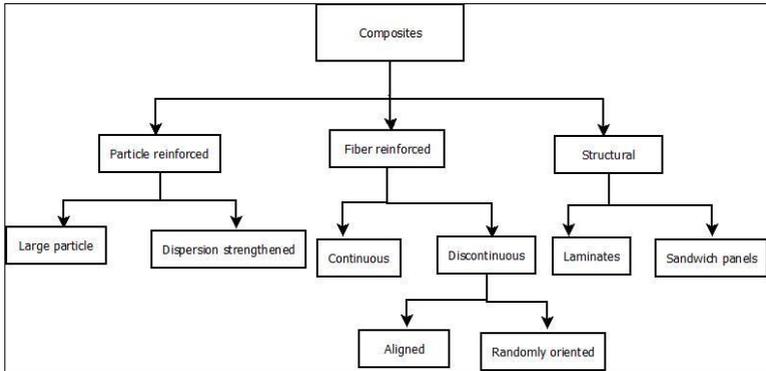
Pada tahun 2015 A Shadrach dkk, meneliti kekuatan mekanik dari *composite aloevera woven-epoxy dan sisal woven-epoxy*. Hasil dari uji tarik kedua jenis komposit tersebut, komposit *sisal woven-epoxy* memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi yaitu 25 MPA. Sedangkan pada tahun 2016 I Wayan Surata dkk meneliti kekuatan tarik komposit *sisal chooped-epoxy*. Komposit *sisal chooped-epoxy* memiliki kekuatan tarik yang jauh lebih rendah dari komposit *sisal woven-epoxy* yaitu sebesar 19.774 MPA. Hal ini menunjukkan bahwa serat sisal dengan *treatment anyam-woven* dapat meningkatkan kekuatan mekanik suatu material komposit.

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*

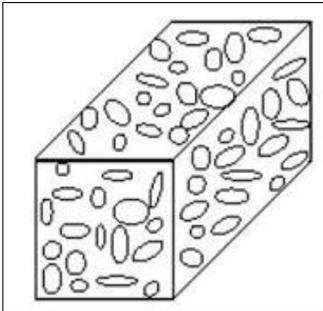
Komposit berbahan matriks logam (MMC) sering diaplikasikan pada bidang kedirgantaraan dan komponen otomotif. CMC digunakan untuk keperluan perlindungan panas pada pesawat luar angkasa dan komponen pada roket. Komposit berbahan polimer (PMC) sering digunakan pada alat-alat rumah tangga hingga peralatan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

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

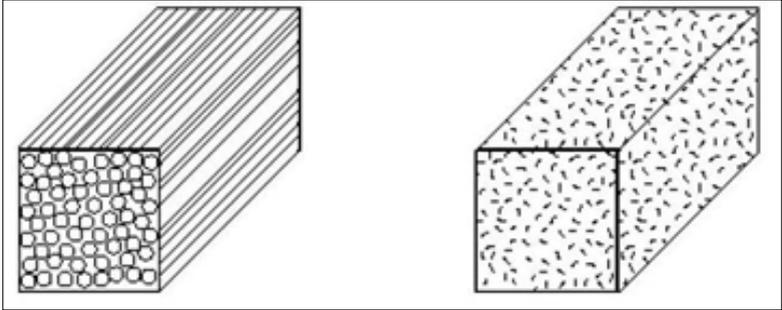
Merupakan komposit yang penguatnya berupa fase partikel. Contoh: Beton, yang merupakan bahan baku bangunan dimana matriksnya adalah semen sedangkan penguatnya adalah pasir.



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.

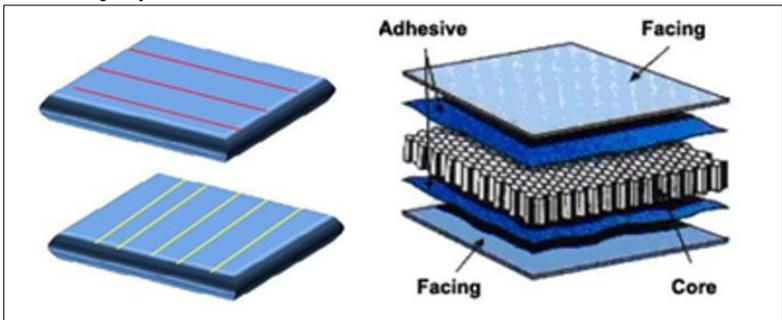


Gambar 2.3 Komposit Berpenguat Serat

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*

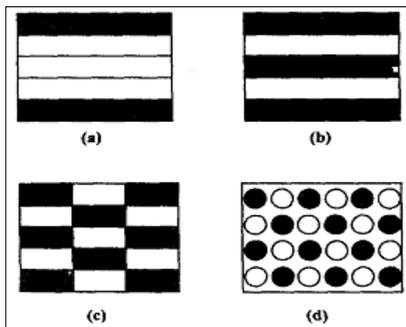
Merupakan suatu material yang terdiri atas lapisan penyusun yang berbeda.

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 fatigue 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 isostatis hingga 28000 psi. HGM jenis ini memiliki ukuran rata-rata sebesar 18 mikron tiap butirnya dengan densitas sebesar 0.6 g/cm³.

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.

Tabel 2.1 *Properties* HGM 3M iM30K (number : 3M center-USA)

Property	iM30K	
Shape	Hollow spheres with thin walls	
Composition	Soda-lime-borosilicate glass	
Color, Unaided Eye	White, powder	
Physical Properties		
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 55.19/gram max
pH (5% loading in water)	9.5	ASTM D3100-1982
Diameter (average)	18 microns	3M QCM 193.0
Particle Size and Distribution		
Property	iM30K	
10th Percentile	9 microns	
25th Percentile	12 microns	
50th Percentile	16 microns	
75th Percentile	21 microns	
90th Percentile	28 microns	
95th Percentile	33 microns	



Gambar 2.6 *Hollow Glass Microsphere* (sumber : www.sciencedirect.com)

2.2.3 *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.

2.2.4 Sisal

Serat sisal adalah serat yang diolah dari daun tanaman *Agave*. *Agave* adalah tanaman monokotil asli dari kawasan Amerika Tengah dan Meksiko dan kini dibudidayakan di kawasan tropis lainnya seperti Malaysia, Kenya, Indonesia dan lain sebagainya. Tanaman ini tumbuh baik di daerah beriklim panas dan lembab, dengan suhu 15-30°C. Tanaman ini juga tahan terhadap kekeringan. Saat ini, serat sisal juga dikembangkan sebagai bahan tali kapal dan penguat pada material komposit dikarenakan sifat elastis dan kekuatannya yang baik.

Tabel 2.3 *Mechanical Properties* serat sisal (Kusumastuti, 2009)

Densitas (kg/ m ³)	<i>Moisture</i> <i>Content</i> (%)	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus (GPa)	Maximum Strain (%)	Diameter (µm)
1450	11	604	9.4-15.8	-	50-200
1450	-	530-640	9.4-22	3.7	50-300
1450	-	400-700	7-13	4-9	-
1030	-	500-600	16-21	3.6-5.1	-
1410	-	400-700	9-20	5-14	100-300
1400	-	450-700	7-13	4-9	-



Gambar 2.7 *Agave sisalana* (sumber : <http://keys.lucidcentral.org>)

Pengolahan daun tanaman *Agave* hingga menjadi sisal melalui tahapan sebagai berikut :

1. Proses penyortiran.

Proses ini bertujuan untuk mendapatkan serat sisal yang berkualitas. Serat yang mempunyai kualitas yang baik dihasilkan dari daun yang sudah matang/ tua dan panjang minimal sepanjang 1 m. Daun yang matang ditandai dengan buah yang masak pada tanaman *Agave*, yaitu ketika tanaman berumur minimal 12 bulan. Daun yang bisa diolah menjadi serat sisal biasanya diambil sekitar 7-10 dari satu rumpun.

2. Proses Ekstraksi

Daun *Agave* yang telah disortir akan dilakukan penggilingan dengan mesin dekortikator yang bertujuan untuk memisahkan daging daun dan serat.

3. Proses pengerokan

Setelah diekstraksi dengan mesin dekortikator, maka dilakukan pengerokan untuk membuang daging daun yang masih menempel untuk mendapatkan serat murni yang bersih dan juga bertujuan meluruskan serat yang selesai diekstraksi.

4. Proses pengeringan

Serat murni tanpa daging daun lalu dijemur di bawah sinar matahari selama kurang lebih satu hari. Setelah kering lalu

direndam dengan larutan kimia untuk menghilangkan air dan untuk menguatkan serat. Lalu kemudian serat dijemur kembali hingga kering.

5. Pasca produksi

Serat sisal yang telah jadi, dapat langsung dijual atau diolah kembali menjadi produk lainnya seperti karpet, tali kapal dan lain sebagainya.



Gambar 2.8 Serat sisal (sumber : www.alibaba.com)

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 (*schrappnel*). Pada Perang Dunia II hingga masa sekarang, helm merupakan alat perlindungan standar bagi semua angkatan bersenjata.



Gambar 2.9 Helm perang dari berbagai benua dan masa (diambil dari berbagai sumber)

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 2.10 Helm Pengendara Sepeda Motor (sumber : dari berbagai sumber)

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 2.11 Helm Proyek/Keselamatan (sumber : www.industryshoppe.com)

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 (1.1921-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.

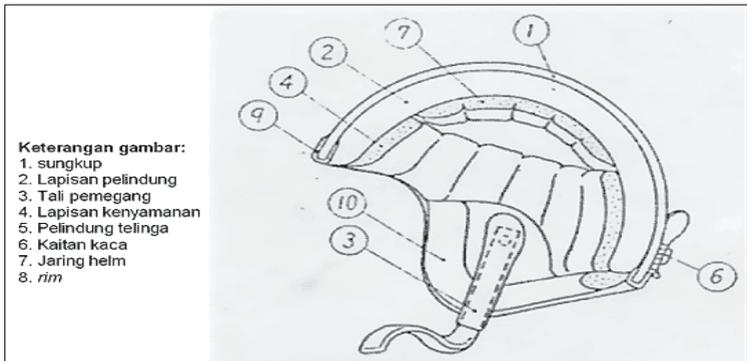
2. Konstruksi

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 ketebalan 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 2.12 Konstruksi helm berdasarkan SNI 1811 – 2007
(sumber : BSN)

3. Pengujian Mutu

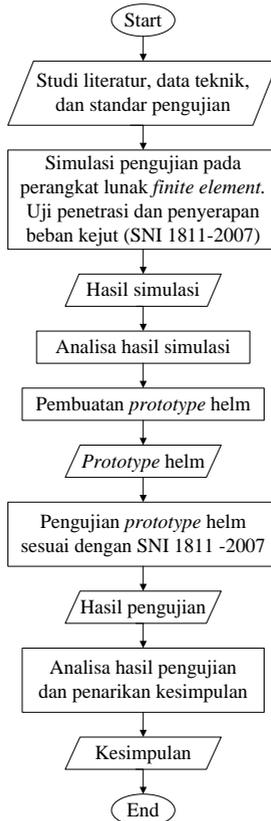
Pada SNI 1811 – 2007, terdapat beberapa pengujian yang disyaratkan pada suatu helm sebelum benar-benar dapat digunakan atau dipasarkan yaitu:

- 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

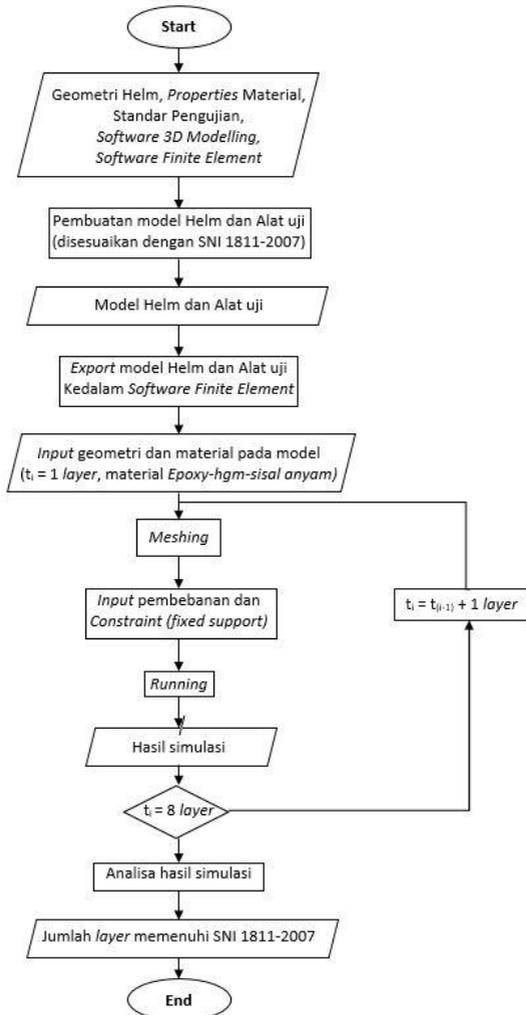
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

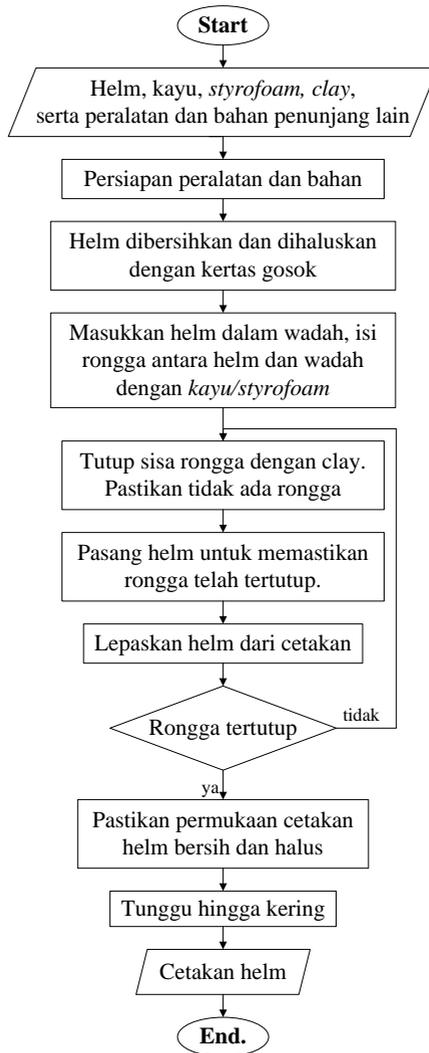
Adapun diagram alir dalam rangkaian penelitian ini dibedakan menjadi beberapa jenis, diantaranya diagram alir rangkaian penelitian, diagram alir simulasi, dan diagram alir eksperimen.



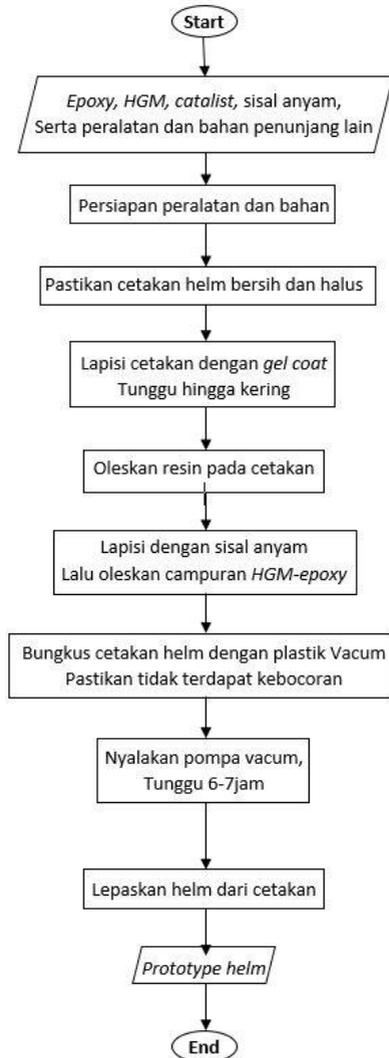
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



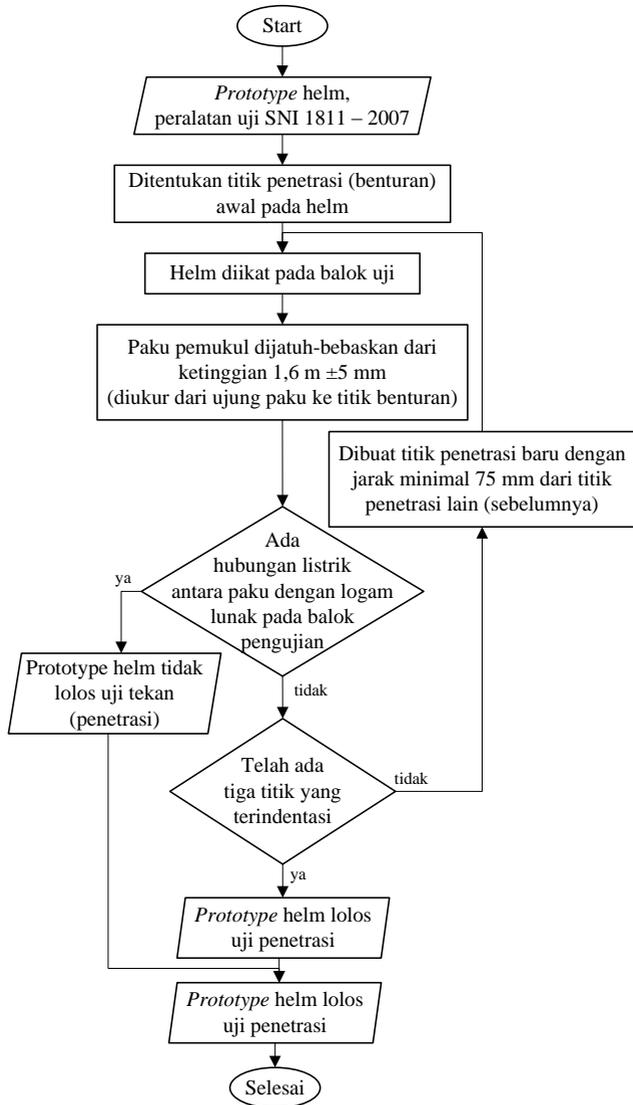
Gambar 3.2 Diagram alir simulasi pengujian penetrasi dan penyerapan beban kejut terhadap helm dengan material *epoxy-HGM-sisal 90° woven*



Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan cetakan helm



Gambar 3.4 Diagram alir pembuatan *prototype* helm



Gambar 3.5 Diagram alir uji SNI 1811-2007

3.2 Studi Literatur

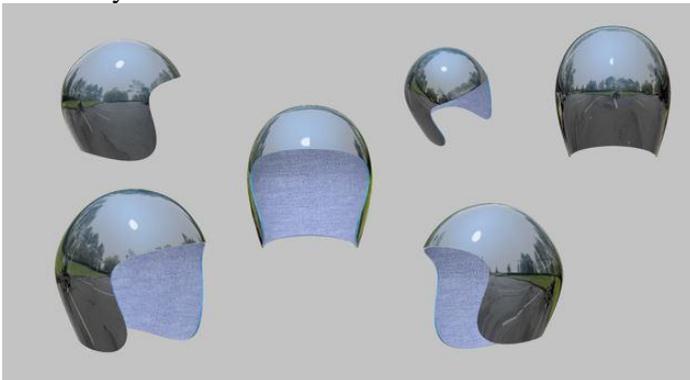
Studi literatur dimaksudkan untuk mengetahui informasi-informasi terkait dengan penelitian. Penggalan informasi dilakukan dari berbagai sumber mulai dari artikel, jurnal, undang-undang, katalog, internet, serta hasil penelitian terkait yang pernah dilakukan sebelumnya. Adapun beberapa informasi terkait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

1. Hasil Penelitaian Sebelumnya.
Penelitian sebelumnya terkait penerapan penggunaan material, HGM maupun *carbon fibre*, dalam berbagai bidang baik dalam skala penelitian maupun industri. Lebih spesifik, penelitian mengenai penggunaan HGM sebagai bahan pembuatan helm oleh M. Galang Perkasa. Safaat pada tahun 2016 berhasil membuat *prototype* helm dengan bahan komposit *epoxy-hgm-carbon fibre* sebagai bahan pembuatan sungkup helm sesuai yang sesuai dengan standar SNI 1811-2007. Pada tahun 2017 Laboratorium Metallurgy Teknik Mesin ITS berhasil membuat *prototype* helm dengan bahan komposit *HGM-epoxy-sisal chooped* dengan ketebalan 4mm + 1 *layer carbon fibre*.
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.
4. Serat sisal
Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Kusumastuti tahun 2009. Dari penelitian ini diperoleh informasi pendukung mengenai serat sisal. Serta penelitian dari Shadrach ,dkk tahun 2015 dan penelitian I wayan Surata, dkk tahun 2016 menegenai performa dari komposit *epoxy-hgm-serat sisal* dengan berbagai orientasi digunakan sebagai data pendukung dalam penelitian ini.
5. SNI 1811 – 2007
SNI 1811 – 2007 diterbitkan oleh Badan Standar Nasional berisi informasi yang berkaitan dengan helm standar mulai

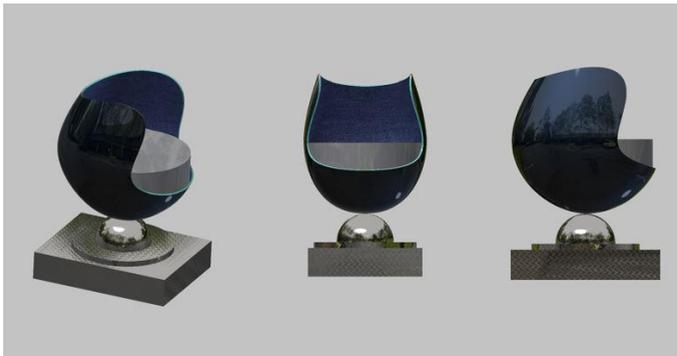
dari geometri serta standar pengujian yang dilakukan terhadap helm.

3.3 Model Helm dan Alat Uji

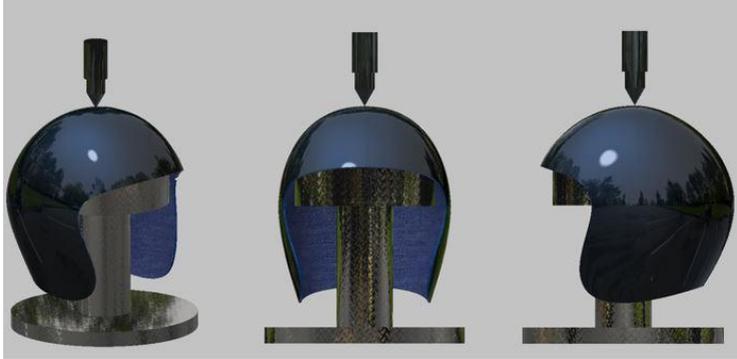
Model helm yang digunakan mengacu pada SNI 1811 – 2007 yang disesuaikan dengan helm *open face* yang ada di pasaran pada umumnya.



Gambar 3.6 Model Helm yang Digunakan pada Penelitian



Gambar 3.7 Pengkondisian Model Helm dengan Alat Uji pada Pengujian Impact



Gambar 3.8 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

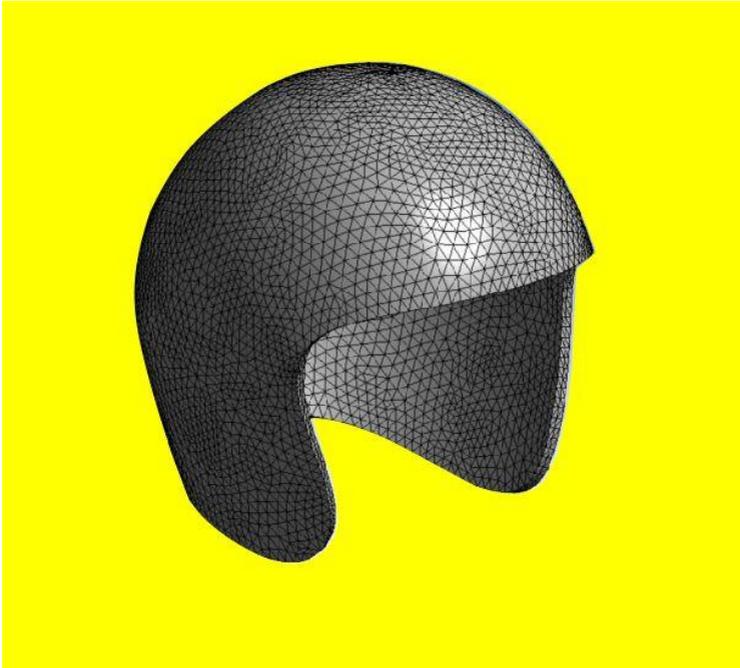
Geometri helm yang digunakan dalam simulasi didasarkan pada helm *open face* sesuai ketentuan SNI 1811-2007. Pembuatan model menggunakan perangkat lunak 3D-CAD. Selanjutnya, dilakukan proses *assembly* terhadap model helm dan alat uji sesuai dengan ketentuan SNI 1811-2007. Selanjutnya, model helm dan 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-sisal woven* dengan fraksi volume 70% *epoxyHGM* -30% *sisal woven*, dengan *epoxyHGM* memiliki komposisi sebesar 84% *epoxy* -16% *HGM*.

3. *Meshing*

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



Gambar 3.9 Hasil *Meshing*

4. Pembebanan

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

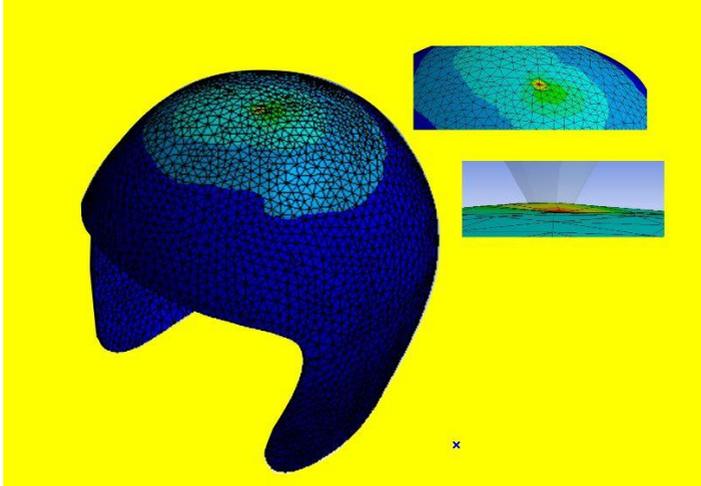
5. *Running*

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.

6. Hasil Simulasi dan Analisa Data

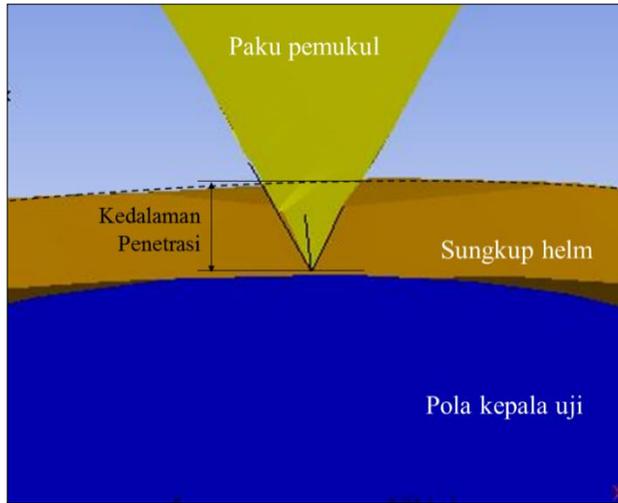
Setelah proses *running* selesai dilakukan, akan didapatkan hasil simulasi. Dari hasil simulasi, didapatkan ketebalan helm yang memenuhi kriteria uji penetrasi dan uji penyerapan beban kejut.



Gambar 3.10 Contoh 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 3.11 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:

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

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

Dimana,

σ_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 300g. 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 dikonversikan kedalam g (gravitasi).

$a > 300\text{g}$	tidak memenuhi SNI 1811 – 2007
$a \leq 300\text{g}$	memenuhi SNI 1811 – 2007

Bila percepatan yang dialami pola kepala uji melebihi 300g, maka helm tersebut tidak memenuhi kriteria uji penyerapan beban kejut SNI 1811 – 2007.

3.6 Pembuatan *specimen* uji D 638

Pembuatan *specimen* uji D 638 dimaksudkan untuk mendapatkan data mekanik dari material untuk kemudian dimasukkan sebagai data simulasi. 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, celemek.
2. Alat bantu : penggaris, gunting, plastisin, palu, kuas, paku, gelas mika
timbangan, baskom, loyang, pompa
vacum 1 set, kaca.
3. *Epoxy, Hollow Glass Microsphere, Sisal fibre, PVA*, larutan NaOH 5%.
4. Cetakan *specimen*.
5. kayu, dan
6. serta peralatan dan bahan lain yang mendukung.

3.6.2 Langkah – langkah

Adapun langkah – langkah yang dilakukan dalam pembuatan *specimen* uji D638 dibagi menjadi langkah-langkah anyaman serat dan pembuatan *specimen*. Adapun pembuatan anyaman serat sebagai berikut:

1. Rendam serat sisal dengan larutan NaOH 5% selama 2 jam.

2. Tiriskan serat kemudian cuci dengan air mengalir sampai serat tidak berasa licin ditangan.
3. Keringkan serat didalam udara ruangan sampai serat benar-benar kering.
4. Siapkan alat penganyam serat yang sudah dibuat dengan kayu serta paku.
5. Pintal serat dan timbang serat dengan berat 0.3gram/30cm hal ini bertujuan agar sisal yang akan dianyam memiliki keseragaman.
6. Anyam yang sudah ditimbang dengan alat penganyam serat.

Setelah dilakukan pembuatan anyaman, dilakukan pembuatan *specimen*. Adapun langkah – langkah pembuatan *specimen* sebagai berikut:

1. Siapkan kaca 2 buah, 1 set pompa *vacum*, *wax*, *PVA*, *HGM*, sisal anyam, serta *epoxy resin*
2. Bersihkan kaca serta oleskan *wax* pada permukaan kaca menggunakan kain tunggu 1-2jam sampai *wax* mengering.
3. Oleskan *PVA* tipis-tipis pada permukaan kaca yang sudah diolesi *wax* tunggu 1-2jam agar *PVA* mengering.
4. Campurkan *epoxy* dan *hardener* sesuai dengan petunjuk penggunaan yang tertera pada label. Dalam hal ini *epoxy* yang digunakan adalah *epoxy carbon* dengan perbandingan 3*epoxy* : 1*hardener*.
5. Kemudian campurkan *HGM* kedalam campuran *epoxy* dan *hardener* aduk hingga merata.
6. Vraksi volume yang digunakan pada campuran anyaman sisal-*EpoxyHGM* adalah 30%-70%. Sedangkan *Epoxy-HGM* adalah 84%-16%.
7. Letakan anyaman serat pada kaca kemudian buatlah pembatas menggunakan plastisin pada sisi-sisi serat.
8. Angkat serat kemudian oleskan campuran *epoxy-HGM* pada kaca.

9. Tempelkan anyaman serat diatas olesan *epoxy-HGM* kemudian oleskan *epoxy-HGM* pada serat dengan merata. Kemudian tutup dengan kaca.
10. Masukkan hasil dari step 9 kedalam plastik *vacum*. Pastikan instalasi *vacum* tidak ada yang bocor. Nyalakan pompa *vacum* dan tunggu 6-7 jam sampai spesimen kering.
11. Lepaskan spesimen dari cetakan kaca kemudian potong *specimen* menggunakan jigsaw sesuai dengan standar D 638

3.7 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.

3.7.1 Peralatan dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan adalah:

1. alat keselamatan : sarung tangan, masker, kacamata, celemek.
2. alat bantu : penggaris, gunting, plastisin, palu, kuas, paku, gelas mika
timbangan, pompa *vacum* 1 set.
3. *Epoxy, Hollow Glass Microsphere, Sisal anyam, Fibre glass, PVA.*
4. helm.
5. kayu, dan
6. serta peralatan dan bahan lain yang mendukung.

3.7.2 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 menggunakan kertas gosok.
3. Helm diolesi wax sebanyak 3 – 5 kali dengan jeda 5 – 10 menit. Kemudian, helm dilapisi dengan PVA dan ditunggu hingga kering.
5. Setelah PVA kering, helm diolesi dengan resin polyester dan dilapisi dengan *fiber glass* sebanyak dua layer, kemudian divacum menggunakan pompa *vacum*.
6. 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:

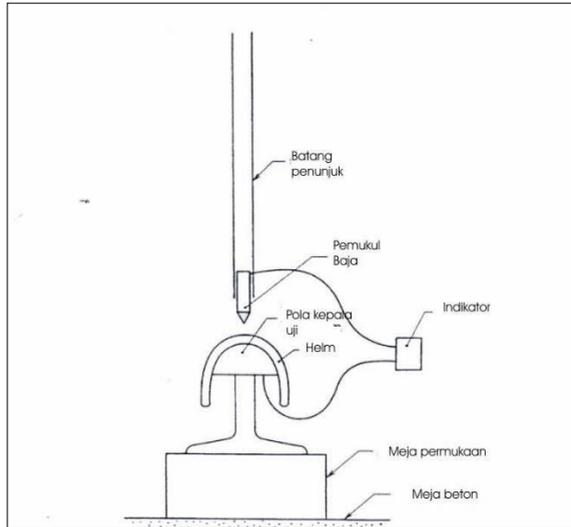
1. Pastikan cetakan halus dan bersih.
2. Oleskan wax pada cetakan tunggu hingga kering kemudian oleskan PVA tunggu hingga kering.
3. Siapkan adonan *epoxy-hgm* sesuai dengan komposisi vraksi volum *specimen* uji D638.
4. Potong sisal anyam sesuai dengan pola yang diinginkan.
5. Oleskan adonan *epoxy-hgm* tipis pada cetakan. Tempelkan pola potongan sisal anyam pada cetakan yang sudah dioles dengan adonan *epoxy-hgm*.
6. Setelah semua pola tertempel dengan jumlah *layer* sesuai dengan keinginan kemudian oleskan semua adonan *epoxy-hgm* pada sisal anyam yang sudah tertempel secara merata.
7. Masukkan cetakan helm kedalam palstik *vacum*, pastikan plastik tidak bocor.
8. Nyalakan pompa *vacum*, dan tunggu 6-7jam sampai *prototype* sungkup helm kering.
9. Lepas *prototype* sungkup helm yang sudah kering dari cetakan.

3.8 Pengujian SNI 1811 – 2007

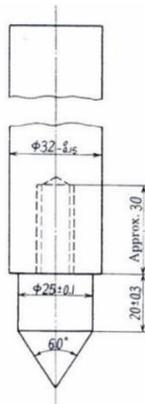
Pengujian ditujukan untuk mengetahui ketahanan material penyusun helm terhadap beban penetrasi dan beban kejut. Pengujian yang dilakukan terhadap helm disesuaikan dengan aturan standar yang berlaku, dalam hal ini SNI 1811 - 2007. Syarat kerja dan kriteria ditampilkan pada tabel 3.1. Skema dan kelengkapan 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">• Paku pemukul dijatuh bebaskan dari ketinggian 1,6 m terhadap helm• Berat paku pemukul 3 kg \pm 45 gram, kekerasan 45-50 HRC	<ul style="list-style-type: none">• Material pada sungkup tidak tembus
2	Uji Penyeran Beban Kejut	<ul style="list-style-type: none">• Paron baja plat berbentuk setengah bola dengan diameter 130 mm• Berat model kepala uji tidak termasuk helm sebesar 5 \pm 0.2 kg• Helm dan pola epala uji dijatuh bebaskan dari ketinggian tertentu dan menumbuk paron• Kecepatan saat tumbukan sebesar 6 \pm 0.15 m/s	<ul style="list-style-type: none">• Tidak mengalami retak atau pecah pada sungkup helm• Beban kejut yang diterima oleh pola kepala uji tidak lebih dari 300 g

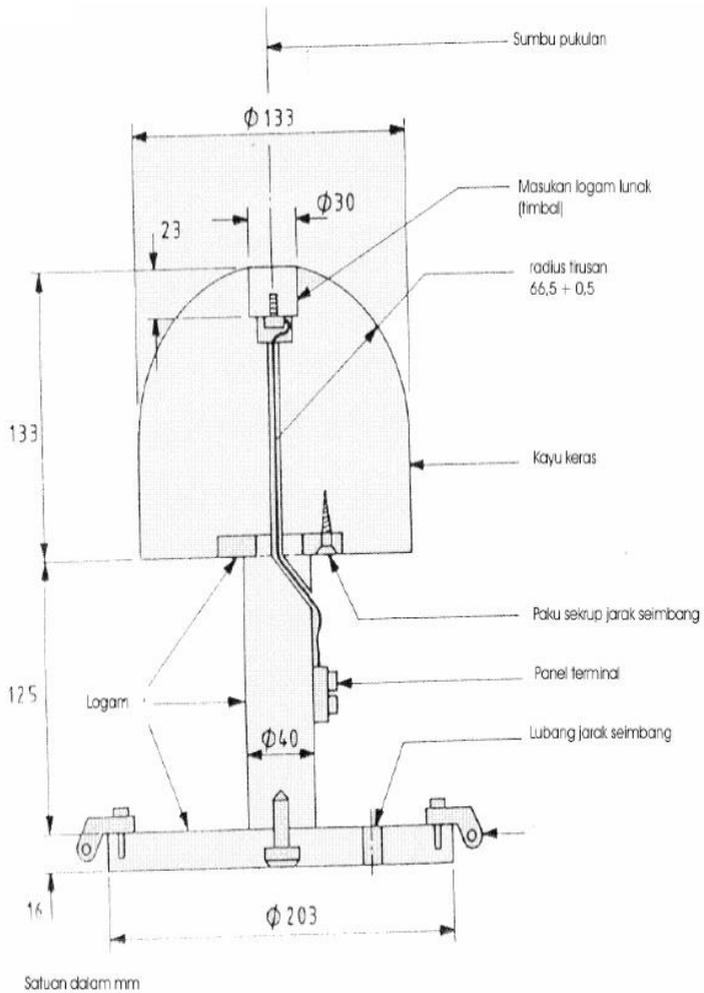


Gambar 3.12 Skema Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007 (sumber : BSN)

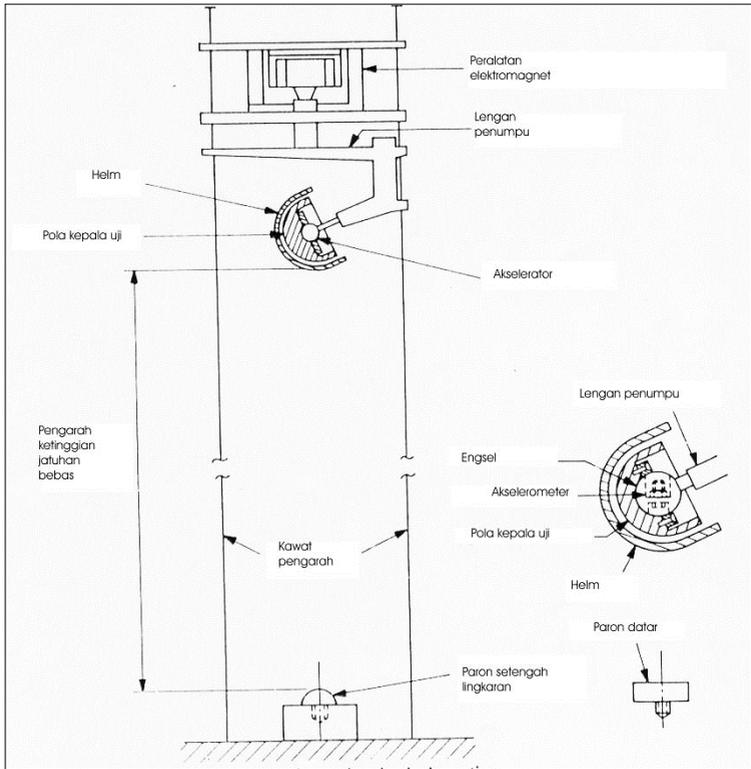


Pemukul baja untuk uji ketahanan penetrasi
Catatan: Batang harus $R0,5 + 0,1$

Gambar 3.13 Kelengkapan Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007- Paku Pemukul (sumber : BSN)



Gambar 3.14 Kelengkapan Uji Penetrasi SNI 1811 – 2007- Model kepala uji (sumber : BSN)



Gambar 3.15 Skema Uji Penyerapan Beban Kejut SNI 1811 – 2007 (sumber : BSN)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Sungkup Helm

4.1.1 Sungkup Helm *Epoxy-HGM-Sisal Chopped*

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-Sisal Chopped* dan volume helm. *Density epoxy-HGM-Sisal Chopped* mengacu pada hasil penelitian sebelumnya, sebesar 1.325 g/cm^3 .

Tabel 4.1 Spesifikasi Sungkup Helm *Epoxy-HGM-Sisal Chopped*

Ketebalan (mm)	<i>Density</i> (g/cm³)	Volume (cm³)	Massa (gram)
2	1.325	254.62	336.02
4	1.325	518.24	686.67
6	1.325	789.42	1046.00
8	1.325	1070.00	1417.70

Tabel 4.2 *Properties* Epoxy-HGM-Sisal Chopped, Ridho 2017

Mechanical Properties	Besar	Satuan
Density	1325	Kg/m ³
Young Modulus	567.02	Mpa
Poisson's Ratio	0.12	mm/mm
Ultimate Tensile Strength	68.55	Mpa

Tabel 4.2 merupakan data *properties* Epoxy-HGM-Sisal Chopped yang didapatkan dari penelitian sebelumnya.

4.1.2 Sungkup Helm Epoxy-HGM-Sisal Woven

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-Sisal Woven* dan volume helm. *Density epoxy-HGM-Sisal Woven* mengacu pada hasil pengujian specimen uji, sebesar 1.0643 g/cm³.

Tabel 4.3 Spesifikasi Sungkup Helm *Epoxy-HGM-Sisal Woven*

Ketebalan (mm)	Density (g/cm³)	Volume (cm³)	Massa (gram)
2	1.0643	254.62	270.99
4	1.0643	518.24	551.54
6	1.0643	789.42	840.15
8	1.0643	1070.00	1138.7

Tabel 4.4 Properties Epoxy-HGM-Sisal Woven

Mechanical Properties	Besar	Satuan
Density	1064.3	Kg/m3
Young Modulus	2304	Mpa
Poisson's Ratio	0.0845	mm/mm
Ultimate Tensile Strength	332	Mpa

Tabel 4.4 merupakan tabel *properties* epoxy-HGM-Sisal Woven yang didapatkan dari eksperimen pada penelitian ini.

4.2 Hasil Simulasi dan Pembahasan

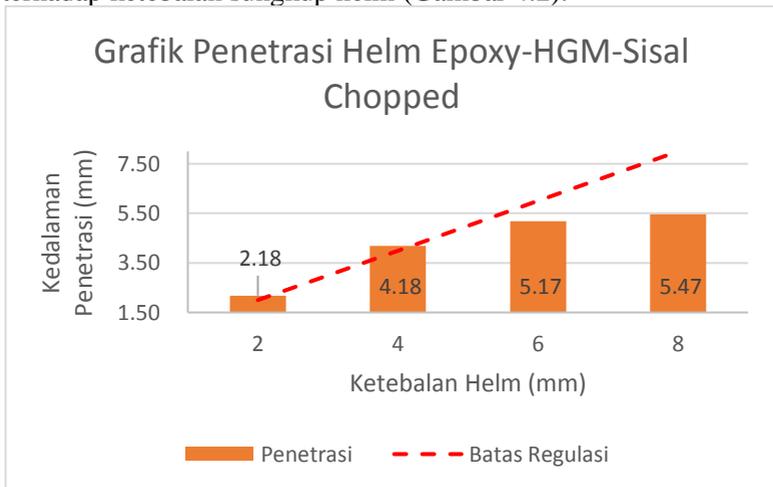
Simulasi yang dilakukan berupa uji penetrasi dan uji penyerapan kejut. Pengujian dilakukan, baik pada helm dengan

bahan *epoxy-HGM-Sisal Chopped* maupun *epoxy-HGM-Sisal Woven*.

4.2.1 Hasil Simulasi Uji Penetrasi Sungkup Helm *Epoxy HGM-Sisal Chopped*

4.2.1.1 Penetrasi (*Epoxy-HGM-Sisal Chopped*)

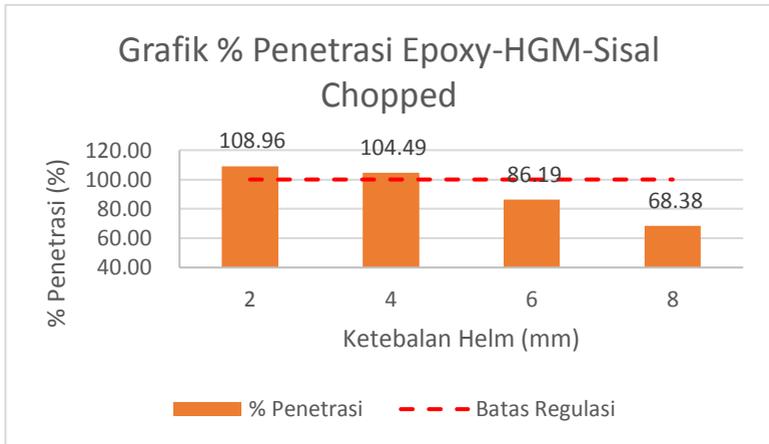
Nilai kedalaman penetrasi ditampilkan dalam satuan milimeter (Gambar 4.1) serta persentase kedalaman penetrasi terhadap ketebalan sungkup helm (Gambar 4.2).



Gambar 4.1 Penetrasi Sungkup Helm (dalam mm)

Merujuk Gambar 4.1, terlihat hasil penetrasi semakin besar sesuai dengan pertambahan ketebalan sungkup. 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. Hal ini penambahan ketebalan material akan menyebabkan bertambahnya kemampuan material dalam menahan penetrasi.

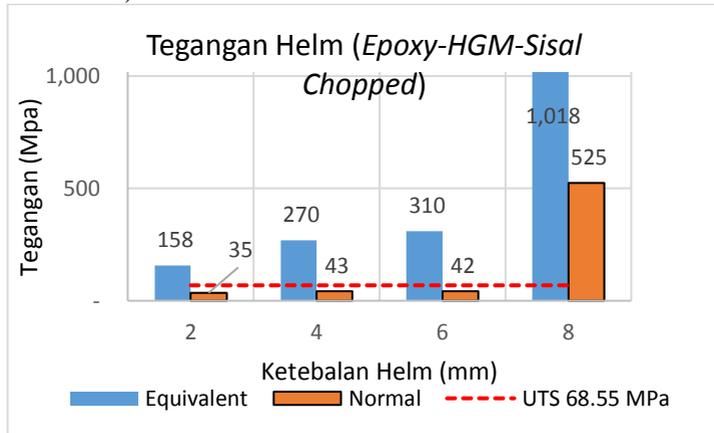


Gambar 4.2 Penetrasi Sungkup Helm (dalam %)

Sesuai dengan SNI 1811-2007 sungkup dengan ketebalan 2 mm dan 4 mm tidak lolos uji penetrasi. Hal ini dikarenakan sungkup dengan ketebalan 3mm dan 4mm tertembus paku pemukul. Gambar 4.2 yang menunjukkan nilai persen penetrasi sungkup dengan ketebalan 2 mm dan 4mm melebihi nilai maksimum dari regulasi SNI. Sedangkan sungkup dengan ketebalan 6 mm dan 8 mm lolos regulasi SNI 1811-2007 untuk kriteria ketahanan penetrasi. Besarnya nilai penetrasi yang dialami oleh sungkup 6 mm dan 8 mm adalah 5.17mm dan 5.14mm atau 86.19% dan 68.38%.

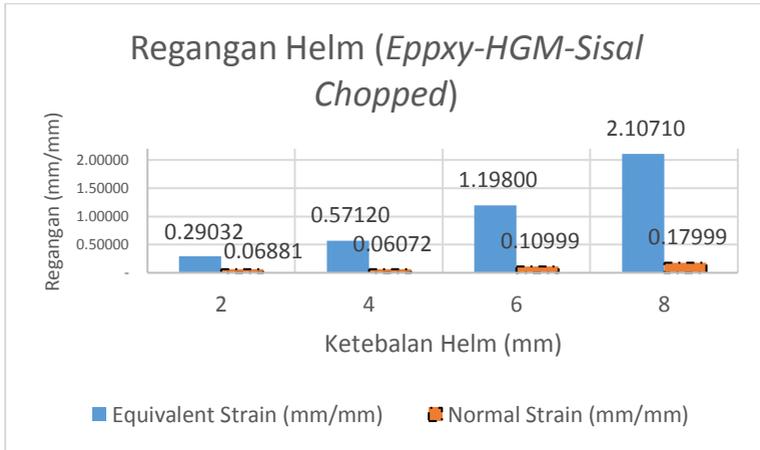
4.2.1.2 Tegangan dan Regangan Akibat Penetrasi (*Epoxy-HGM-Sisal Chopped*)

Nilai tegangan dan regangan yang ditampilkan pada gambar 4.3 dan 4.4 merupakan nilai tegangan dan regangan ekuivalen serta tegangan dan regangan normal dalam satuan Mpa (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Tegangan pada Sungkup Akibat Penetrasi (dalam MPa)

Besarnya tegangan cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup-Epoxy-HGM-Sisal Chopped. Tegangan normal yang terjadi memiliki nilai mendekati nilai UTS bahkan, untuk nilai tegangan equivalent memiliki nilai melebihi nilai UTS-63MPa-hal ini menunjukkan bahwa material yang diuji mengalami deformasi plastis.



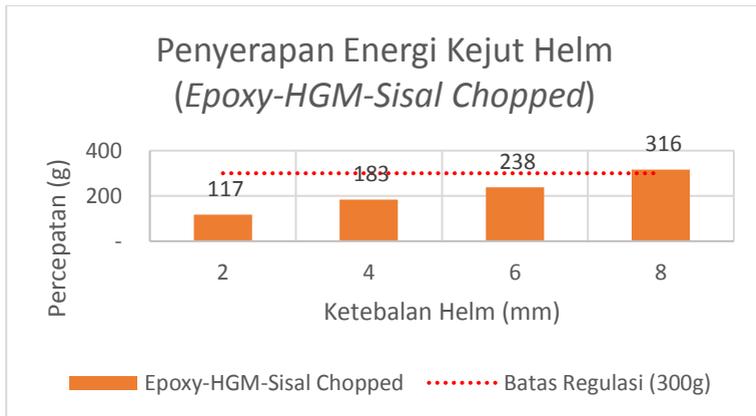
Gambar 4.4 Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi (dalam mm/mm)

4.2.2 Hasil Simulasi Uji Penyerapan Kejut (*Epoxy-HGM-Sisal Chopped*)

4.2.2.1 Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji (*Epoxy-HGM-Sisal Chopped*)

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

Mengacu pada SNI 1811 – 2007, percepatan yang dialami oleh pola kepala uji harus tidak lebih dari 300 g. Jika percepatan yang dialami melebihi 300 g, helm dinyatakan tidak lolos uji penyerapan kejut SNI 1811 – 2007. Satuan “g” merupakan satuan percepatan dalam gravitasi dimana g sama dengan $9.81 m/s^2$. Selain besarnya percepatan yang diterima kepala sungkup helm tidak diperbolehkan mengalami perubahan bentuk permanen-deformasi plastis.



Gambar 4.5 Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji (dalam g)

Mengacu pada Gambar 4.5, sungkup dengan ketebalan 2mm 4mm dan 6mm, telah memnuhi SNI 1811 – 2007 dengan percepatan pola kepala uji di bawah 300 g. Sedangkan sungkup helm dengan ketebalan 8mm memiliki nilai percepatan lebih dari 300g. Percepatan pola kepala uji terbesar terjadi pada sungkup dengan ketebalan 8 mm sebesar 316 g.

Gambar 4.5 menunjukkan semakin tebal sungkup helm maka, percepatan yang diterima kepala akan semakin besar.

4.2.2.2 Penyerapan Energi (*Epoxy-HGM-Sisal Chopped*)

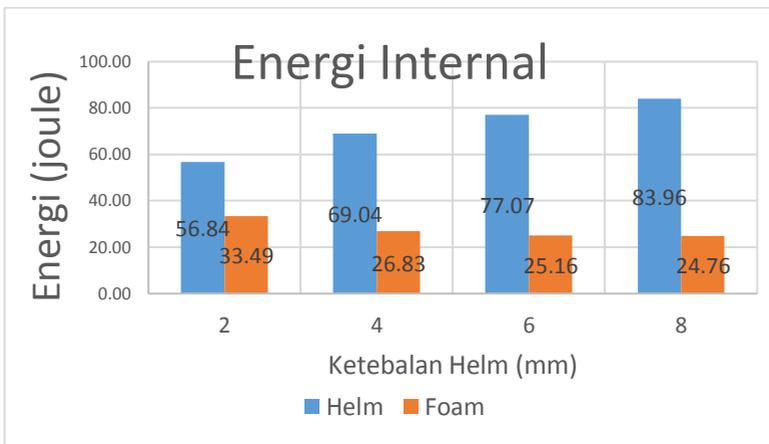
Besarnya energi pada masing – masing komponen uji pada saat 0.002 detik sesaat setelah tumbukan dalam satuan Joule ditampilkan pada tabel 4.5, gambar 4.6 dan gambar 4.7.

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.

Tabel 4.5 Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut

Ketebalan	Energi Internal (Joule)				
	Kepala	Foam	Helm	Anvil	Total
2	0.00425	33.48538	56.83613	0.0062391	90.3320
4	0.00283	26.83108	69.04432	0.0107759	95.8890
6	0.00354	25.16134	77.07131	0.0178155	102.2540
8	0.00431	24.75949	83.96149	0.0277108	108.7530

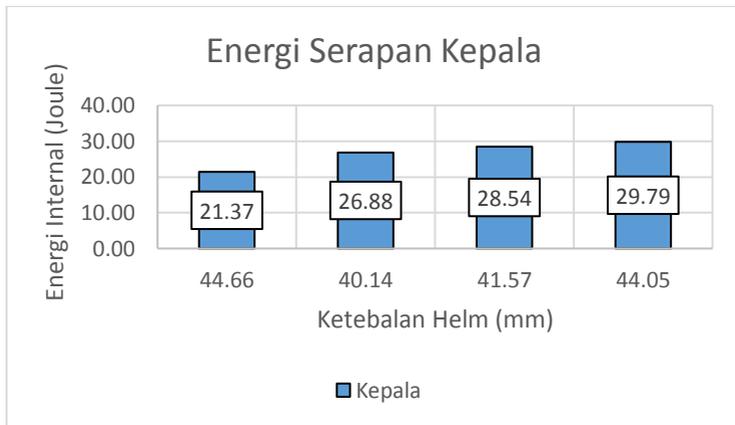


Gambar 4.6 Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut

Tabel 4.5, gambar 4.6 dan gambar 4.7 menunjukkan, besarnya energi internal pada sungkup, foam dan model kepala memiliki kecenderungan naik seiring dengan penambahan ketebalan sungkup.

Energi internal terbesar terjadi pada sungkup dengan ketebalan 8 mm dengan nilai sebesar 41.222 Joule. Energi internal terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 2mm dengan nilai

sebesar 10.375 Joule. Energi internal yang diterima foam tertinggi terjadi pada sungkup dengan ketebalan 8 mm dengan nilai 12.156 Joule. Sedangkan, energi internal foam terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 2 mm sebesar 6.1125 Joule.



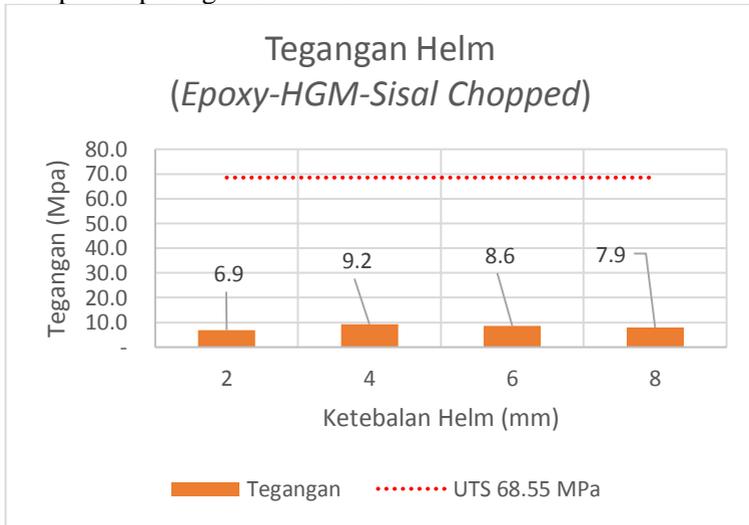
Gambar 4.7 Energi Internal yang Diserap oleh Kepala

Nilai energi internal yang diterima oleh pola kepala uji mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan ketebalan sungkup. Nilai energi internal terbesar yang diterima oleh pola kepala uji pada sungkup dengan ketebalan 8 mm memiliki nilai sebesar 0.00211 joule. Sedangkan nilai energi internal pada pola kepala uji terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 2 mm memiliki nilai sebesar 0.00078

Gambar 4.6 dan gambar 4.7 menunjukkan besarnya energi internal sungkup semakin naik seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup. Sebelum diterima oleh pola kepala uji, energi diserap oleh sungkup dan foam. Besarnya energi yang ditunjukkan pada gambar 4.6 dan gambar 4.7 hanya menunjukkan besar energi yang diterima material bukan besarnya energi yang diserap.

4.2.2.3 Tegangan dan Regangan Akibat Beban Kejut (*Epoxy-HGM-Sisal Chopped*)

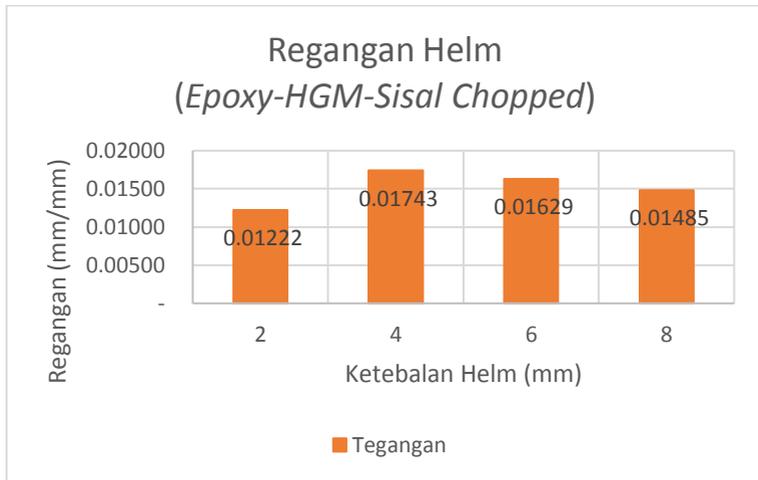
Nilai tegangan dan regangan yang didapatkan dari simulasi ditampilkan pada gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8 Tegangan pada Sungkup (Mpa)

Selain dari nilai percepatan yang diterima kepala, sungkup helm tidak diperbolehkan mengalami perubahan bentuk secara permanen-deformasi plastis. Mengacu pada Gambar 4.8, besarnya tegangan berubah-ubah seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup *epoxy-HGM-Sisal Chopped*.

Ditinjau dari nilai tegangan dan *Ultimate Tensile Strength (UTS)*, semua sungkup memiliki nilai dibawah nilai UTS. Hal ini menunjukkan bahwa semua sungkup mengalami deformasi elastis. Sehingga semua sungkup tidak mengalami kerusakan secara permanen.



Gambar 4.9 Regangan pada Sungkup Akibat Beban Kejut (mm/mm)

4.2.2.4 Konservasi Energi (*Epoxy-HGM-Sisal Chopped*)

Setelah dilakukan simulasi uji penyerapan kejut, dapat ditampilkan energi total yang bekerja pada elemen uji. (Tabel 4.6).

Tabel 4.6 Konservasi Energi (*Epoxy-HGM-Sisal Chopped*)

Helm (mm)	Energy Total (Joule)			Elastic Strain Energy	Thermal Energy
	Sebelum	Tumbukan	Sesudah		
2	95.333	90.332	95.123	5.001	0.210
4	100.950	95.889	100.736	5.061	0.214
6	106.940	102.254	106.540	4.686	0.400
8	113.170	108.753	112.760	4.417	0.410

Hasil simulasi didapatkan selisih energi antara sebelum tumbukan dan sesudah tumbukan serta saat tumbukan dan sesudah tumbukan (Tabel 4.6). 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).

4.2.3 Hasil Simulasi Uji Penetrasi (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

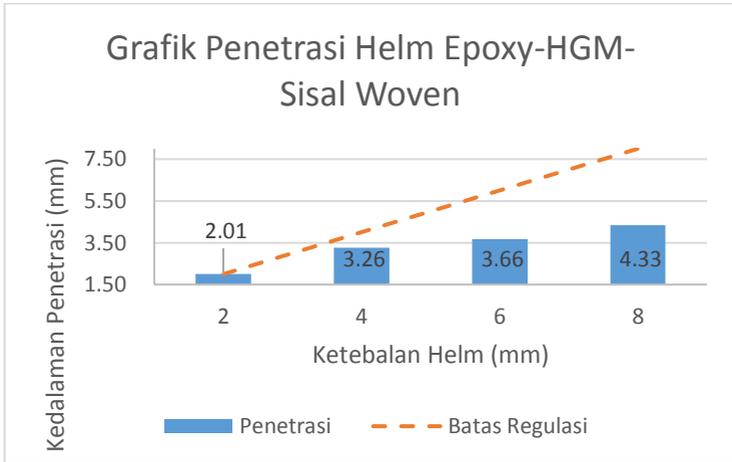
4.2.3.1 Penetrasi (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

Nilai kedalaman penetrasi ditampilkan dalam satuan milimeter (Gambar 4.10) serta persentase kedalaman penetrasi terhadap ketebalan sungkup helm (Gambar 4.11).

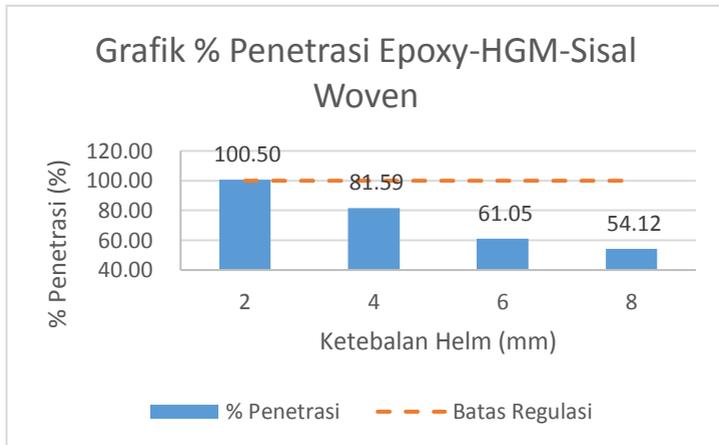
Besarnya penetrasi naik sebanding dengan penambahan ketebalan sungkup. Nilai penetrasi terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 2 mm sebesar 2.01 mm sedangkan, nilai tertinggi terjadi pada sungkup dengan ketebalan 8mm sebesar 4.33 mm (Gambar 4.10).

Nilai presentase penetrasi mengalami penurunan seiring dengan penambahan ketebalan sungkup. Hal ini dikarenakan kekuatan sungkup dalam menahan penetrasi merupakan fungsi ketebalan. Semakin tebal material maka ketahanan material dalam menahan penetrasi akan meningkat.

Sungkup helm dengan ketebalan 2 mm tidak lolos uji penetrasi sesuai SNI 1811-2007. Hal ini dikarenakan besarnya presentasi penetrasi melebihi 100% yaitu sebesar 100.05%. Sedangkan sungkup 4 mm, 6 mm dan 8 mm lolos uji penetrasi sesuai dengan SNI 1811-2007.



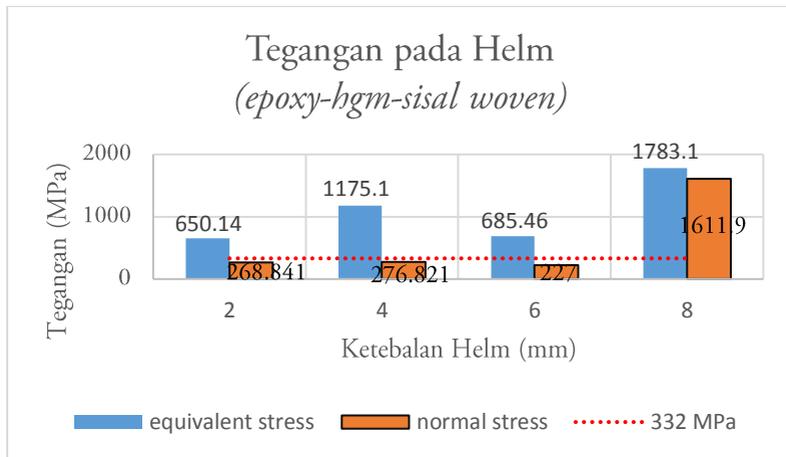
Gambar 4.10 Penetrasi Sungkup Helm (dalam mm)



Gambar 4.11 Penetrasi Sungkup Helm (dalam %)

4.2.3.2 Tegangan dan Regangan Akibat Penetrasi (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

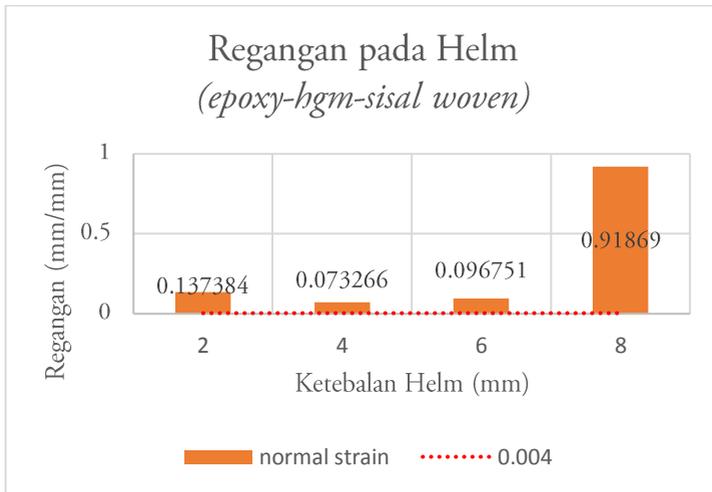
Nilai tegangan dan regangan berturut-turut ditampilkan dalam satuan MPa dan mm/mm (Gambar 4.12 dan Gambar 4.13).



Gambar 4.12 Tegangan pada Sungkup Akibat Penetrasi (MPa)

Sesuai gambar 4.12 besarnya tegangan cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup. Tegangan normal yang terjadi memiliki nilai mendekati nilai UTS bahkan, untuk nilai tegangan equivalent memiliki nilai melebihi nilai UTS 322 MPa, hal ini menunjukkan bahwa material yang diuji mengalami deformasi plastis.

Deformasi plastis yang terjadi juga bisa dilihat dari gambar 4.13, regangan yang terjadi pada semua sungkup helm memiliki nilai diatas nilai tegangan elastis material. Regangan yang terjadi pada sungkup terdiri atas regangan akibat penetrasi dan defleksi pada titik tumbukan antara sungkup dan pemukul.



Gambar 4.13 Regangan pada Sungkup Akibat Penetrasi

4.2.4 Hasil Simulasi Uji Penyerapan Kejut (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

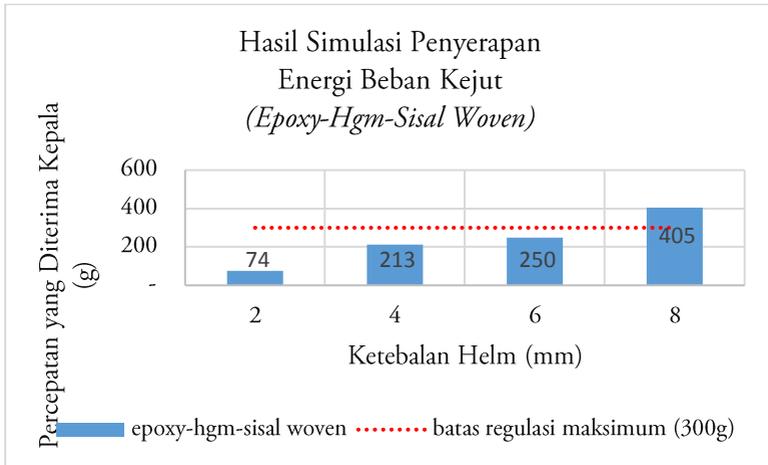
4.2.4.1 Percepatan yang Dialami oleh Pola Kepala Uji (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

Nilai percepatan pola kepala uji dikonversi dari Satuan Internasional (SI – m/s^2) ke dalam satuan g (Gambar 4.14).

Mengacu pada SNI 1811 – 2007, percepatan yang dialami oleh pola kepala uji harus tidak lebih dari 300 g. Jika percepatan yang dialami melebihi 300 g, helm dinyatakan tidak lolos uji penyerapan kejut SNI 1811 – 2007. Satuan g merupakan satuan percepatan dalam gravitasi dimana g sama dengan $9.81 m/s^2$.

Selain dari nilai percepatan yang diterima kepala, sungkup helm tidak diperbolehkan mengalami perubahan bentuk permanen-deformasi plastis. Mengacu pada Gambar 4.14, sungkup dengan ketebalan 2 mm 4 mm dan 6 mm, telah memenuhi SNI 1811 – 2007 dengan percepatan pola kepala uji di bawah 300 g. Sedangkan sungkup helm dengan ketebalan 8 mm memiliki nilai percepatan lebih dari 300g. Percepatan pola kepala uji terbesar terjadi pada

sungkup dengan ketebalan 8 mm sebesar 405 g. Oleh sebab itu, sungkup helm 8 mm tidak lolos uji SNI 1811-2007 untuk kriteria penyerapan beban kejut.



Gambar 4.14 Percepatan yang Dialami Pola Kepala Uji (dalam g)

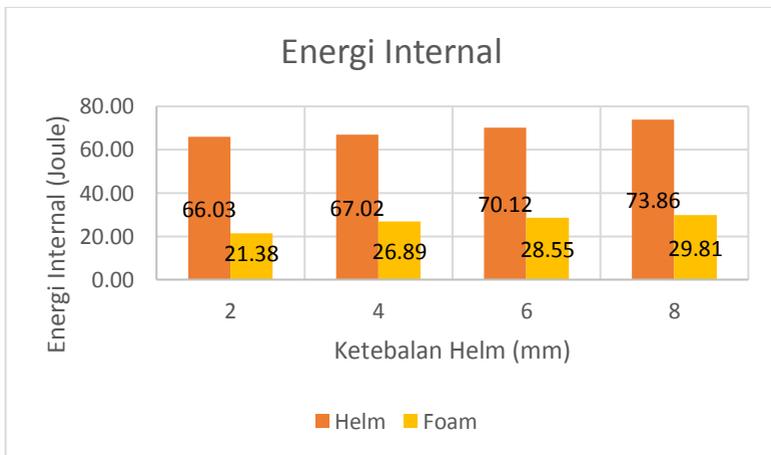
Kenaikan nilai percepatan pola kepala uji disebabkan karena kemampuan serap energi impact pada sungkup tidak mampu menyerap seluruh energi yang diterima. Sehingga, energi sisa yang ada akan disalurkan ke foam yang kemudian akan diteruskan kepada kepala uji. Jika energi yang disalurkan dari sungkup helm dan foam menuju kepala uji memiliki nilai yang tinggi maka, pola kepala uji akan mengalami percepatan yang tinggi juga.

4.2.4.2 Penyerapan Energi (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

Besarnya energi pada masing – masing komponen uji pada saat tumbukan dalam satuan Joule ditampilkan pada tabel 4.7, gambar 4.15 dan gambar 4.16.

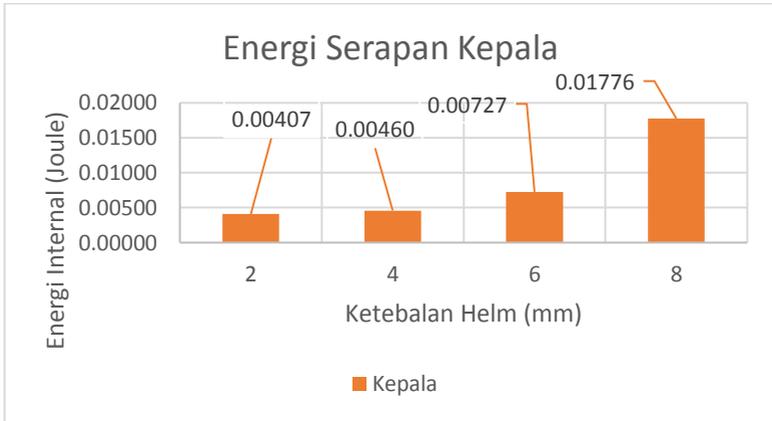
Tabel 4.7 Energi Internal yang Timbul pada Uji Penyerapan Kejut

Ketebalan	Energi Internal (Joule)				
	Kepala	Foam	Helm	Anvil	Total
2	0.00407	21.38	66.03	0.02	87.44
4	0.00460	26.89	67.02	0.05	93.96
6	0.00727	28.55	70.12	0.11	98.79
8	0.01776	29.81	73.86	0.13	103.81



Gambar 4.15 Energi Internal Helm (Epoxy-HGM-Sisal Woven) dan Foam

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.



Gambar 4.16 Energi Internal yang Diterima oleh Kepala

Tabel 4.5, gambar 4.15 dan gambar 4.16 menunjukkan, besarnya energi internal pada sungkup, foam dan model kepala pada saat terjadi tumbukan memiliki kecenderungan naik seiring dengan penambahan ketebalan sungkup.

Grafik pada gambar 4.15 menunjukkan, peningkatan energi internal sungkup sampai ketebalan 6 mm kemudian menurun pada ketebalan 8 mm. Energi internal foam mengalami peningkatan seiring dengan penambahan ketebalan sungkup. Sementara itu, energi internal yang diterima oleh pola kepala uji meningkat seiring dengan penambahan ketebalan sungkup.

Energi internal terbesar terjadi pada sungkup dengan ketebalan 6 mm dengan nilai sebesar 60.673 Joule. Energi internal terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 2 mm dengan nilai sebesar 133.241 Joule. Energi internal yang diterima foam tertinggi terjadi pada sungkup dengan ketebalan 8 mm dengan nilai 38.324 Joule. Sedangkan, energi internal foam terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 2 mm sebesar 10.761 Joule.

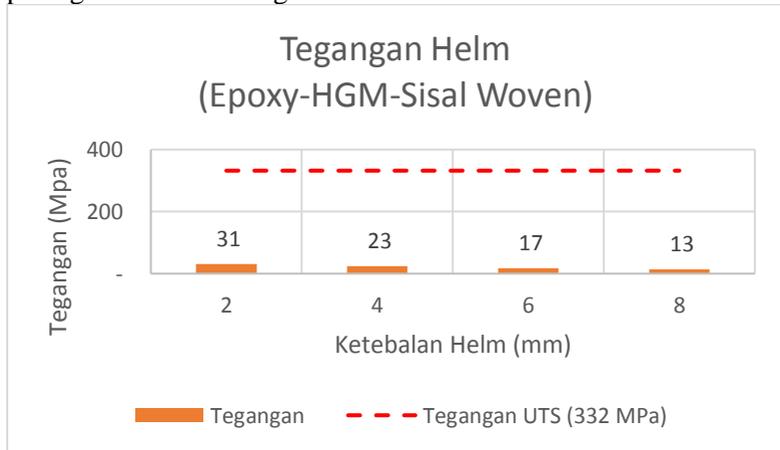
Nilai energi internal yang diterima oleh pola kepala uji mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan ketebalan sungkup. Nilai energi internal terbesar yang diterima oleh pola kepala uji

pada sungkup dengan ketebalan 8 mm memiliki nilai sebesar 0.01807 joule. Sedangkan nilai energi internal pada pola kepala uji terendah terjadi pada sungkup dengan ketebalan 2 mm memiliki nilai sebesar 0.00205 joule

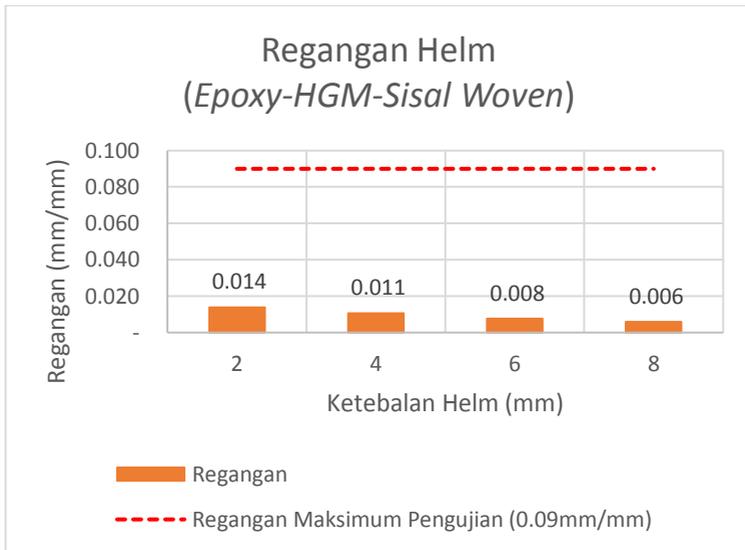
Gambar 4.15 dan gambar 4.16 menunjukkan besarnya energi internal sungkup semakin naik seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup. Sebelum diterima oleh pola kepala uji, energi diserap oleh sungkup dan foam. Besarnya energi yang ditunjukkan pada gambar 4.15 dan gambar 4.16 hanya menunjukkan besar energi yang diterima material bukan besarnya energi yang diserap.

4.2.4.3 Tegangan dan Regangan Akibat Beban Kejut (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

Besarnya tegangan dan regangan yang terjadi pada sungkup helm pada saat uji penyerapan beban kejut ditampilkan pada gambar 4.17 dan gambar 4.18.



Gambar 4.17 Tegangan pada Sungkup *Epoxy – HGM – Sisal Woven* (Uji Penyerapan Kejut)



Gambar 4.18 Regangan pada Sungkup Akibat Beban Kejut

Selain dari nilai percepatan yang diterima kepala sungkup helm tidak diperbolehkan mengalami perubahan bentuk secara permanen-deformasi plastis. Mengacu pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18, besarnya tegangan dan regangan berubah-ubah seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup *epoxy-HGM-Sisal Woven*

Ditinjau dari nilai tegangan dan *Ultimate Tensile Strength (UTS)*, semua sungkup memiliki nilai dibawah nilai UTS. Hal ini menunjukkan bahwa semua sungkup mengalami deformasi elastis. Sehingga semua sungkup tidak mengalami kerusakan secara permanen.

4.2.4.4 Konservasi Energi (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

Energi total yang bekerja pada elemen ditampilkan dalam satuan Joule (Tabel 4.8).

Tabel 4.8 Konservasi Energi (*Epoxy-HGM-Sisal Woven*)

Helm (mm)	Energy Total (Joule)			Elastic Strain Energy	Thermal Energy
	Sebelum	Tumbukan	Sesudah		
2	94.164	87.436	93.86599	6.728	0.298
4	98.831	93.963	98.53098	4.868	0.300
6	103.560	98.791	103.24870	4.769	0.311
8	108.520	103.814	108.14111	4.706	0.379

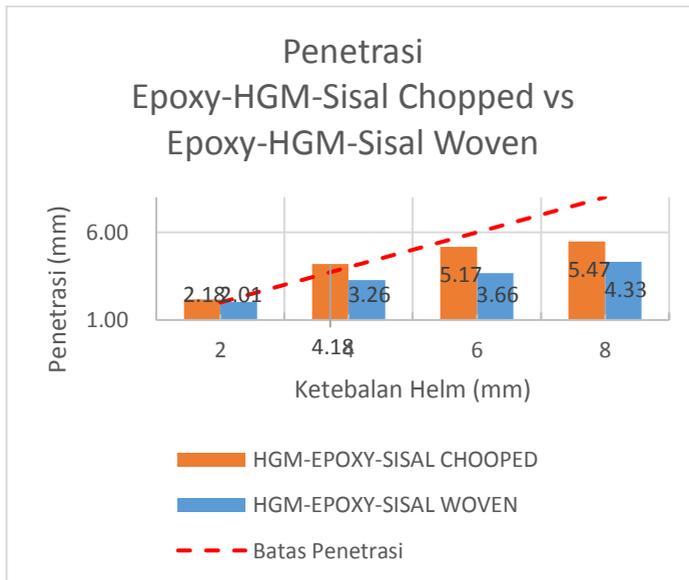
Setelah dilakukan simulasi uji penyerapan kejut didapatkan energi total dan temperatur pada masing – masing elemen uji (Tabel 4.8). Sesuai dengan hukum kekekalan energi, dimana energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi total sebelum dan sesudah tumbukan seharusnya memiliki nilai yang sama (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 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 Pemilihan Sungkup Helm

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. Untuk mendapatkan konfigurasi terbaik maka perlu adanya perbandingan dari berbagai

aspek. Berikut adalah beberapa kriteria perbandingan yang menjadi dasar pemilihan konfigurasi helm.

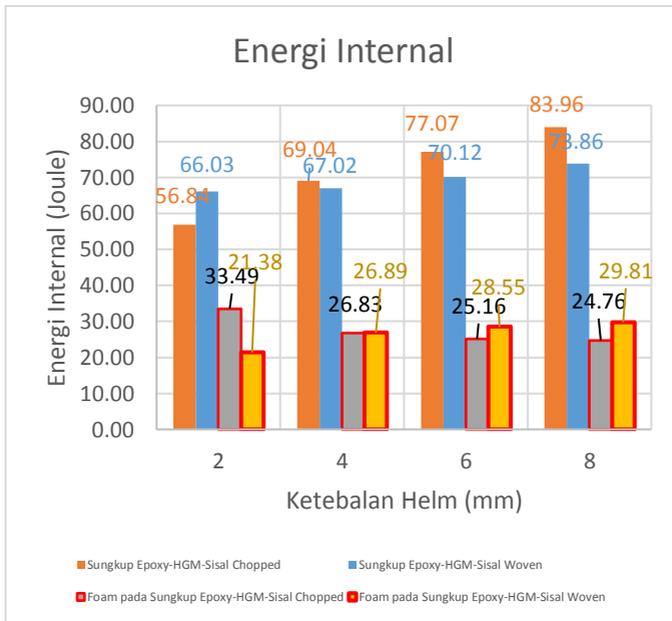


Gambar 4.19 Grafik Penetrasi Epoxy-HGM-Sisal Chopped vs Epoxy-HGM-Sisal Woven

Gambar 4.19 menunjukkan sungkup epoxy-HGM-sisal chopped dan sungkup epoxy-HGM-sisal woven mengalami peningkatan kedalaman penetrasi seiring dengan bertambahnya ketebalan sungkup. Besarnya penetrasi sungkup epoxy-HGM-sisal chopped memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan nilai penetrasi sungkup epoxy-HGM-sisal woven. Sungkup epoxy-HGM-sisal chopped lolos kriteria pengujian penetrasi SNI 1811-2007 pada ketebalan 6 mm dan 8 mm. Sedangkan material epoxy-HGM-sisal woven lolos uji penetrasi pada ketebalan 4mm, 6mm, dan 8 mm.

Hal ini menunjukkan bahwa material epoxy-HGM-sisal woven lebih baik dalam menahan penetrasi. Material epoxy-HGM-

sisal woven memiliki UTS sebesar 332 Mpa sedangkan material epoxy-HGM-sisal chopped memiliki UTS sebesar 68.55 MPa. Nilai UTS tersebut yang menjadi faktor utama material epoxy-HGM-sisal woven memiliki kemampuan menahan penetrasi lebih baik daripada material epoxy-HGM-sisal chopped.



Gambar 4. 20 Grafik Energi Internal Epoxy-HGM-Sisal Chopped vs Epoxy-HGM-Sisal Woven

Gambar 4.20 memperlihatkan besarnya energi internal dari sungkup dan foam pada saat pengujian penyerapan energi kejut. Besarnya energi internal sungkup dari kedua jenis material memiliki kecenderungan yang sama. Besarnya energi internal pada sungkup mengalami kecenderungan naik seiring dengan kenaikan ketebalan sungkup. Sedangkan besarnya energi internal foam untuk kedua sungkup memiliki kecenderungan yang berbeda. Besarnya energi internal foam pada sungkup epoxy-HGM-sisal

chopped mengalami penurunan sedangkan foam sungkup epoxy-HGM-sisal woven mengalami kenaikan seiring dengan pertambahan ketebalan sungkup.

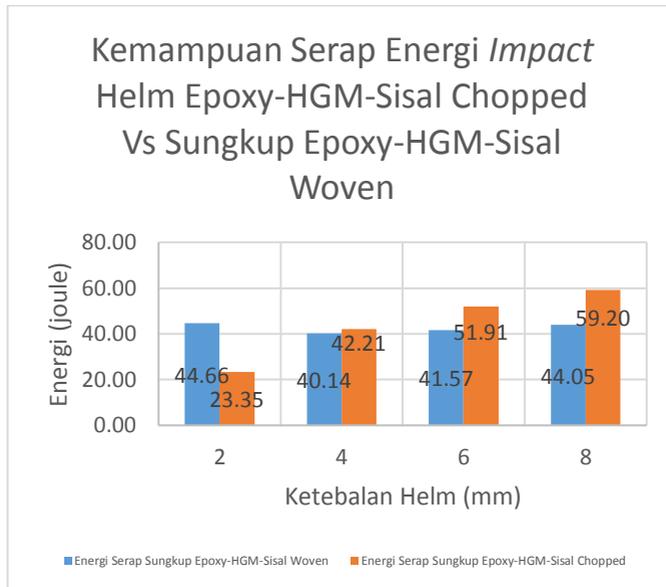
Hal ini dikarenakan tingkat kekuatan material yang berbeda, material epoxy-HGM-sisal woven memiliki kekuatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan epoxy-HGM-sisal chopped dengan besar UTS secara berturut-turut 332 MPa dan 68.55 MPa. Selain UTS factor lain yang mempengaruhi hal ini adalah nilai modulus young dari material. Nilai modulus young epoxy-HGM-sisal Chopped sebesar 567.02 MPa sedangkan material epoxy-HGM-sisal woven sebesar 2304 MPa.

Besarnya energi yang diserap oleh sungkup dapat dilihat dari selisih energi internal antara sungkup dengan foam. Semakin besar selisih energi internal sungkup dengan foam maka besarnya energi yang diserap oleh sungkup akan semakin besar.

Besarnya energi yang diserap oleh sungkup dapat dilihat dari selisih energi internal sungkup dengan energi internal foam. Besarnya energi yang dapat diserap oleh sungkup dapat dilihat pada gambar 4.21.

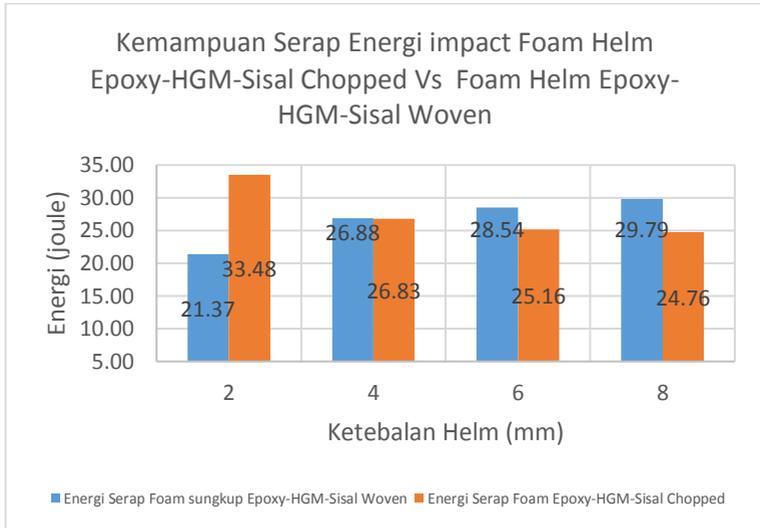
Gambar 4.21 menunjukkan karakteristik kedua jenis sungkup dalam menyerap energi *impact*. Untuk sungkup helm Epoxy-HGM-Chopped semakin tebal sungkup maka, semakin besar energi yang dapat diserap oleh sungkup. Sedangkan sungkup helm epoxy-HGM-sisal woven memiliki kemampuan serap energi *impact* yang relative konstan. Besarnya energi *impact* yang dapat diserap memiliki kecenderungan tetap berkisar antara 40 mm sampai dengan 44 mm.

Kemampuan menyerap energi *impact* yang dimiliki oleh sungkup epoxy-HGM-sisal chopped akan semakin baik seiring dengan bertambahnya ketebalan helm. Sedangkan sungkup epoxy-HGM-sisal woven kemampuan menyerap energinya relative konstan tidak terpengaruh oleh ketebalan helm.

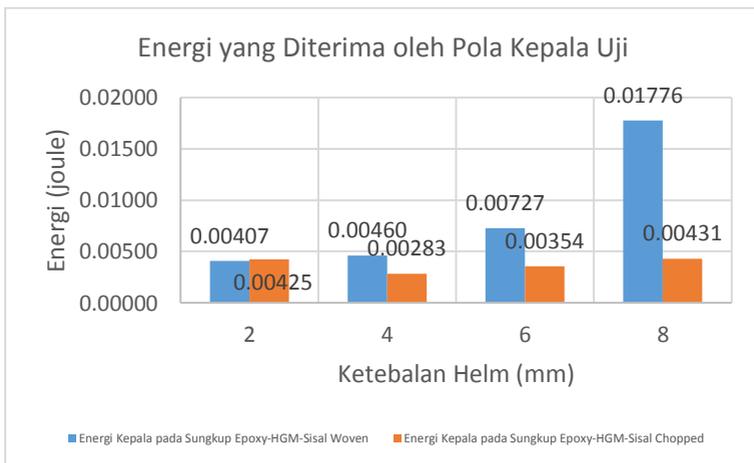


Gambar 4.21 Grafik serapan energi *impact* helm Epoxy-HGM-Sisal Chopped Vs helm Epoxy-HGM-Sisal Woven

Sisa energi yang tidak terserap oleh sungkup akan diterima oleh foam. Besarnya energi yang dapat diserap oleh foam ditunjukkan pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Kemampuan serap energi *impact* foam helm epoxy-HGM-sisal chopped Vs epoxy-HGM-sisal woven

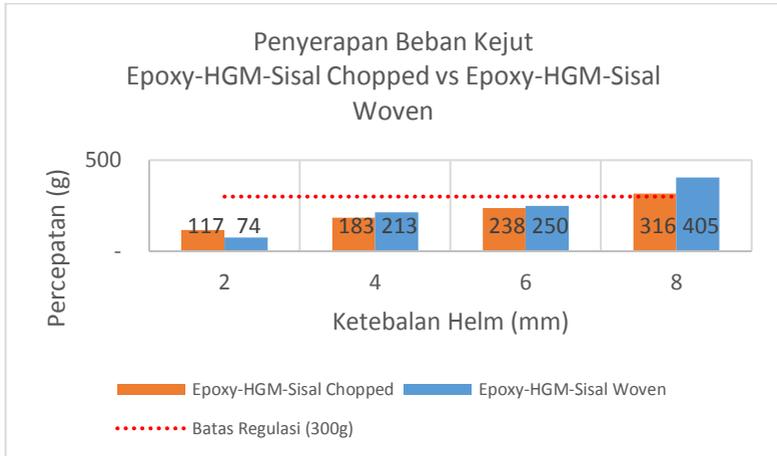


Gambar 4.23 Energi yang Diterima oleh Pola Kepala Uji Sungkup Helm Epoxy-HGM-Sisal Chopped Vs Pola Kepala Uji Sungkup Helm Epoxy-HGM-Sisal Woven

Besarnya energi yang diserap oleh sungkup epoxy-HGM-sisal woven memiliki kecenderungan konstan walaupun sungkup bertambah tebal. Dengan bertambahnya ketebalan sungkup helm maka masa benda akan semakin besar. Bertambahnya masa akan menambah besarnya total energi yang dimiliki oleh helm. Hal ini mengakibatkan energi yang diserap oleh foam dan model kepala mengalami kenaikan-walaupun foam memiliki kecenderungan menyerap energi semakin besar seiring dengan bertambahnya ketebalan helm-.

Sedangkan pada sungkup epoxy-HGM-sisal chopped energi yang diterima dan diserap oleh foam akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan helm. Karakteristik ini menyebabkan energi yang diterima oleh model kepala relatif konstan. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan serap energi *impact* pada helm epoxy-HGM-sisal chopped lebih baik daripada helm epoxy-HGM-sisal woven.

Karakteristik penyerapan energi sesuai dengan gambar 4.20, 4.21, 4.22, dan 4.23 sangat mempengaruhi hasil dari percepatan yang diterima oleh kepala uji. Sesuai gambar 4.24 menunjukkan bahwa model kepala pada sungkup epoxy-HGM-sisal chopped menerima percepatan lebih kecil daripada pada epoxy-HGM-sisal woven.



Gambar 4.24 Grafik Penyerapan Beban Kejut Epoxy-HGM-Sisal Chopped vs Epoxy-HGM-Sisal Woven

Sesuai dengan regulasi SNI 1811-2007 serta berbagai kriteria tambahan dapat ditunjukkan perbandingan kedua sungkup pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Perbandingan sungkup helm Epoxy-HGM-Sisal Woven Vs Epoxy-HGM-Sisal Chopped

Ketebalan (mm)	Epoxy-HGM-Sisal Chopped			Epoxy-HGM-Sisal Woven		
	Penetrasi (mm)	Percepatan Pola Kepala Uji (g)	Kemampuan Serap Energi Impact Helm (Joule)	Penetrasi (mm)	Percepatan Pola Kepala Uji (g)	Kemampuan Serap Energi Impact Helm (Joule)
2	2.18	117	23.4	2.18	74	44.7
4	4.18	183	42.2	3.26	213	40.1
6	5.17	238	51.9	3.66	250	41.6
8	5.47	316	59.2	4.33	405	44.0

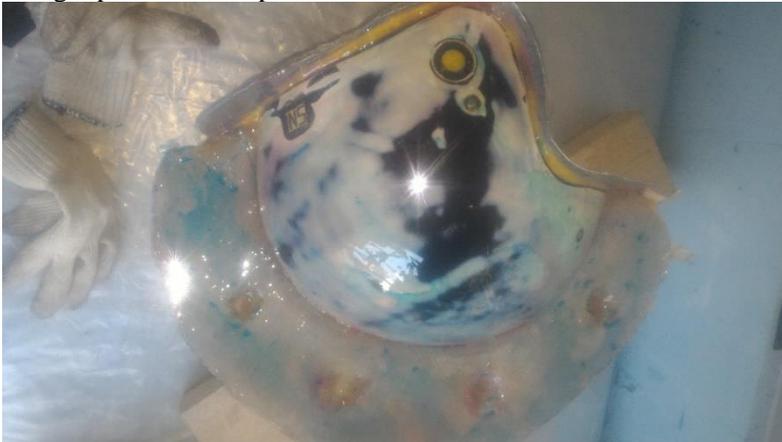
Sesuai dengan regulasi SNI 1811-2007 serta pertimbangan ergonomis maka dipilih sungkup helm dengan bahan Epoxy-HGM-Sisal Woven dengan ketebalan 4 mm.

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 4.25 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 4.26 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 4.27 Proses Pelepasan Helm dari Cetakan



Gambar 4.28 *Prototype* Sungkup Helm

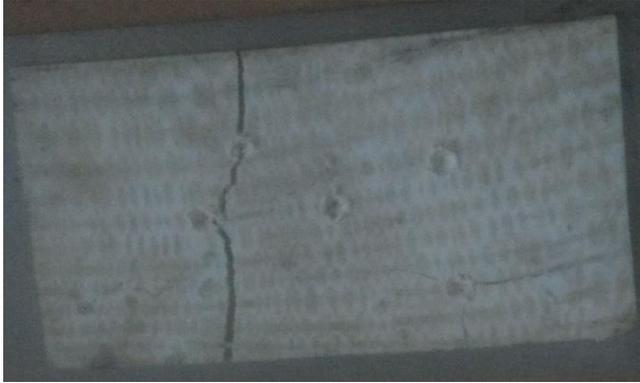
4.4.4 Pengujian Penetrasi

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



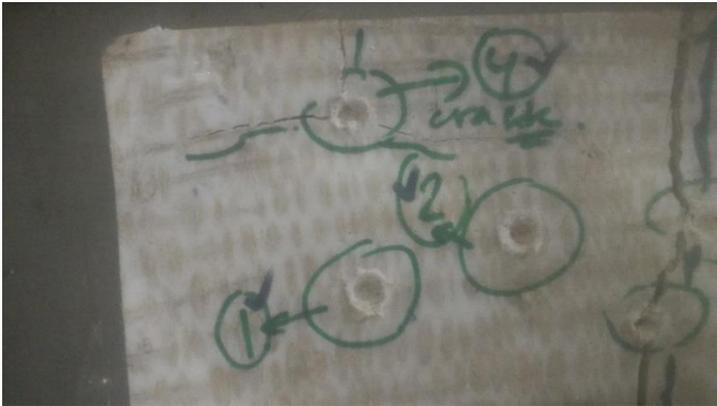
Gambar 4.29 Alat uji penetrasi

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. Pengujian penetrasi dalam penelitian ini menggunakan spesimen uji berbentuk persegi panjang. Hal ini dikarenakan hasil *prototype* yang ada memiliki ketebalan yang tidak sama-karena kesalahan *manufactur*. Setelah paku pemukul dijatuhkan, didapatkan titik-titik yang terpenetrasi oleh paku pemukul (Gambar 4.30). Selanjutnya, dilakukan analisa hasil pengujian.



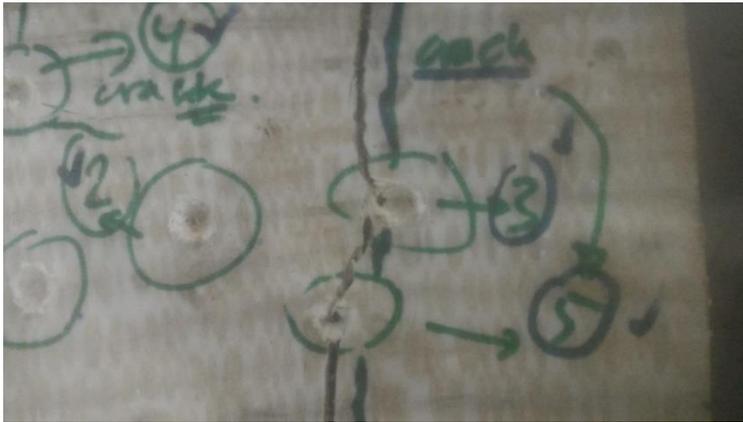
Gambar 4.30 Spesimen uji yang terindentasi

Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali, dari 5 kali pengujian material uji (spesimen uji) tidak tertembus oleh paku pemukul. Pada titik penetrasi 4 spesimen uji mengalami *crack* yang disebabkan oleh letak titik penetrasi yang sangat dekat dengan bibir spesimen.



Gambar 4.31 Hasil Uji Penetrasi pada Titik 1, Titik 2 dan Titik 3

Pada titik penetrasi 5 spesimen uji mengalami *crack* yang disebabkan oleh, letak titik penetrasi yang sangat dekat dengan titik penetrasi ke 3.



Gambar 4.32 Hasil Uji Penetrasi pada Titik 3 dan Titik 5

Selain akibat jarak titik penetrasi terlalu dekat dengan tepi spesimen, retakan terjadi diakibatkan oleh sifat material yang getas, serta kontur spesimen yang tidak merata yang dapat menyebabkan konsentrasi tegangan pada saat proses penetrasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Dari hasil simulasi didapatkan konfigurasi sungkup helm 4 mm berbahan epoxy-HGM-sisal woven dengan massa 551,54 gram lolos uji penetrasi dan penyerapan beban kejut sesuai dengan SNI 1811-2007. Setelah dilakukan pembuatan *prototype* dan pengujian penetrasi didapatkan helm epoxy-HGM-sisal woven dengan ketebalan 4 mm dan massa 894.8 gram lolos uji penetrasi.
2. Setelah dilakukan pengujian, spesimen uji lolos uji penetrasi. Pengujian penetrasi menghasilkan 5 titik indentasi yang tidak tembus oleh indenter. Namun 2 dari 5 titik indentasi mengalami *crack*. *Crack* yang terjadi pada saat pengujian penetrasi disebabkan oleh letak titik indentasi yang saling berdekatan serta kontur spesimen yang tidak merata sehingga, menyebabkan konsentrasi tegangan.
3. Berdasarkan hasil simulasi sungkup helm epoxy-HGM-sisal woven memiliki kemampuan lebih baik dalam menahan penetrasi dibandingkan dengan epoxy-HGM-sisal chopped. Sungkup helm epoxy-HGM-sisal woven lolos uji penetrasi pada ketebalan 4 mm, 6 mm dan 8 mm dengan presentasi indentasi secara berturut-turut 81,59%, 61,05% dan 54,12%. Sedangkan sungkup helm epoxy-HGM-sisal chopped lolos uji penetrasi pada ketebalan 6 mm dan 8 mm dengan nilai indentasi dalam % berturut-turut 86,19% dan 68,38%. Hal ini disebabkan oleh kekuatan epoxy-HGM-sisal woven memiliki kekuatan yang lebih besar dari epoxy-HGM sisal chopped dengan nilai UTS berturut-turut 322 MPa dan 68,55 MPa.

4. Berdasarkan hasil simulasi, percepatan pola kepala uji sungkup epoxy-HGM-sisal woven memiliki kecenderungan naik secara drastis dibandingkan dengan percepatan yang dialami pola kepala uji sungkup epoxy-HGM-sisal chopped. Nilai percepatan pola kepala uji sungkup epoxy-HGM-sisal woven dengan variasi ketebalan 2 mm, 4 mm, 6 mm dan 8 mm secara berturut-turut 74 g, 213 g, 250 g dan 405 g sedangkan percepatan pola kepala uji sungkup epoxy-HGM-sisal chopped dengan variasi ketebalan yang sama secara berturut-turut 117 g, 183 g, 238 g, dan 316 g. Untuk kedua jenis material epoxy-HGM-sisal woven dan Epoxy-HGM-sisal chopped pada ketebalan 2 mm, 4 mm dan 6 mm lolos uji penyerapan beban kejut SNI 1811-2007.
5. Sungkup helm epoxy-HGM-sisal woven memiliki kemampuan penyerapan energi *impact* yang relative konstan dengan nilai serapan energi berkisar antar 40 joule sampai dengan 44 joule pada variasi ketebalan sungkup 2 mm, 4 mm, 6 mm dan 8 mm. Kemampuan serap energi yang tidak terpengaruh oleh ketebalan sungkup ini, menyebabkan terjadinya peningkatan energi yang diterima oleh kepala seiring dengan bertambahnya massa pada ketebalan yang lebih tinggi. Sehingga, besarnya percepatan pada model kepala mengalami kenaikan signifikan pada variasi ketebalan sungkup 2mm, 4mm, 6mm dan 8mm.
6. Sedangkan sungkup epoxy-HGM-sisal chopped, besar serapan energinya akan bertambah tinggi seiring dengan bertambahnya ketebalan helm. Besarnya energi serapan pada variasi ketebalan 2 mm, 4 mm, 6 mm dan 8 mm secara berturut-turut 23,4 joule, 42,2 joule, 51,9 joule, dan 59,2 joule. Oleh karena itu, besarnya percepatan pada model kepala mengalami kenaikan yang tidak significant pada

variasi ketebalan sungkup 2mm, 4mm, 6mm dan 8mm.

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).

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, Hindun. 2014. *Pengaruh Komposit Epoxy-HGM pada Bumper Kendaraan untuk Mereduksi energi Impact*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- COST 2001. *European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research Final Report*. European Commission, Directorate General for Energy and Transport. Luxemburg.
- 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 Royal Institute of Technology. Huddinge, Sweden.
- Korlantas Polri. 2017. *Data Kecelakaan Lalu-lintas 2017*. POLRI. Jakarta.
- M, Kumaresan¹., S, Sathish²., N, Karthi³. 2015. *Effect of Fiber Orientation on Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Epoxy Composites*. ¹Kalaignarkarunanidhi Institute of Technology, Coimbatore 641402, India. ²KPR Institute of Engineering and Technology, Coimbatore 641407, India. ³Sri Krishna College of Technology, Coimbatore 641042, India.
- Safa'at, Ahmat. 2017. *Aplikasi Komposit Epoxy-HGM-Carbon Fibre pada Sungkup Helm untuk Menahan Penetrasi dan Mereduksi Energi Impact*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sekaran, A shadrach Jeya¹⁻²., Kumar, K Palani³., Pitchandi, K⁴. 2015. *Evaluation on Mechanical Properties of Woven Aloe vera and Sisal Fibre Hybrid Reinforced Epoxy composites*. ¹Anna University, Chennai 600 025, India. ²Department of Mechanical engineering, St. Peter's College of Engineering and Technology, Chennai 600 054, India. ³Department of Mechanical Engineering, Sri Sai Ram

Institute of Technology, West Tambaram, chennai 600 044, India.⁴Department of Mechanical Engineering, Sri Venkateswara College of Engineering, Sriperumbudur, Chennai 602 107, India.

- Surata, I Wayan., Lokantara, I Putu., Arimbawa, Ade Putra. 2016. *Studi Sifat Komposit Epoxy Berpenguat Serat Sisal Orientasi Acak yang Dicitak dengan Teknik Hand-Lay Up*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana. Bali.
- NHTSA. 2014. *Traffict Safety Facts 2013 Motor Vehicle Crashes*. National Highway Traffic Safety Administrasion. USA
- Badan Standarisasi Nasional. 2007. *Standar Nasional Indonesia 1811-2007*. Indonesia.
- Perkasa, M 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. Indonesia.
- Badan Pusat Statistik. 2015. *Data Jumlah Kendaraan Bermotor di Indonesia 2015*. Badan Pusat Statistik. Indonesia.
- Berata, Wajan., Sutikno., Safa'at, Ahmat., Nugroho, Joko Ade. 2017. *Multiple Reinforcements Composites as a Lightweight Helm Material in Order to Absorb Impact Energy due to Collision*. Department of Mechanical Engineering Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

PENULIS



Lahir di Purworejo, 19 Juni 1994 oleh Bapak Puryanto dan Ibu Linawati, penulis diberi nama “**Joko Ade Nugroho**”. Penulis memiliki adik perempuan Nana Dwi Yani. Sebelum menempuh Pendidikan di Teknik Mesin ITS, penulis pernah menempuh pendidikan formal di TK Cempaka Sari Desa Bocor, SDN 1 Bocor, SMPN 1 Buluspesantren, dan SMAN 1 Kebumen.

Selama 5 tahun menempuh Pendidikan di Teknik Mesin ITS penulis pernah aktif di Mesin ITS Autosport sebagai staff ahli *public relation*. Selain aktif di organisasi kemahasiswaan penulis juga pernah menjadi kepala divisi *vehicle dynamic* di ITS Team Sapuangin.

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana penulis menempuh Tugas Akhir dibawah bimbingan Dr. Eng. Sutikno, ST, MT. Penulis dapat dihubungi melalui email : jokoadenugroho@gmail.com dan wa : 085607027455