

**KAJI EKSPERIMENTAL MATERIAL KOMPOSIT
BERPENGUAT LIMBAH FILTER ROKOK SEBAGAI
BAHAN ALTERNATIF PEMBUATAN CANGKANG
HELM**

*Experimental study of cigarette waste strengthening composite materials as an
alternative material for helmet shell making*

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan

Diploma IV Program Studi Teknik Mesin Dan Manufaktur

Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Diah Mayleni

1041740



POLITEKNIK MANUFaktur NEGERI

BANGKA BELITUNG

2021

**KAJI EKSPERIMENTAL MATERIAL KOMPOSIT
BERPENGUAT LIMBAH FILTER ROKOK SEBAGAI
BAHAN ALTERNATIF PEMBUATAN CANGKANG
HELM**

*Experimental study of cigarette waste strengthening composite materials as an
alternative material for helmet shell making*

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan

Diploma IV Program Studi Teknik Mesin Dan Manufaktur

Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Diah Mayleni

1041740



POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI

BANGKA BELITUNG

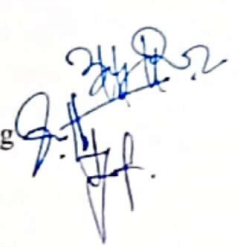
2021

**KAJI EKSPERIMENTAL MATERIAL KOMPOSIT
BERPENGUAT LIMBAH FILTER ROKOK SEBAGAI
BAHAN ALTERNATIF PEMBUATAN CANGKANG
HELM**

Penulis :
Diah Mayleni
NPM : 1041740

Penguji :

1. Ketua : Boy Rollastin, S.Tr., M.T
2. Anggota : Pristiansyah, S.S.T., M.Eng
3. Anggota : Zulfitriyanto, S.S.T., M.T



Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 25 Februari 2021
Dan disahkan sesuai dengan ketentuan

Pembimbing Utama,



Boy Rollastin, S.Tr., M.T

NIDN : 0030128303

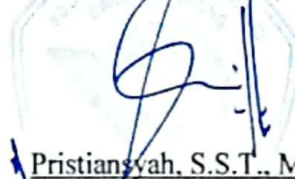
Pembimbing Pendamping,



Masdani, S.S.T., M.T

NIDN : 0208107301

Ketua Jurusan,



Pristiansyah, S.S.T., M.Eng

NIDN : 0024018802

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Waktu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu. (HR. Muslim)
2. Allah tidak akan membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya. (Al-Baqarah : 286)
3. Tidak ada eksperimen yang membuktikan aku benar, namun sebaliknya sebuah eksperimen saja bisa membuktikan aku salah. (Albert Einstein)
4. *Those that can, do. Those that can't, complain.* (Linus Torvalds)

PERSEMBAHAN

Makalah ini kupersembahkan dengan segenap rasa kepada :

1. Ayah dan Ibunda tercinta yang selama ini sudah menjadi orang tua yang luar biasa yang telah membimbing dan memberi semangat atas segala dukungan, pengorbanan baik moral maupun material, doa yang tulus dan tanpa pamrih untuk keberhasilan penulis. Doa dan ridhamu selalu mengiringi langkahku.
2. Kakakku dan keluargaku tercinta, yang selalu memberikan dorongan, motivasi dan semangat kepada penulis agar cepat menyelesaikan laporan tugas Tugas Akhir ini.
3. Sahabat-sahabat baikku tanpa inspirasi, dorongan, dukungan serta semangat yang telah kalian berikan kepada saya, saya mungkin bukan apa-apa saat ini. Dan juga banyak membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman seperjuanganku Teknik Mesin dan Manufaktur angkatan 2017 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Almamaterku tercinta, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

ABSTRAK

Helm merupakan salah satu alat pelindung keselamatan yang berfungsi untuk melindungi kepala pada saat berkendara agar terhindar dari cedera kepala dan benturan. Bagian helm yang memiliki fungsi penting untuk pelindung keselamatan adalah bagian cangkang. Pemilihan helm material harus bersifat ringan karena helm yang berat akan membuat pengendara lebih cepat lelah. Salah satu pemilihan material alternatif berbahan komposit yang memiliki sifat material yang kuat dan ringan, salah satunya material komposit dengan penguat dari *fiber* dan *fiber glass*. Sama halnya dengan limbah filter rokok yang juga memiliki bahan dasar kapas yang ringan, berpori dan mudah menyerap. Limbah filter rokok atau biasa dikenal dengan puntung rokok merupakan salah satu jenis limbah yang mudah ditemukan di tempat-tempat umum dan hampir diseluruh dunia. Limbah filter rokok adalah limbah yang sulit untuk didaur ulang.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu mulai dari studi literatur untuk mengumpulkan informasi-informasi yang terkait dalam penelitian, proses simulasi dengan menggunakan *software finite element*, pembuatan spesimen uji sesuai dengan standar ISO 179-1, melakukan pengujian uji impak *charpy* untuk mengetahui kekuatan impak dari material tersebut dengan variasi ketebalan berbeda yaitu 3 mm, 4 mm, 5 mm dengan volume serat dan matrik yang sama yaitu HGM 16%, *epoxy* 76.5%, limbah filter rokok 7.5%.

Dari hasil pengujian simulasi semakin besar ketebalan spesimen helm, maka persentase deformasi total yang ditimbulkan akan semakin kecil. Pada ketebalan 3 mm nilai deformasi total yaitu 6.2051 mm, pada ketebalan 4 mm yaitu 6.1333 mm, pada ketebalan 5 mm yaitu 6.1221 mm. Jika dibandingkan dengan nilai tegangan *ultimate* yang dimiliki material komposit *epoxy* HGM yaitu sebesar 121,29 Mpa maka material aman digunakan pada spesimen ketebalan 3 mm, 4 mm, dan 5 mm. Regangan yang timbul akibat pembebanan menunjukkan hasil regangan yang menurun seiring bertambahnya ketebalan spesimen helm. Pada pengujian eksperimen untuk hasil pengujian kekuatan impak dibandingkan dengan hasil pengujian kekuatan impak helm SNI sebesar 0,00972 J/mm² maka spesimen yang dibuat lulus uji material untuk helm SNI dengan rata-rata kekuatan impak paling tinggi pada ketebalan 3 mm yaitu 0.02868 J/mm².

Kata kunci : Material komposit, limbah filter rokok, helm, *software finite element*, kekuatan impak.

ABSTRACT

Helmet is one of the safety protective equipment that functions to protect the head when driving to avoid head injuries and collisions. The part of the helmet that has an important function for safety protection is the shell. Selection of helmet material must be light because a heavy helmet will make the rider tired faster. One of the alternative material choices made of composite which has material properties that are strong and light, one of which is a composite material with fiber and glass fiber reinforcement. Same is the case with cigarette filter waste which also has a cotton base material which is light, porous and easy to absorb. Cigarette filter waste or commonly known as cigarette butts is a type of waste that is easily found in public places and almost all over the world. Cigarette filter waste is waste that is difficult to recycle.

This research consists of several stages, starting from literature studies to collect information related to research, simulation process using finite element software, making test specimens according to ISO 179-1 standard, conducting charpy impact test to determine impact strength. of these materials with different thickness variations, namely 3 mm, 4 mm, 5 mm with the same fiber volume and matrix, namely HGM 16%, epoxy 76.5%, cigarette filter waste 7.5%.

From the simulation test results, the greater the thickness of the helmet specimen, the smaller the percentage of total deformation will be. At 3 mm thickness the total deformation value is 6.2051 mm, at 4 mm thickness is 6.1333 mm, at 5 mm thickness is 6.1221 mm. When compared with the ultimate stress value possessed by the HGM epoxy composite material, which is 121.29 MPa, the material is safe to use on specimens with a thickness of 3 mm, 4 mm, and 5 mm. The strain that occurs due to loading shows that the strain results are decreasing as the thickness of the helmet specimen increases. In the experimental test for the results of the impact strength test compared to the results of the SNI helmet impact strength test of 0.00972 J / mm², the specimens made pass the material test for SNI helmets with the highest average impact strength at a thickness of 3 mm, namely 0.02868 J / mm².

Key words: Composite material, cigarette filter waste, helmet, software finite element, impact strength.

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT. yang telah memberikatkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir ini berjudul **“kaji eksperimental material komposit berpenguat limbah filter rokok sebagai bahan alternatif pembuatan cangkang helm”**. Adapun maksud dan tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari selama penyusunan tugas akhir ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dan memberikan arahan serta membimbing penulis. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Keluarga tercinta, khususnya Ayahanda Ibnu Hajar dan Ibunda Norsitam serta kakak penulis Sudi Hermanto dan adik penulis Ahmad Afkhorri yang selalu memberikan semangat, dukungan moral maupun materil, motivasi dan doanya sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T., selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Utama yang telah berkenan menyediakan waktu untuk membimbing serta mengarahkan dalam penyusunan makalah tugas akhir ini.
3. Bapak Masdani, S.S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah berkenan menyediakan waktu untuk membimbing serta mengarahkan dalam penyusunan makalah tugas akhir ini.
4. Bapak Pristiansyah S.S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung sekaligus dosen penguji dan pembahas tugas akhir. Terima kasih atas nasehat, ilmu, kritik dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak Zulfitriyanto, S.S.T., M.T., selaku dosen penguji serta pembahas tugas akhir. Terima kasih atas nasehat, ilmu, kritik dan saran yang telah diberikan.

6. Seluruh dosen, staf pengajar dan teknisi di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, khususnya pada program studi Teknik Mesin dan Manufaktur yang telah membuka pikiran dan wawasan keilmuan kami.
7. Seluruh pegawai Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Orang-orang terdekat, sahabat-sahabat dan keluarga penulis yang tidak bisa disebut satu-persatu yang selalu ada disisi penulis, memberikan semangat, dukungan, nasihat serta doa dan pengertiannya. Penulis bahkan tidak bisa menjelaskan betapa bersyukur karena memiliki kalian di hidup penulis.
9. Teman-teman seperjuangan, terutama kelas Teknik Mesin dan Manufaktur B (TMM B) yang telah memberikan motivasi, semangat, serta doa dan juga bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi serta dukungannya dalam kelancaran menyelesaikan tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Terima kasih atas semuanya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan atas keterbatasan kemampuan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis sehingga dimungkinkan ada kekeliruan dan kesalahan, baik itu dari segi isi ataupun materi dalam susunan kalimatnya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan guna perbaikan dan pengembangan lebih lanjut.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tujuan dari pembuatan skripsi ini dapat tercapai sesuai dengan yang diharapkan.

Sungailiat, Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Batasan Masalah.....	I-4
1.4 Tujuan.....	I-4
1.5 Sistematika Penulisan.....	I-4
BAB II LANDASAN TEORI	II-1
2.1 Dasar Teori	II-1
2.1.1 Komposit.....	II-1
2.1.2 Limbah Filter Rokok.....	II-6
2.1.3 Hollow Glass Microsphere	II-8
2.1.4 Epoxy.....	II-9
2.1.5 Helm.....	II-10
2.1.6 SNI 1181-2007.....	II-11
2.1.7 Uji Impak	II-12

2.1.7.1	Pengujian Uji Impak Metode <i>charpy</i>	I-13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		III-1
3.1	Metode Penelitian.....	III-1
3.2	Studi Literatur.....	III-2
3.3	Persiapan Alat dan Bahan.....	III-3
3.4	Pembuatan Model Spesimen Uji	III-7
3.5	Langkah – Langkah Pengujian Uji Impak Material Komposit	III-9
3.6	Simulasi Pengujian Material Komposit.....	III-10
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		IV-1
4.1	Data Hasil Penelitian	IV-1
4.2	Model Spesimen Helm <i>Epoxy</i> – HGM – Serat Filter Rokok	IV-2
4.3	Hasil Simulasi.....	IV-2
4.3.1	Hasil simulasi Deformasi Total	IV-3
4.3.2	Hasil Simulasi Tegangan <i>von misses</i>	IV-5
4.3.3	Hasil Simulasi Regangan	IV-7
4.4	Pembahasan Hasil Simulasi.....	IV-9
4.4.1	Hasil Pembahasan Data Simulasi Nilai Deformasi Total	IV-9
4.4.2	Hasil Pembahasan Data Simulasi Tegangan dan Regangan.....	IV-9
4.5	Hasil Pengujian Uji Impak	IV-10
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		V-1
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Experimen penambahan limbah filter rokok pada batu bata.....	I-7
Tabel 2.2	Hasil pengukuran filter rokok pada kondisi normal (bentuk silinder)	II-7
Tabel 2.3	Properties <i>Hollow Glass Microspheres</i> (HGM)	II-9
Tabel 2.4	Properti material.....	II-9
Tabel 2.5	Sifat material <i>termoset</i>	II-10
Tabel 2.6	Kekuatan mekanik helm SNI.....	II-12
Tabel 3. 1	Spesifikasi alat uji impak GOTECH Model GT-7045.....	III-9
Tabel 4. 1	Hasil perhitungan rasio untuk spesimen uji impak	IV-2
Tabel 4. 2	Nilai deformasi total spesimen helm.....	IV-2
Tabel 4.3	Nilai tegangan <i>von mises</i> spesimen helm.....	IV-3
Tabel 4.4	Regangan spesimen helm.....	IV-3
Tabel 4.5	Hasil pengujian impak	IV-11

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Continous fiber composites</i> (I W. Widiarta, 2018)	I-2
Gambar 2.2 <i>Woven fiber composite</i> (I W. Widiarta, 2018)	II-2
Gambar 2.3 <i>Chopped fiber composites</i> (I W. Widiarta, 2018)	II-3
Gambar 2.4 <i>Hybrid composite</i> (I W. Widiarta, 2018).....	II-3
Gambar 2.5 <i>Laminated composites</i> (Huda, 2016).....	II-4
Gambar 2.6 Klasifikasi struktur penyusun komposit (Agus Sabarudin, 2019)...	II-5
Gambar 2.7 Limbah filter rokok	II-6
Gambar 2.8 (a) Mikroskopis <i>selulosa asetate</i> dengan mikroskop digital (b) <i>Selulosa Asetate</i> (Sarani, 2014).....	II-7
Gambar 2.9 a) Helm <i>Full Face</i> , b) Helm <i>Open Half Face</i> , c) Helm <i>Open Face</i> ..	II-10
Gambar 2.10 Iustrasi skematik uji impak <i>charpy</i> (Melsiani Saduk, 2017).....	II-14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian simulasi dan eksperimen	III-2
Gambar 3.2 Timbangan digital	III-4
Gambar 3.3 (a) Cetakan spesimen 4 mm, (b) Cetakan spesimen 5 mm	III-4
Gambar 3.4 Serat filter rokok.....	III-5
Gambar 3. 5 Resin <i>epoxy</i>	III-5
Gambar 3.6 <i>Hollow Glass Microsphere</i> (HGM)	III-6
Gambar 3.7 Katalis.....	III-6
Gambar 3.8 <i>Wax</i>	III-6
Gambar 3.9 Dimensi spesimen uji impak ISO 179-1 (Bagus Tri Mulyo, 2018)III-7	
Gambar 3.10 Proses penyusunan serat ke dalam cetakan	III-8
Gambar 3.11 Campuran material dalam cetakan	III-8
Gambar 3.12 Hasil spesimen pengujian.....	III-9
Gambar 3.13 Hasil spesimen pengujian dengan takikan	III-9
Gambar 3.14 Alat uji impak GOTECH Model GT-7045	III-10
Gambar 3.15 <i>Design</i> geometri model spesimen dan alat uji 3D.....	III-11
Gambar 3.16 Data properti material.....	III-11
Gambar 3.17 Tampilan <i>engineering data</i>	III-12

Gambar 3.18 Langkah proses <i>meshing</i> dan hasil <i>meshing</i>	I-12
Gambar 3.19 Proses pembebanan	III-13
Gambar 3.20 Proses <i>running</i>	III-13
Gambar 4.1 Deformasi total 3 mm.....	IV-3
Gambar 4.2 Deformasi total 4 mm.....	IV-4
Gambar 4.3 Deformasi total 5 mm.....	IV-5
Gambar 4.4 Tegangan <i>von mises</i> 3 mm	IV-5
Gambar 4.5 Tegangan <i>von mises</i> 4 mm	IV-6
Gambar 4.6 Tegangan <i>von mises</i> 5 mm	IV-6
Gambar 4.7 Regangan 3 mm.....	IV-7
Gambar 4.8 Regangan 4 mm.....	IV-8
Gambar 4.9 Regangan 5 mm.....	IV-8
Gambar 4.10 Pengujian uji impak.....	IV-10
Gambar 4.11 Grafik rata-rata kekuatan impak.....	IV-11

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Helm merupakan salah satu alat pelindung keselamatan yang berfungsi untuk melindungi kepala pada saat berkendara agar terhindar dari cedera kepala dan benturan. Pemakaian helm wajib digunakan bagi para pengendara baik pengendara motor maupun sepeda. Hal ini berdasarkan UU No 22 Tahun 2009 tentang Lalu-Lintas dan Angkutan Jalan pasal 57 ayat 1 *juncto* ayat 2. Selain itu, pada pasal 106 ayat 8 menyatakan bahwa helm yang dikenakan harus memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu SNI 1811-2007 (Safa'at, 2017). Dalam hal ini, helm harus memiliki fungsi yang benar yaitu sebagai pelindung keselamatan pengendara sepeda motor dari bahaya cedera kepala apabila terjadi kecelakaan yang mengakibatkan terjadinya benturan kepala dalam batas kemampuan helm tersebut melindungi dan dalam kondisi tertentu (Purwanto, 2016). Bagian helm yang memiliki fungsi penting untuk pelindung keselamatan adalah bagian cangkang. Cangkang helm terbuat dari material yang kuat, tahan benturan dan bukan logam, tidak mudah untuk berubah bentuk serta tahan terhadap pengaruh bahan cairan pembersih (Rollastin, 2018). Bahan helm pada umumnya terbuat dari polimer *polypropylene* (Alaya Fadllu Hadi Mukhammad, 2014). Bahan tersebut memiliki sifat isolasi termal dan listrik yang baik tapi mudah rapuh pada suhu rendah. Disamping ketahanan helm saat terjadi benturan berat dan dimensi helm juga berpengaruh terhadap kenyamanan pengendara, helm yang berat cenderung dapat menyebabkan leher pengendara lebih cepat mengalami kelelahan. Oleh karena itu, pemilihan material helm harus bersifat ringan.

Pada umumnya material komposit merupakan material yang kuat dan ringan. Material komposit merupakan material yang banyak dikembangkan dan penggunaannya telah meluas dalam berbagai sektor industri, rumah tangga dan alat pendukung olahraga (Didi Suryana, 2018). Salah satu pemilihan

material alternatif berbahan komposit yang memiliki sifat material yang kuat dan ringan, salah satunya material komposit dengan penguat dari *fiber* dan *fiber glass*. Sama halnya dengan limbah filter rokok yang juga memiliki bahan dasar kapas yang ringan, berpori dan mudah menyerap (Agata Iwan Candra, 2019). Limbah filter rokok atau biasa dikenal dengan puntung rokok merupakan salah satu jenis limbah yang mudah ditemukan di tempat-tempat umum dan hampir diseluruh dunia. Pada tahun 2018, WHO (*World Health Organization*) meringkas jumlah perokok di dunia sebanyak 1,1 miliar (Md Tareq Rahman, 2020). Di Indonesia, jumlah pengonsumsi rokok cukup tinggi sehingga menghasilkan sampah yang cukup banyak. Dilihat dari jumlahnya, puntung rokok menyumbang 32 persen sampah di pantai, sungai maupun perairan, hal ini berdasarkan salah satu diskusi panel di ajang *15th World Conference on Tobacco or Health*, di *Suntec convention center* Singapura (Amri Aji, 2015).

Permasalahan sampah puntung rokok apabila semakin banyak jumlahnya maka akan berpotensi mencemari lingkungan. Tanpa disadari sampah kecil seperti puntung rokok jika dikumpulkan seluruhnya akan mencapai kurang lebih sekitar 1,2 triliun ton, angka tersebut termasuk angka yang fantastis untuk benda sekecil puntung rokok. Fakta lainnya yang mengejutkan adalah sampah ini tidak sepenuhnya Organik. Campuran antara tembakau dan logam-logam berat yang terkandung di dalamnya dapat membuat polusi pada tanah dan air yang ada di sekitarnya (NW/G15, 2016). Sebagian besar filter rokok terbuat dari *selulosa asetate* yang lambat terurai dan dapat memakan waktu hingga 18 bulan atau lebih untuk terurai dalam kondisi sampah normal. Limbah filter rokok melepaskan berbagai bahan kimia beracun saat kondisinya memburuk. Bahan kimia beracun yang terperangkap dilimbah filter rokok dapat larut dan menyebabkan kerusakan lingkungan yang serius. Ada hingga 4000 komponen kimia dalam asap rokok, 3000 di antaranya berada dalam fase gas dan 1000 di fase tar. Penimbunan dan pembakaran limbah filter rokok bukanlah metode pembuangan yang berkelanjutan secara universal atau ekonomis. Mendaur ulang limbah filter

rokok sulit karena tidak ada mekanisme atau prosedur yang mudah untuk memastikan pemisahan limbah yang efisien dan ekonomis serta perlakuan yang tepat dari bahan kimia yang terperangkap (M. Gokulnath, 2019). Mengatasi permasalahan tersebut diadakannya material baru untuk kebutuhan industri khususnya industri plastik. Sedangkan kedepannya material plastik/bahan baku plastik sangat banyak dibutuhkan sebagai komponen penunjang rumah tangga, bahkan tidak menutupi kemungkinan dapat digunakan pada dunia perindustrian seperti industri otomotif dan lain sebagainya.

Pada penelitian ini akan dilakukan bagaimana cara mengatasi permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh limbah filter rokok dan menjadikan limbah filter rokok tersebut menjadi material baru yang memiliki nilai jual. Selain itu juga untuk mengetahui tentang kekuatan mekanik dan karakteristik dari material baru tersebut. Penelitian ini juga dilakukan sebagai salah satu bukti dan tindakan langsung membantu pemerintah untuk mengatasi permasalahan sampah dan limbah yang ada di Indonesia. Alternatif ini yaitu dilakukan penelitian dengan pembuatan spesimen dan dilakukan pengujian uji impact terhadap spesimen material komposit dengan pencampuran limbah filter rokok sebagai bahan campuran dalam pembuatan cangkang helm. Dalam penelitian sebelumnya, telah dilakukan simulasi uji penetrasi dan penyerapan beban kejut, mengacu pada SNI 1811 – 2007, terhadap helm dengan material komposit *epoxy* – HGM sebesar 16%.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang didapatkan berdasarkan latar belakang di atas adalah :

1. Bagaimana membuat cetakan spesimen komposit untuk pengujian uji impact ?
2. Bagaimana membuat spesimen material komposit uji impact dengan dengan penguat limbah filter rokok?

3. Bagaimana mengetahui sifat mekanik yang terdapat pada material komposit limbah filter rokok ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari tujuan yang telah dibuat, maka perlu ada batasan. Adapun batasannya yaitu:

1. Pengujian yang dilakukan merupakan spesimen yang berbentuk sesuai dengan standar ISO 179-1.
2. Pengujian yang dilakukan menggunakan alat uji impak *charpy* sesuai dengan standar ISO 179-1 dan memenuhi mutu Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan hasil pengujian uji impak yaitu 0,00972 J/mm².
3. Material campuran yang digunakan adalah limbah filter rokok dengan komposisi 7,5% dan resin *epoxy* 76,5%, HGM dengan komposisi 16%.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mendapatkan cetakan spesimen uji impak sesuai dengan standar ISO 179-1.
2. Mendapatkan spesimen material komposit dengan penguat limbah filter rokok.
3. Untuk mendapatkan informasi hasil pengujian uji impak pada material komposit limbah filter rokok sebagai material alternatif pembuatan helm.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, hasil dan analisa, serta kesimpulan dan saran. Adapun rincian sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dari penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menjelaskan tentang teori-teori dasar mengenai material komposit dan jenis-jenisnya, *Hollow Glass Microsphere*, *Epoxy*, definisi limbah filter rokok serta penerapannya, definisi helm dan kegunaannya, SNI 1181-2007, kekuatan impak.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian menjelaskan dan menyajikan tentang data spesimen yang digunakan, metode pengujian yang digunakan, diagram alir, metode pengumpulan data dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab analisa data dan pembahasan ini menyajikan dan menjelaskan pembahasan dari hasil data yang telah didapatkan saat pengujian eksperimen dan pengujian simulasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran dilakukan dengan menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan telah dibahas pada bab sebelumnya beserta dengan saran terkait hasil dan temuan dari penelitian yang telah dilakukan untuk dilakukan penelitian selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Komposit

Kata komposit berasal dari kata *to compose* yang berarti menyusun atau menggabungkan. Secara sederhana bahan komposit yaitu bahan gabungan atau campuran bahan yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang lain. Komposit adalah salah satu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari dua buah material atau lebih dari skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat (I Made Agung Dwipayana, 2020). Dari hasil campuran material tersebut dihasilkan suatu material yang memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Tujuan dari penggunaan komposit adalah untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan material penyusunnya (Pulungan, 2017).

Pada umumnya komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda yaitu (Hanung Bayu Setiawan, 2017) :

- a. Penguat (*Reinforcement*), umumnya mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih rigid serta lebih kuat.
- b. Matriks, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah. Umumnya matrik dipilih yang mempunyai ketahanan terhadap panas yang tinggi. Syarat pokok matriks yang akan digunakan dalam komposit adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat yang digunakan harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik (Zulkifli, 2020).

Komposit berdasarkan jenis penguat di bagi menjadi 4 jenis terdiri atas (Perkasa, 2016):

1. Komposit berpenguat partikel

Merupakan komposit yang penguatnya berupa fase partikel. Contohnya : Beton yang merupakan bahan baku bangunan di mana matriksnya adalah semen sedangkan penguatnya adalah pasir.

2. Komposit berpenguat serat, baik serat panjang maupun pendek

Merupakan komposit yang fase penguatnya berupa serat, contoh : serat gelas dalam matriks polimer dan serat alam dalam matriks polimer. Komposit berpenguat serat dapat dibedakan menjadi beberapa bagian:

1. *Continuous Fiber Composites*

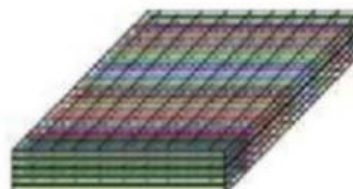
Komposit yang diperkuat dengan serat secara berurutan (Continuous) memiliki susunan serat panjang dan lurus membentuk lamina diantara matriksnya.



Gambar 2.1 *Continuous fiber composites* (I W. Widiarta, 2018)

2. *Woven Fiber Composites*

Komposit yang diperkuat dengan serat anyaman dan komposit ini tidak terpengaruh dengan pemisahan antar lapisan, akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan serta kekakuannya tidak sebaik tipe *Continuous Fiber*.



Gambar 2.2 *Woven fiber composite* (I W. Widiarta, 2018)

3. *Chopped Fiber Composites*

Komposit yang diperkuat dengan serat yang dipotong pendek atau disusun secara acak.



Gambar 2.3 *Chopped fiber composites* (I W. Widiarta, 2018)

4. *Hybrid Composites*

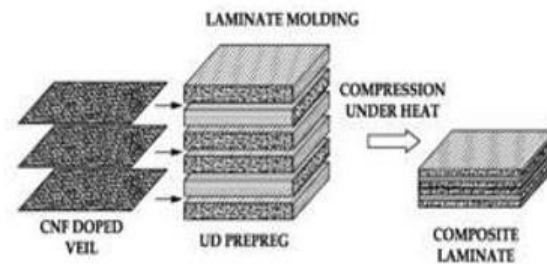
Komposit yang diperkuat dengan beberapa gabungan serat yaitu serat secara continuous dengan serat secara acak. Pertimbangannya agar dapat mengurangi kekurangan sifat dari kedua tipe dan menggabungkannya menjadi satu.



Gambar 2.4 *Hybrid composite* (I W. Widiarta, 2018)

3. Komposit berpenguat struktural baik yang berbentuk *laminar* maupun *sandwich* (LRC)

Merupakan komposit yang penguatnya berupa lapisan atau merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat masing-masing, contohnya : *Polywood*.

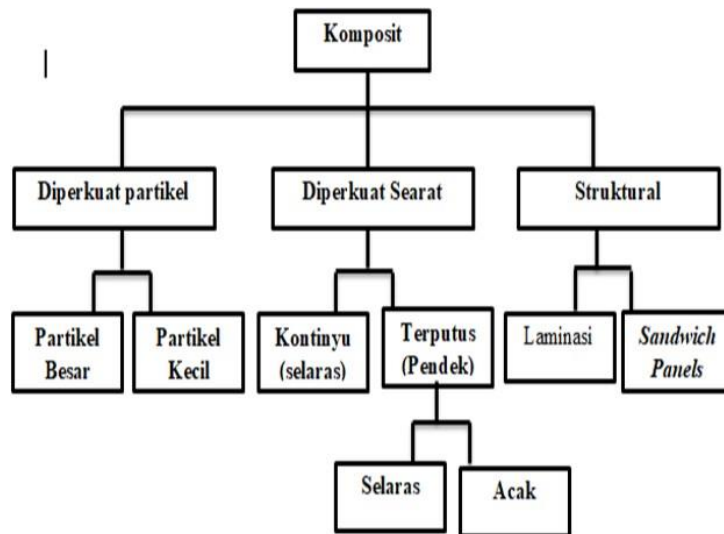


Gambar 2.5 *Laminated composites* (Huda, 2016)

4. Hibrida komposit

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 GLARE (*Glass Reinforced Fiber Metal Laminate*).

Klasifikasi struktur penyusun komposit yang terdiri dari tiga divisi utama: komposit yang diperkuat partikel, diperkuat serat, dan struktural setidaknya ada dua subdivisi untuk masing-masing. Fasa terdispersi untuk komposit yang diperkuat partikel sama yaitu dimensi partikel kira-kira sama di semua arah, untuk komposit yang diperkuat serat, fasa terdispersi memiliki geometri suatu serat yaitu rasio panjang dan diameter. Komposit struktural adalah kombinasi dari komposit dan material homogen. Adapun gambar klasifikasi struktur penyusun komposit dapat ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Klasifikasi struktur penyusun komposit (Agus Sabarudin, 2019)

Ada beberapa jenis komposit berdasarkan jenis matriks, yaitu (Perkasa, 2016):

1. *Polimer Matrix Composite* (PMC), merupakan komposit dengan jenis matriks polimer.
Contoh : *Thermoplastik* dan *Thermosetting*.
2. *Metal Matrix Composite* (MMC), merupakan komposit berbahan matrik logam.
Contoh : Alumunium, Magnesium, Titanium.
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC), merupakan komposit dengan bahan matrik keramik.
Contoh : *Alumina*, *Alumunium Titanate*, *Silicon Carbide*.

Kelebihan material komposit jika dibandingkan dengan logam adalah perbandingan kekuatan terhadap berat yang lebih baik serta sifat ketahanan korosinya. Sehingga banyak dikembangkan sebagai material alternatif pengganti logam dikarenakan keterbatasan jumlah yang ada di alam (Hazmi, 2016).

2.1.2 Limbah Filter Rokok



Gambar 2.7 Limbah filter rokok

Limbah filter rokok merupakan suatu limbah yang sulit untuk didaur ulang. Puntung rokok filter memiliki bahan dasar kapas yang ringan, berpori dan mudah menyerap (Agata Iwan Candra, 2019). Kandungan di dalam limbah filter rokok tersebut berupa polimer *selulosa asitrate* yang memiliki sifat termoplastik, yang berkaitan dengan *plasticizers*, yang tahan terhadap panas dan tekanan. *Selulosa asetate* merupakan salah satu bahan dasar pembuatan tombol, kacamata hitam, pelapis, blus, gaun pernikahan, perabot rumah, gordena, kain pelapis mainan anak-anak (Fuad Hasan, 2018). Filter rokok biasanya didapat dari olahan kayu yang memiliki kegunaan untuk menyaring tar dan nikotin dari rokok. Selain itu, filter rokok juga memiliki dampak negatif terhadap lingkungan karena *selulosa asetate*. Diperkirakan bahwa 845.000 ton rokok berfilter dibuang setiap tahunnya, filter rokok yang ada di lautan juga berdampak negatif terhadap makhluk hidup yang mencernanya secara tidak sengaja (Pradana, 2019). Dapat dikatakan, limbah filter rokok tidak memiliki nilai jual karena lebih sering dibuang daripada dimanfaatkan. Jadi perlu dibuat inovasi lain dengan menjadikan limbah tersebut sebagai bahan penguat baru material komposit yang memiliki nilai jual yang tinggi dan dapat mengurangi masalah pencemaran lingkungan. Para ilmuwan China mengungkapkan bahwa adanya manfaat positif dari pembuangan limbah puntung rokok, salah satunya yaitu bahan kimia yang diambil dari puntung rokok dapat melindungi pipa-pipa baja agar tidak berkarat (Amri Aji, 2015).

2.1.3 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. *Hollow Glass Microsphere* biasanya diaplikasikan untuk penelitian, dunia medis, dan produk untuk konsumen di berbagai jenis industri. Bola kaca ini umumnya memiliki diameter mulai dari 1 mikron hingga 1000 mikron. *Hollow Glass Microsphere* memiliki range diameter dari 10 mikron hingga 300 mikron. HGM biasanya digunakan sebagai pengisi untuk material komposit, kelebihan dari HGM ini antara lain :

- HGM memiliki massa jenis yang kecil.
- Konduktivitas termal yang rendah.
- Ketahanan terhadap beban kompresi yang baik.

Hollow Glass Micropsheres (HGM) merupakan penguat jenis partikel. HGM merupakan bola yang terbuat dari kaca dengan ketebalan tertentu dan di dalamnya memiliki lubang berisi gas inert.HGM dipelajari dan dirancang sebagai rasio bobot yang ringan. Tiga jenis HGM, dengan properti dan dimensi diringkas dalam tabel 2.3 yang akan dipelajari dalam penelitian ini. Dari ketiga jenis HGM yang terdapat pada tabel 2.3, memiliki ukuran partikel yang sama, tetapi HGM jenis Y12000 memiliki tekanan uji terbaik dibandingkan dengan kedua jenis HGM yang terdapat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Properties *Hollow Glass Microspheres* (HGM)

<i>Product</i>	<i>Density</i> (g/cc)	<i>Test</i> <i>Pressure</i> (Mpa/Psi)	<i>Thermal</i> <i>Conductivity</i> (W.m ⁻¹ .K ⁻¹) at 20°C	<i>Flotation</i> (%)
H25	0.25	5/750	0.0416	96%
H40	0.40	28/4000	0.0521	95%
Y12000	0.60	82/12000	0.0643	95%

Tabel 2.4 Properti material

<i>Material</i>	<i>Posion</i> <i>Ratio</i>	<i>Modulus</i> <i>Young</i> [Mpa]	<i>Densitas</i> [kg/m ³]
<i>Epoxy</i> HGM 16%	0.16	508	1035.8
<i>Structural Steel</i>	0.3	200000	7850

Sumber : (Affandi, 2015)

2.1.4 Epoxy

Resin *epoxy* atau secara umum dikenal dengan bahan *epoxy* adalah salah satu jenis polimer yang berasal dari kelompok *thermoset*, yang dibentuk melalui proses polimerisasi kondensasi, bahan plastik yang tidak dapat dilunakkan kembali atau dibentuk kembali kekeadaan sebelum pengeringan. Resin *epoxy* mempunyai sifat-sifat: berstruktur amorf, tidak bisa meleleh, tidak bisa didaur ulang, atom-atomnya berikatan kuat sekali. Keunggulan yang dimiliki resin *epoxy* ini adalah ketahanan terhadap panas dan kelembaban, sifat mekanik yang baik, tahan terhadap bahan-bahan kimia, sifat insulator, sifat perekatnya yang baik terhadap berbagai bahan, dan resin ini mudah dalam modifikasi dan pembuatannya (Ali, Praktikno, & Dhanistha, 2019).

Epoxy dapat diformulasikan dengan material lain maupun *epoxy* jenis lain untuk mendapatkan sifat sesuai keinginan. Tabel 2.5 berikut menunjukkan sifat material *termoset*.

Tabel 2.5 Sifat material *termoset*

<i>Resin Material</i>	<i>Density</i> (g/cm ³)	<i>Tensile Modulus</i> Gpa (10 ⁶ psi)	<i>Tensile Strenght</i> Mpa (10 ³ psi)
<i>Epoxy</i>	1.2-1.4	2.5-5.0 (0.36-0.72)	50-110 (7.2-16)
<i>Phenolic</i>	1.2-1.4	2.7-4.1 (0.4-0.6)	35-60 (5-9)
<i>Polyester</i>	1.2-1.4	1.6-4.1 (0.23-0.6)	35-95 (5.0-13.8)

Sumber : (Pulungan, 2017)

2.1.5 Helm

Helm merupakan sebuah topi pelindung kepala yang terbuat dari bahan yang tahan terhadap benturan yang biasa dipakai oleh tentara, anggota barisan pemadam kebakaran, pekerja tambang, penyelam yang merupakan bagian dari pakaian, pengendara sepeda motor dan lain sebagainya (Safa'at, 2017). Helm berfungsi untuk melindungi bagian kepala bagi pengendara sepeda motor saat mengalami benturan akibat kecelakaan dan sepeda motor merupakan kendaraan yang diidentifikasi dari pengguna jalan yang paling rentan mengalami kecelakaan. Helm yang baik adalah helm yang telah lulus persyaratan berstandar yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI 1181-2007). Helm dikelompok berdasarkan kategori standar ada 3 macam yaitu helm *full face*, helm *open half face* dan helm *open face*.



Gambar 2.9 a) Helm *Full Face*, b) Helm *Open Half Face*, c) Helm *Open Face*

2.1.6 SNI 1181-2007

Berdasarkan UU No. 22 Tahun 2009 mengenai Lalu-lintas dan Angkutan Jalan, helm yang digunakan oleh pengendara sepeda motor harus memenuhi standar nasional Indonesia. Standar Indonesia yang berlaku adalah SNI 1181 tahun 2007 yang dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Indonesia (BSN). Standarisasi ini dibentuk untuk memastikan kualitas produk yang benar-benar baik sehingga tidak merugikan dan menjamin konsumen. Dalam SNI 1181-2007 terdapat beberapa persyaratan mutu yang harus dipenuhi dalam suatu helm yaitu sebagai berikut (Badan Standardisasi Indonesia , 2007)

:

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 terdiri dari tempurung yang keras dengan permukaan halus, lapisan peredam benturan dan tali pengikat dagu. Tinggi helm sekurang-kurangnya 114 mm yang diukur dari puncak helm ke bidang utama yaitu bagian bidang horizontal yang melalui lubang telinga dan bagian bawah tempat dudukan bola mata. Tempurung helm terbuat dari bahan keras, tebal dan homogen. Tempurung helm tidak menyatu dengan pelindung muka dan tidak mempunyai penguat setempat. Peredam benturan berupa lapisan peredam kejut yang dipasang pada permukaan bagian dalam tempurung dengan tebal sekurang-kurangnya 10 mm dan jaring helm atau konstruksi lain yang berfungsi seperti jaring helm.

Tabel 2.6 Kekuatan mekanik helm SNI

Kekuatan Tarik	33,93 MPa	(Alaya Fadllu Hadi Mukhammad, 2014)
Kekuatan Impak	0,00972 J/mm ²	(Bagus Tri Mulyo, 2018)

2.1.7 Uji Impak

Uji Impak merupakan pengujian ketangguhan pada specimen berbahan material logam dan komposit. Uji Impak bisa juga diartikan sebagai suatu tes yang mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dengan ayunan (Harijono & Purwanto, 2017). Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*Fast Loading*), pada uji impak terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen (Rinaddin, 2018). Uji impak digunakan untuk menentukan material yang rapuh atau ulet akibat gerak benda berdasarkan sifat ketangguhannya (Dhilif Kumar, 2017).

Energi patah/serap uji dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Energi}_{\text{serap}} = m \cdot g \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1)$$

Kekuatan impak benda uji dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{HI} = \frac{E}{A} \quad (2)$$

Dimana :

- HI = Kekuatan impak (J/mm²)
- E = Energi serap/patah spesimen (joule)
- A = Luas penampang spesimen di bawah takikan (mm²)
- m = Berat Pendulum (m)
- g = Gaya gravitasi 9.81 (m/s²)
- r = Jarak pendulum ke pusat rotasi (m)
- $\cos \alpha$ = Sudut pendulum tanpa benda uji (°)

$\text{Cos } \beta = \text{Sudut pendulum setelah menabrak benda}(\text{°})$

Takik (*notch*) dalam benda uji standar ditujukan sebagai suatu konsentrasi tegangan sehingga perpatahan diharapkan akan terjadi di bagian tersebut. Selain berbentuk V dengan sudut 45° , takik dapat pula dibuat dengan bentuk lubang kunci (*key hole*).

2.1.7.1 Pengujian Uji Impak Metode *charpy*

Pengujian uji impak dikembangkan pada 1905 oleh ilmuwan asal Perancis Georges Charpy. Pengujian ini penting dilakukan untuk memahami masalah patahan kapal pada masa Perang Dunia II. Metode pengujian ini sekarang banyak digunakan industri untuk menguji material dalam pembangunan kapal, jembatan, dan untuk menentukan bagaimana keadaan alam (badai, gempa bumi, dan lain-lain) (Handoyo, 2013). Pengujian tumbuk dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal/mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan (Pratowo, 2018). Pengujian impak *charpy* banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan.

Perpatahan spesimen pengujian impak dialokasikan menjadi 3 golongan yakni (Islami, 2020):

1. Patahan Berserat (*fibrous fracture*)

Yakni melibatkan mekanisme pergerakan bidang kristal di dalam bahan seperti logam yang ulet (*ductile*).

2. Patahan *Granul* atau *Kristalin*

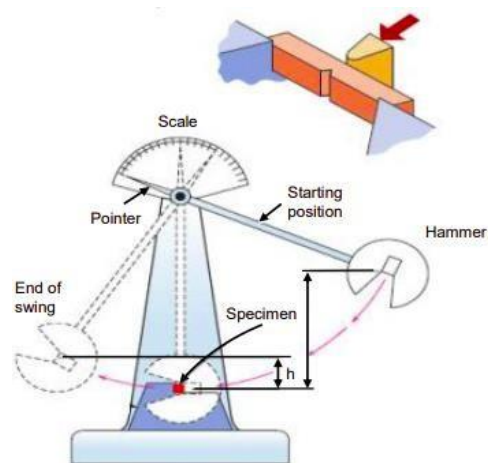
Yakni disebabkan karena mekanisme pembelah (*cleavage*) terhadap butiran dari bahan seperti logam yang rapuh (*brittle*).

3. Patahan Campuran (*Fibrous* dan *Granul* atau *Kristalin*)

Yakni kombinasi atau perpaduan antara dua jenis patahan yakni patah berserat dan patah *granul* atau *kristalin* pada benda logam yang di uji.

Pada uji impak energi yang diserap harus terlebih dahulu diukur. Setelah bandul dilepas maka benda uji akan patah, setelah itu bandul akan

berayun kembali, semakin besar energi yang diserap maka semakin rendah ayunan kembali bandul, energi serap biasanya dapat dibaca langsung pada skala penunjuk yang telah dikalibrasi sebelumnya yang terdapat pada alat penguji (Umam, 2015).

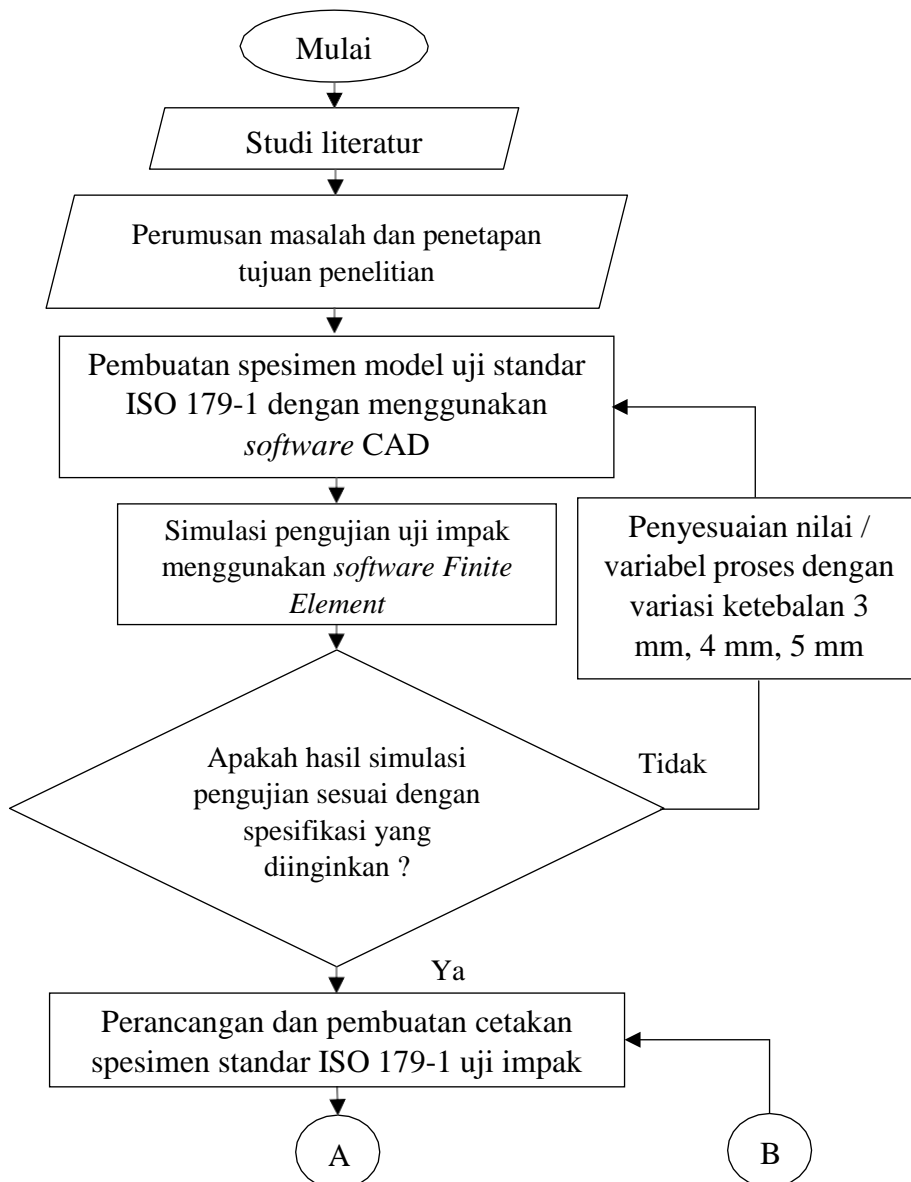


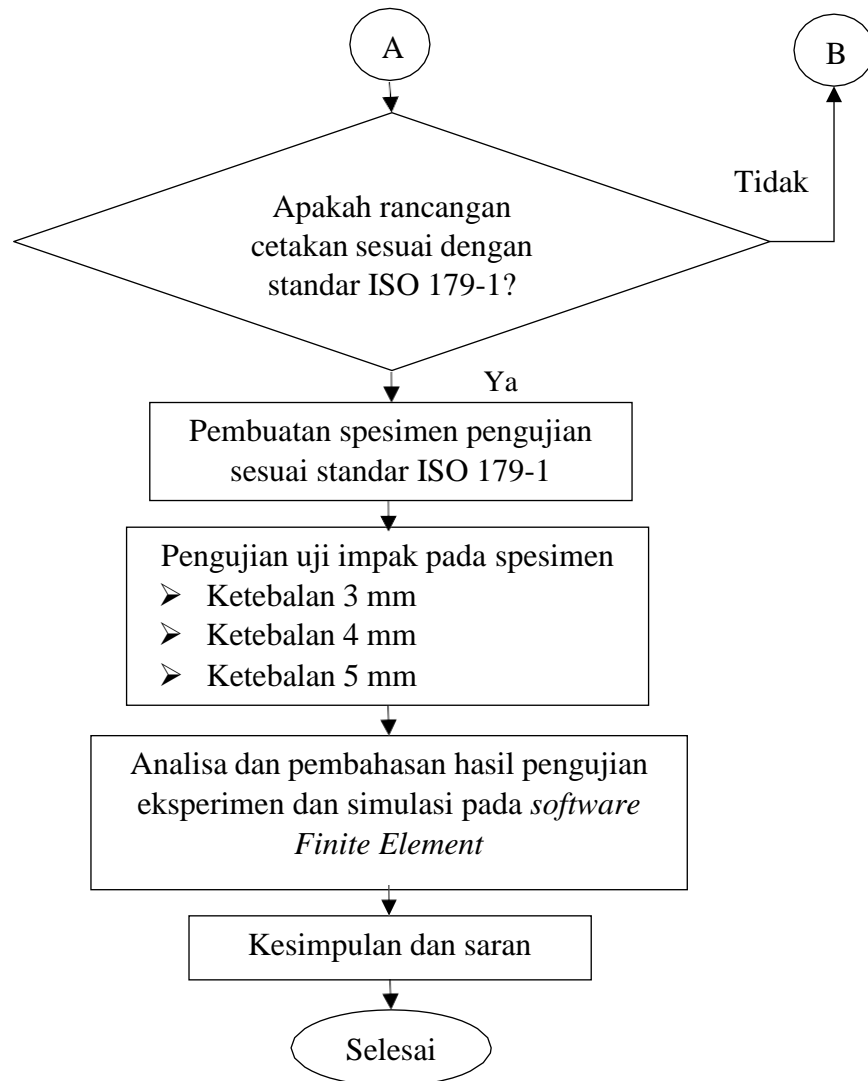
Gambar 2.10 Iustrasi skematik uji impak *charpy* (Melsiani Saduk, 2017)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang dilakukan menggunakan metode eksperimen. Adapun tahapan penelitian yang dijelaskan secara sederhana sesuai dengan diagram alir penelitian yaitu sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian simulasi dan eksperimen

3.2 Studi Literatur

Studi literatur yang dimaksudkan untuk mengetahui informasi-informasi terkait dengan penelitian.

Adapun beberapa informasi terkait yaitu:

1. Penelitian sebelumnya

Dalam penelitian sebelumnya oleh Ahmat Safa'at telah dilakukan simulasi uji penetrasi dan penyerapan beban kejut,

mengacu pada SNI 1811 – 2007, terhadap helm dengan material komposit *epoxy* – HGM sebesar 16%.

2. Limbah filter rokok

Literatur yang digunakan berupa data mengenai material puntung rokok yang diterbitkan oleh pabrikan dan informasi dari lingkungan sekitar. Data berisi *properties* serta informasi pendukung yang terkait.

3. *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. SNI 1181-2007

SNI 1181-2007 diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) berisi informasi yang berkaitan dengan spesifikasi helm pelindung standar mulai dari geometri serta standar pengujian yang dilakukan terhadap helm.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Adapun Peralatan dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Timbangan digital

Timbangan digital yaitu jenis timbangan yang bekerja secara elektronis dengan tenaga listrik, dan merupakan alat yang digunakan sebagai pengukuran untuk mengukur suatu berat atau beban maupun massa pada suatu zat. Gambar timbangan digital dapat ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Timbangan digital

2. Cetakan spesimen

Cetakan spesimen yang digunakan memiliki ukuran ketebalan berbeda yaitu 3 mm, 4mm, dan 5mm



(a)

(b)

Gambar 3.3 (a) Cetakan spesimen 4 mm, (b) Cetakan spesimen 5 mm

3. Laptop

Laptop digunakan untuk membantu melakukan proses desain 3D pada spesimen uji. Selain itu, laptop juga digunakan untuk menjalankan *software* yang digunakan dalam penelitian ini.

4. Alat Bantu : Jangka sorong, penggaris, gunting, cutter, ampelas, gergaji dan kikir.

5. Bahan:

- Limbah filter rokok

Limbah filter rokok memiliki bahan dasar kapas yang ringan, berpori dan mudah menyerap. Kandungan di dalam limbah filter rokok tersebut berupa polimer *selulosa asitrate* yang

memiliki sifat *thermoplastik*, yang berkaitan dengan *plasticizers*, yang tahan terhadap panas dan tekanan.



Gambar 3.4 Serat filter rokok

- Resin *Epoxy*

Resin *epoxy* ialah cairan yang biasa digunakan sebagai perekat. *Epoxy* digunakan sebagai matriks resin secara efisien menahan serat ditempatnya. Resin *epoxy* kompatibel dengan semua serat penguat umum. Resin *Epoxy* yang digunakan terdapat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Resin *epoxy*

- *Hollow Glass Microsphere* (HGM)

Hollow Glass Microsphere (HGM) atau *Hollow Glass Sphere* (HGS) berupa bubuk (*powder*) yang memiliki bentuk dasar berongga dan berukuran mikro. HGM terbuat dari kaca yang mengandung *Sodium Borosilicate*. Gambar *Hollow Glass Microsphere* (HGM) dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Hollow Glass Microsphere* (HGM)

- *Hardener*

Hardener berupa cairan yang memiliki sifat senyawa MEKPO yaitu senyawa *Metyl Etyl Keton Peroksida*. *Hardener* berwarna bening dan berfungsi sebagai pengeras. *Hardener* biasanya dijual bersamaan dengan resin.



Gambar 3.7 Katalis

- **Wax**

Wax merupakan krim padat berbentuk pasta yang akan digunakan sebagai pelapis antara bidang mal atau cetakan dan material komposit sehingga kedua bagian tadi tidak saling menempel dan material komposit lebih mudah untuk dilepas.

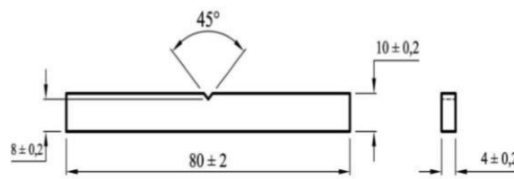


Gambar 3.8 *Wax*

6. Serta peralatan dan bahan pendukung lainnya.

3.4 Pembuatan Model Spesimen Uji

Pembuatan model spesimen pengujian dilakukan berdasarkan ketentuan standar ukuran spesimen uji impact yang digunakan yaitu sesuai dengan standar ISO 179-1. Model spesimen uji dibuat dengan ketebalan berbeda yaitu 3 mm, 4 mm, 5 mm.



Gambar 3.9 Dimensi spesimen uji impact ISO 179-1 (Bagus Tri Mulyo, 2018)

Prosedur pembuatan model spesimen uji adalah sebagai berikut :

1. Limbah filter rokok yang masih baru terlebih dahulu dipisahkan dari filter pembungkus yang biasa menempel pada busa yang kemudian ambil busanya.
2. Kemudian busa yang sudah siap untuk digunakan dicacah (sehingga berbentuk pipih) agar mudah dalam proses pencetakan.
3. Setelah itu, ukur massa material yang akan digunakan yaitu serat limbah filter rokok, HGM, resin *epoxy*, katalis sesuai dengan hitungan yang telah dihitung sebelumnya menggunakan timbangan digital. Timbangan digital terlebih dahulu dikalibrasi.
4. Kemudian lapisi cetakan (mal) dengan *Wax* secara merata agar material komposit tidak mudah lengket atau mudah dilepaskan dari cetakan (Bentuk cetakan seperti pada gambar 3.3).
5. Masukkan dan susun secara acak serat filter rokok yang sudah ditimbang seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Proses penyusunan serat ke dalam cetakan

6. Lalu campurkan resin *epoxy* dan katalis serta *Hollow Glass Microsphere* (HGM) yang telah ditimbang ke dalam wadah yang lainnya sebelum dimasukkan ke dalam cetakan (mal). Kemudian aduk hingga merata $\pm 15 - 20$ menit agar campuran merata sehingga tidak terdapat ruang kosong diantara material.
7. Jika telah selesai, masukan campuran resin *epoxy*, katalis, dan HGM ke dalam cetakan (mal).
8. Pastikan semua campuran material dalam cetakan memiliki ketebalan merata seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Campuran material dalam cetakan

9. Kemudian tunggu hingga kering, atau bisa dijemur di bawah sinar matahari selama $\pm 30 - 60$ menit.
10. Jika sudah kering lepaskan campuran material dari cetakan. Hasil spesimen yang telah kering dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Hasil spesimen pengujian

11. Kemudian lakukan proses pembuatan takikan pada spesimen menggunakan alat bantu gergaji dan kikir dengan ukuran sesuai standar ISO 179-1 seperti pada gambar 3.9. Untuk hasil spesimen dapat dilihat seperti pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Hasil spesimen pengujian dengan takikan

12. Jika telah selesai lakukan proses pengujian terhadap spesimen.

3.5 Langkah – Langkah Pengujian Uji Impak Material Komposit

Proses pengujian material komposit menggunakan alat uji impak GOTECH metode *charpy* model GT-7045 dengan kapasitas 150 kg/cm. Untuk spesifikasi alat uji impak model ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Spesifikasi alat uji Impak GOTECH Model GT-7045

Berat Pendulum	2.5 kg
Jarak Lengan Pengayun (λ)	0.4 m
Sudut Posisi Awal Pendulum (α)	150°

Langkah-langkah pengujian material komposit untuk uji impak adalah sebagai berikut :

1. Periksa alat ukur dengan mengkalibrasi ulang alat uji impact.
2. Memasang spesimen uji pada penahan yang terdapat pada alat uji impak dengan benar agar tidak mudah lepas dan bergerak.
3. Kemudian angkat pola kepala uji (Pendulum) yang terdapat pada alat uji impak.
4. Lepaskan tuas penahan pola kepala uji sehingga pola kepala uji berayun dan mengenai spesimen uji.
5. Tunggu hingga pola kepala uji berhenti berayun.
6. Periksa dan ukur hasil pengujian tersebut melalui alat pencatat lalu masukan data yang telah didapatkan dari proses pengujian.

Untuk melakukan pengujian ulang, lakukan langkah-langkah pengujian di atas dengan cara yang sama.



Gambar 3.14 Alat uji impak GOTECH Model GT-7045

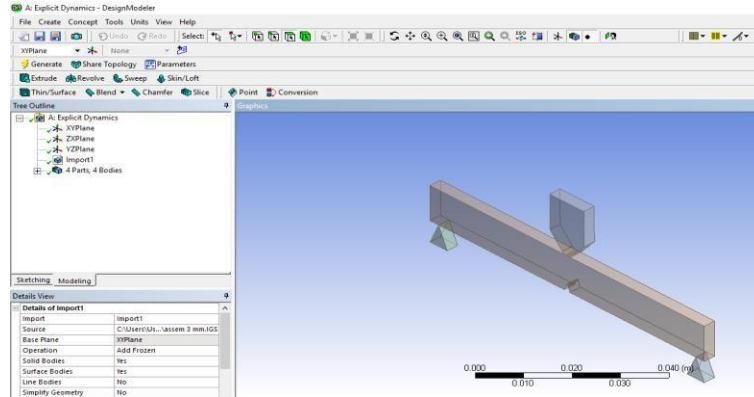
3.6 Simulasi Pengujian Material Komposit

Simulasi pengujian untuk uji impak menggunakan software *Finite Element*. Simulasi tersebut terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1. Proses pembuatan model dan alat uji

Geometri model spesimen yang digunakan dalam simulasi didasarkan sesuai dengan ukuran uji impak standar ISO 179-1. Pembuatan model spesimen menggunakan perangkat lunak 3D CAD, seperti *Solidwork*. Kemudian, dilakukan proses *assembly* terhadap

model spesimen dan alat uji yang telah didesain lalu di *import* ke dalam *software finite element*.



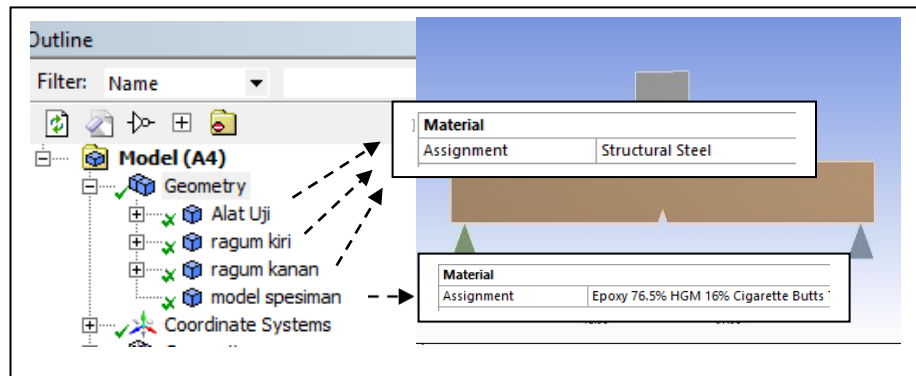
Gambar 3.15 *Design* geometri model spesimen dan alat uji 3D

2. Proses input data material

Proses input data dilakukan dengan memasukkan data properti material ke dalam *software* melalui submenu *Engineering Data*. Proses input dilakukan dengan mengklik kanan *Engineering Data* – Edit lalu masukkan data properti seperti pada gambar 3.16.

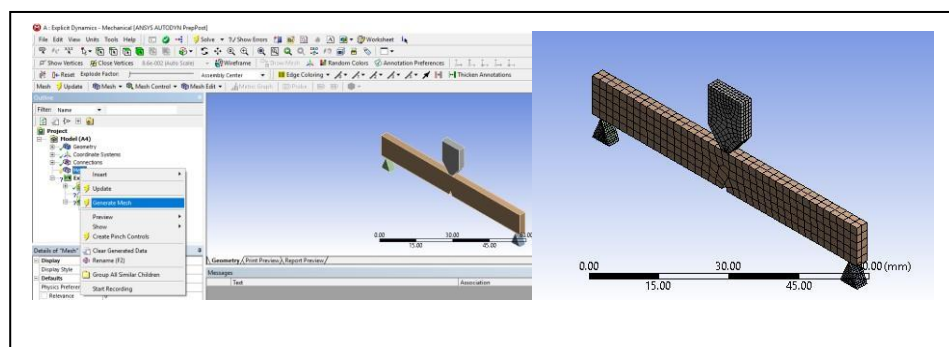
Outline of Schematic A2: Engineering Data			
A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source
3	Structural Steel		General_Materials.xml
Properties of Outline Row 3: Structural Steel			
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulu...	
5	Young's Modulus	2E+11	Pa
6	Poisson's Ratio	0.3	
7	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa
8	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa
9	Specific Heat	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Outline of Schematic A2: Engineering Data			
A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source
4	Epoxy 76.5% HGM 16% Cigarette Butts 7.5%		
Properties of Outline Row 4: Epoxy 76.5% HGM 16% Cigarette Butts 7.5%			
1	Property	Value	Unit
2	Density	1137.8	kg m ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulu...	

Gambar 3.16 Data properti material

Gambar 3.17 Tampilan *engineering data*

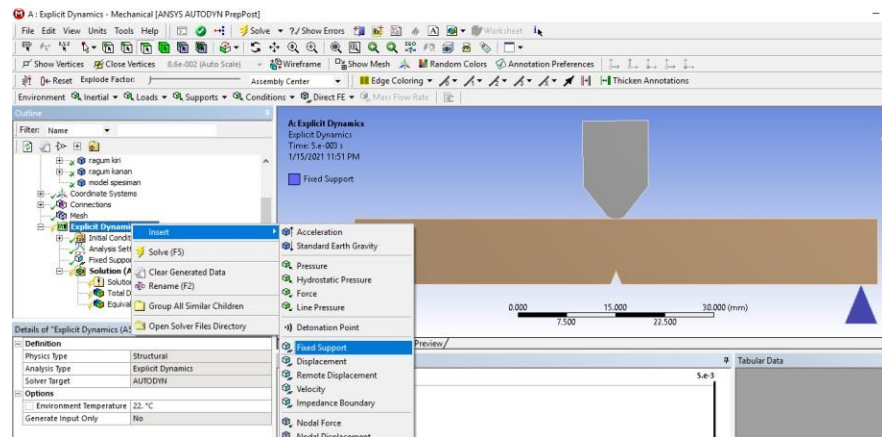
3. Proses *Meshing*

Meshing atau pembagian suatu komponen menjadi simpul-simpul (*nodes*) pengamatan yang terhubung satu sama lain. Pemilihan *meshing* ditujukan untuk mengatur tingkat kedetailan hasil simulasi. Proses *meshing* dilakukan dengan mengklik kanan pada mesh lalu pilih *generate mesh*, proses tersebut dapat dilihat pada gambar 3.18.

Gambar 3.18 Langkah proses *meshing* dan hasil *meshing*

4. Proses Pembebanan

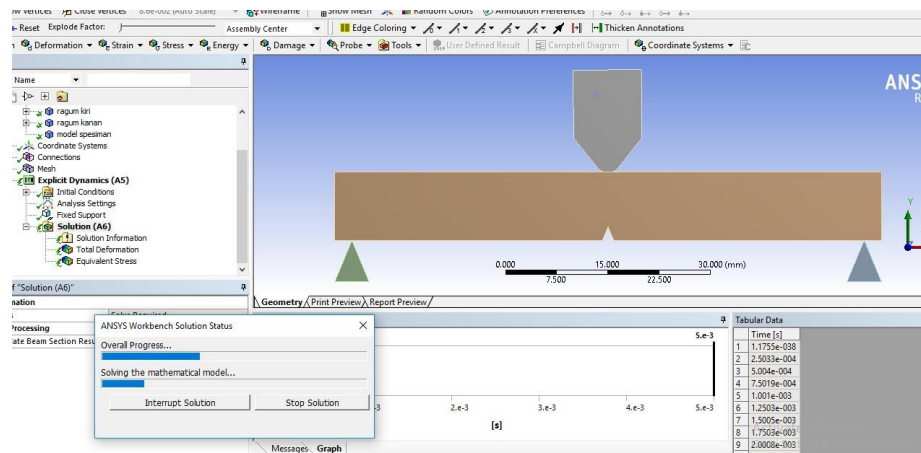
Pada pembebanan, dilakukan pengkondisian area-area *fixed support* dan pemberian *initial condition* seperti kecepatan yang bekerja pada alat uji.



Gambar 3.19 Proses pembebanan

5. Proses Running

Proses *running* dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi. Lamanya waktu *running* tergantung pada kerapatan *meshing*, dan spesifikasi atau kemampuan komputer yang digunakan.

Gambar 3.20 Proses *running*

6. Hasil Simulasi

Setelah proses *running* selesai dilakukan, akan didapatkan hasil simulasi data deformasi total, tegangan dan regangan. Hasil tersebut di bahas pada bab IV.

7. Setelah kondisi disesuaikan dengan standar yang diinginkan, dilakukan pemilihan data yang ingin dihasilkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan adalah tentang pembuatan dan pengujian eksperimental pada spesimen berbahan komposit dengan penguat serat filter rokok baik secara *real* (langsung) maupun secara visualisasi (simulasi). Penelitian eksperimen yang dilakukan yaitu dengan melakukan pengujian uji impact terhadap spesimen yang telah dibuat, sekaligus membandingkan hasil pengujian tersebut dengan pengujian secara visualisasi deformasi dan tegangan yang terjadi pada spesimen dengan menggunakan bantuan *software finite element* sehingga akan didapatkan hasil yang terbaik saat pengujian. Pada saat proses pengujian uji impact pada spesimen secara *real* (langsung) dilakukan dengan menggunakan alat uji impact GOTECH metode charpy model GT-7045. Pada proses simulasi dengan bantuan *software finite element*, spesimen diberi beban impact dengan kecepatan pendulum sebesar 1000 m/s. Model spesimen uji impact dibuat sesuai dengan standar ISO 179-1. Model pendulum dan model spesimen dibuat dengan bantuan *software CAD*. Setelah itu dilakukan proses *assembly* antara pendulum dengan spesimen helm. Hasil *assembly* disimpan dalam format file IGES (igs). File tersebut nantinya akan menjadi input untuk proses simulasi kedalam *software finite element*. Terdapat beberapa tahapan sebelum memulai proses simulasi, tahap *pre-processing* yang dilakukan ialah input geometri, pemilihan material, input kecepatan, penentuan *fixed support* dan *meshing*.

Pada proses penelitian eksperimen dengan menggunakan serat filter rokok dengan perbandingan volume serat dan matrik. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan kekuatan serat filter rokok dengan variasi ketebalan spesimen yaitu 3 mm, 4 mm, 5 mm pada pengujian impact dan rasio volume Serat filter rokok 7.5 %, resin *epoxy* 76.5% dan HGM 16%. Pada setiap variasi ketebalan dilakukan 6 kali replikasi.

Tabel 4. 1 Hasil perhitungan rasio untuk spesimen uji impact

Ketebalan Spesimen	Volume cetakan (cm ³)	Berat Serat (g)	Berat HGM (g)	Berat Resin Epoxy (g)
3 mm	2.4	0.02	0.23	1.49
4 mm	3.2	0.03	0.30	1.98
5 mm	4.0	0.04	0.38	2.47

Untuk perhitungan spesimen uji impact yaitu, volume cetakan dengan masing-masing ketebalan didapatkan dengan rumus $v = p \times l \times t$, dengan berat jenis serat = 0.1232 g/cm³, berat jenis HGM = 0.60 g/cm³ dan berat jenis resin epoxy = 1.215 g/cm³. Setelah didapatkan data, dilakukan perbandingan berat antara serat dan matrik seperti pada tabel 4.1.

4.2 Model Spesimen Helm Epoxy – HGM – Serat Filter Rokok

Massa spesimen helm yang terbuat dari material komposit epoxy – HGM – serat filter rokok merupakan penjumlahan massa sungkup yang terbuat dari epoxy 76.5% – HGM 16% ditambah dengan massa serat filter rokok 7.5%.

4.3 Hasil Simulasi

Simulasi yang dilakukan berupa pengujian uji impact. Pengujian dilakukan pada model spesimen helm dengan bahan epoxy 76.5% -HGM 16% - serat filter rokok 7.5%.

Tabel 4 2 Nilai deformasi total spesimen helm

No	Ketebalan	Deformasi Total Maksimum (mm)
1	3	6.2051
2	4	6.1333
3	5	6.1221

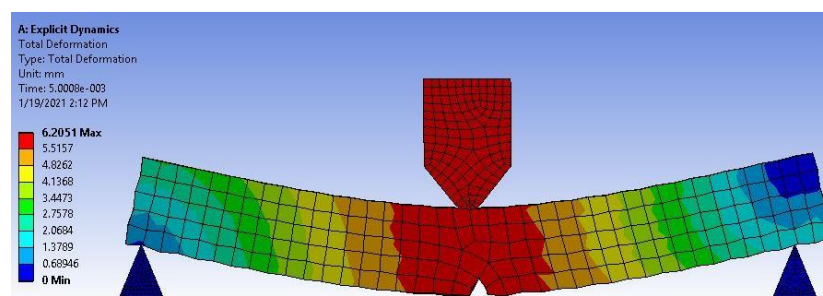
Tabel 4.3 Nilai tegangan *Von Mises* spesimen helm

No	Ketebalan (mm)	Tegangan Ekuivalen Maksimal (MPa)
1	3	25.221
2	4	24.505
3	5	24.523

Tabel 4.4 Regangan spesimen helm

No	Ketebalan (mm)	Regangan Maksimal (mm/mm)
1	3	0.050866
2	4	0.049325
3	5	0.049812

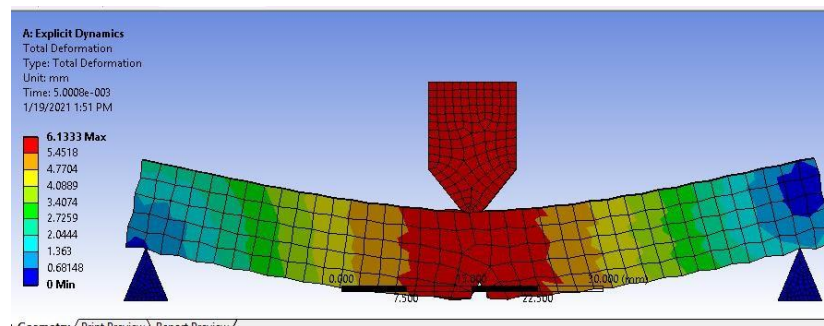
4.3.1 Hasil simulasi Deformasi Total



Gambar 4.1 Deformasi total 3 mm

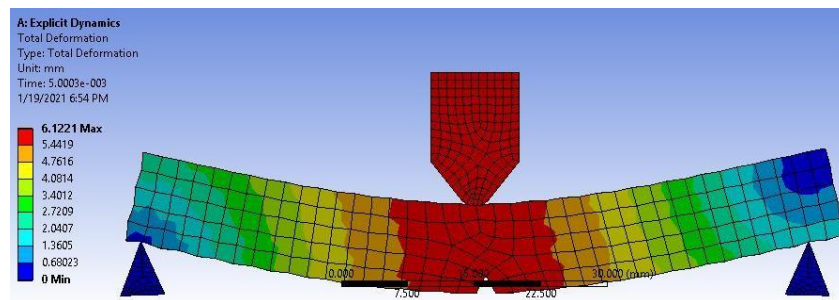
Berdasarkan pada gambar 4.1 bahwa nilai maksimum deformasi total pada spesimen dengan ketebalan 3 mm yaitu 6.2051 mm. Dapat diketahui bahwa deformasi terjadi pada bagian spesimen yang terkena tabrakan oleh pendulum. Deformasi

diakibatkan adanya tabrakan kecepatan rendah, tabrakan yang terjadi berupa sebuah gaya impak yang diberikan terhadap spesimen. Gaya tersebut mengakibatkan adanya respon material yang dimiliki oleh spesimen berupa deformasi. Deformasi maksimum ditunjukkan dengan warna merah yang terjadi pada daerah penampang yang terkena tabrakan oleh pendulum atau biasa disebut dengan daerah kritis. Dilihat dari gambar 4.1 besarnya daerah kritis pada spesimen dapat mengakibatkan kerusakan pada spesimen (patah).



Gambar 4.2 Deformasi total 4 mm

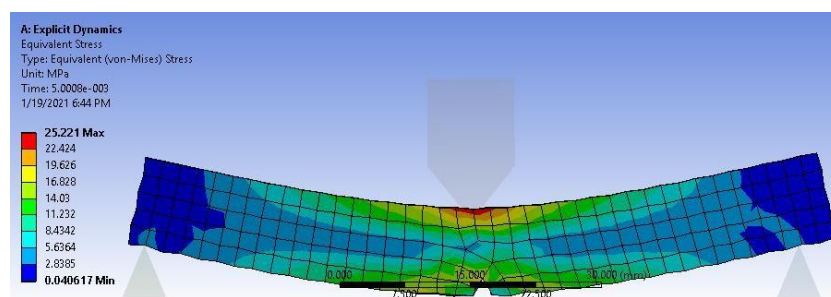
Berdasarkan pada gambar 4.2 bahwa nilai maksimum deformasi total pada spesimen dengan ketebalan 4 mm yaitu 6.1333 mm. Dapat diketahui bahwa deformasi terjadi pada bagian spesimen yang terkena tabrakan oleh pendulum. Deformasi diakibatkan adanya tabrakan kecepatan rendah, tabrakan yang terjadi dapat diibaratkan sebuah gaya impak yang diberikan terhadap spesimen. Gaya tersebut mengakibatkan adanya respon material yang dimiliki oleh spesimen berupa deformasi. Deformasi maksimum ditunjukkan dengan warna merah yang terjadi pada daerah penampang yang terkena tabrakan oleh pendulum atau biasa disebut dengan daerah kritis. Dilihat dari gambar 4.2 besarnya daerah kritis pada spesimen dapat mengakibatkan kerusakan pada spesimen (patah).



Gambar 4.3 Deformasi total 5 mm

Berdasarkan pada gambar 4.3 bahwa nilai maksimum deformasi total pada spesimen dengan ketebalan 5 mm yaitu 6.1221 mm. Dapat diketahui bahwa deformasi terjadi pada bagian spesimen yang terkena tabrakan oleh pendulum. Deformasi diakibatkan adanya tabrakan kecepatan rendah, tabrakan yang terjadi berupa sebuah gaya impak yang diberikan terhadap spesimen. Gaya tersebut mengakibatkan adanya respon material yang dimiliki oleh spesimen berupa deformasi. Deformasi maksimum ditunjukkan dengan warna merah yang terjadi pada daerah penampang yang terkena tabrakan oleh pendulum atau biasa disebut dengan daerah kritis. Dilihat dari gambar 4.3 besarnya daerah kritis pada spesimen dapat mengakibatkan kerusakan pada spesimen (patah).

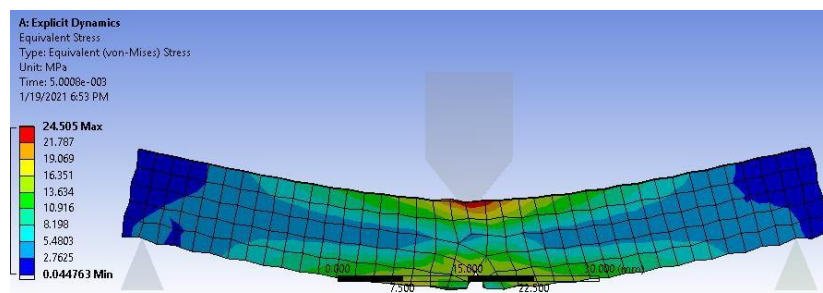
4.3.2 Hasil Simulasi Tegangan Von Mises



Gambar 4.4 Tegangan *von mises* 3 mm

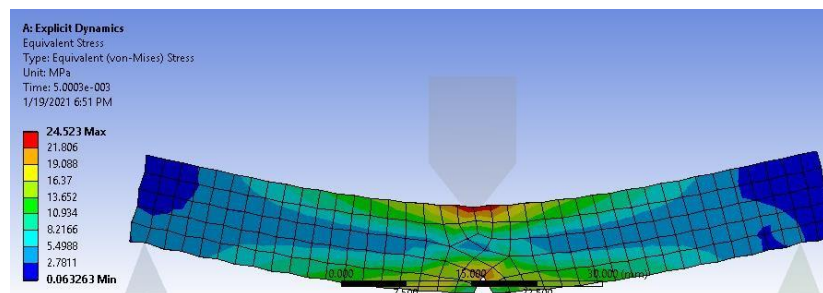
Berdasarkan pada gambar 4.4 bahwa nilai maksimum tegangan von mises pada spesimen dengan ketebalan 3 mm yaitu

25.221 MPa. Sedangkan nilai minimum yaitu 0.040617 MPa. Tegangan yang diterima oleh spesimen diakibat pembebanan impact yang diberikan oleh pendulum. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.4, tegangan terkonsentrasi ditunjukkan dengan warna merah (daerah kritis) pada daerah spesimen yang terkena pendulum dan pada takikan serta mengalami perubahan bentuk.



Gambar 4.5 Tegangan *von mises* 4 mm

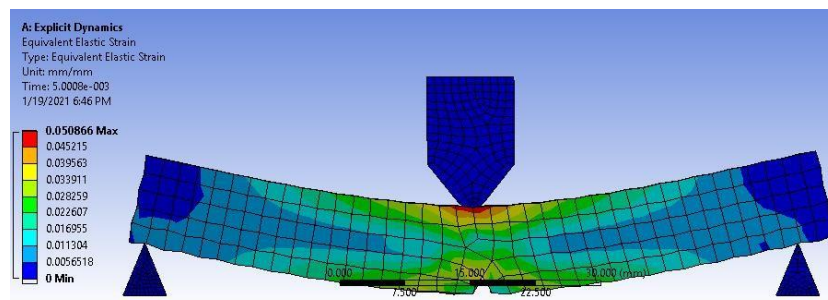
Berdasarkan pada gambar 4.5 bahwa nilai maksimum tegangan von mises pada spesimen dengan ketebalan 4 mm yaitu 24.505 MPa. Sedangkan nilai minimum yaitu 0.044763 MPa. Tegangan yang diterima oleh spesimen diakibat pembebanan impact yang diberikan oleh pendulum. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.5, tegangan terkonsentrasi ditunjukkan dengan warna merah (daerah kritis) pada daerah spesimen yang terkena pendulum dan pada takikan serta mengalami perubahan bentuk.



Gambar 4.6 Tegangan *von mises* 5 mm

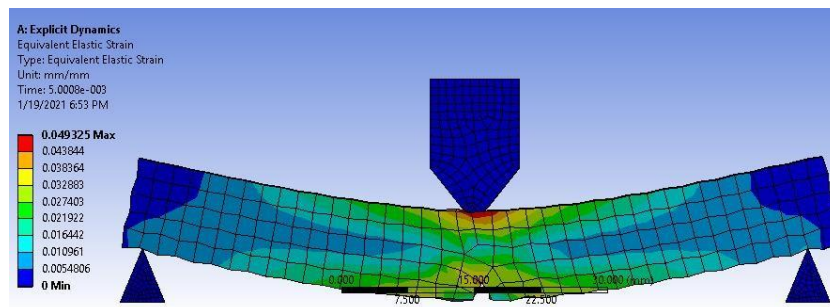
Berdasarkan pada gambar 4.6 bahwa nilai maksimum tegangan von mises pada spesimen dengan ketebalan 5 mm yaitu 24.523 MPa. Sedangkan nilai minimum yaitu 0.063263 MPa. Tegangan yang diterima oleh spesimen diakibat pembebanan impact yang diberikan oleh pendulum. Bedasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.5, tegangan terkonsentrasi ditunjukkan dengan warna merah (daerah kritis) pada daerah spesimen yang terkena pendulum dan pada takikan serta mengalami perubahan bentuk.

4.3.3 Hasil Simulasi Regangan



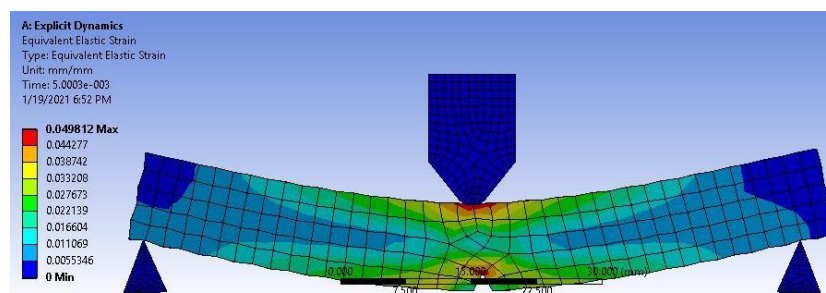
Gambar 4.7 Regangan 3 mm

Berdasarkan pada gambar 4.7 bahwa nilai maksimum regangan pada spesimen dengan ketebalan 3 mm yaitu 0.050866 mm/mm. Regangan yang diterima oleh spesimen diakibat pembebanan impact yang diberikan oleh pendulum. Regangan ditunjukkan dengan warna merah (daerah kritis) pada daerah spesimen yang terkena pendulum dan pada takikan serta mengalami perubahan bentuk.



Gambar 4.8 Regangan 4 mm

Berdasarkan pada gambar 4.8 bahwa nilai maksimum regangan pada spesimen dengan ketebalan 4 mm yaitu 0.049325 mm/mm. Regangan yang diterima oleh spesimen diakibatkan oleh pembebanan impak yang diberikan oleh pendulum. Regangan ditunjukkan dengan warna merah (daerah kritis) pada daerah spesimen yang terkena pendulum dan pada takikan serta mengalami perubahan bentuk.



Gambar 4.9 Regangan 5 mm

Berdasarkan pada gambar 4.9 bahwa nilai maksimum regangan pada spesimen dengan ketebalan 5 mm yaitu 0.049812 mm/mm. Regangan yang diterima oleh spesimen diakibatkan oleh pembebanan impak yang diberikan oleh pendulum. Regangan ditunjukkan dengan warna merah (daerah kritis) pada daerah spesimen yang terkena pendulum dan pada takikan serta mengalami perubahan bentuk.

4.4 Pembahasan Hasil Simulasi

4.4.1 Hasil Pembahasan Data Simulasi Nilai Deformasi Total

Berdasarkan hasil data nilai deformasi total pada spesimen helm dengan variasi ketebalan yang berbeda yaitu 3 mm, 4 mm, 5 mm pada tabel 4.1. Dari tabel tersebut didapatkan hasil terbesar pada ketebalan 3 mm dengan nilai deformasi total yaitu 6.2051 mm. Sedangkan hasil terkecil terdapat pada ketebalan 5 mm dengan nilai deformasi 6.1221 mm. Dan hasil terkecil kedua pada ketebalan 4 mm yaitu 6.1333 mm. Jika dilihat dari hasil tabel deformasi total tersebut maka menunjukkan adanya korelasi antara nilai deformasi total dan ketebalan spesimen helm. Semakin besar ketebalan spesimen helm, maka persentase deformasi total yang ditimbulkan akan semakin kecil.

4.4.2 Hasil Pembahasan Data Simulasi Tegangan dan Regangan

Besarnya tegangan cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya ketebalan spesimen helm. Berbeda dengan ketebalan 3 mm yaitu 25.221 MPa yang memiliki tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan ketebalan 4 mm yaitu 24.505 MPa dan 5 mm yaitu 24.523 MPa pada tabel 4.2. Tegangan yang diterima oleh spesimen helm diakibatkan dari pembebanan yang dihasilkan oleh pendulum. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh simulasi, tegangan terkonsentrasi pada daerah sekitar yang terkena beban pendulum dan mengalami perubahan bentuk. Daerah tersebut berada pada daerah sekitar tumpuan. Apabila tegangan maksimal yang didapatkan dari simulasi bernilai lebih rendah daripada tegangan ijin material, maka spesimen helm tersebut aman digunakan. Maka, jika dibandingkan dengan nilai tegangan *ultimate* yang dimiliki material komposit *epoxy* HGM yaitu sebesar 121,29 Mpa maka material aman digunakan pada spesimen ketebalan 3 mm, 4 mm, dan 5 mm.

Berdasarkan pada tabel 4.3 regangan yang timbul akibat pembebanan menunjukkan hasil regangan yang menurun seiring

bertambahnya ketebalan spesimen helm. Kecuali ketebalan 4 mm dengan hasil 0.49325 mm/mm yang memiliki hasil regangan yang lebih rendah dibandingkan dengan ketebalan 3 mm dan 5 mm. Regangan terbesar terjadi pada spesimen helm dengan ketebalan 3 mm yaitu 0.50866 mm/mm sedangkan ketebalan 5 mm memiliki hasil regangan terendah kedua yaitu 0.49812 mm/mm.

4.5 Hasil Pengujian Uji Impak

Hasil pengujian impak yang telah dilakukan menggunakan alat uji impak *charpy* dan standar pengujian yang digunakan adalah ISO 179-1 untuk mendapatkan kekuatan mekanik uji impak. Berdasarkan hasil dari pengujian impak didapatkan hasil kekuatan dari masing-masing variasi ketebalan dengan persentase rasio volume matrix dan serat yang sama yaitu filter rokok 7.5 %, resin *epoxy* 76.5% dan HGM 16%.



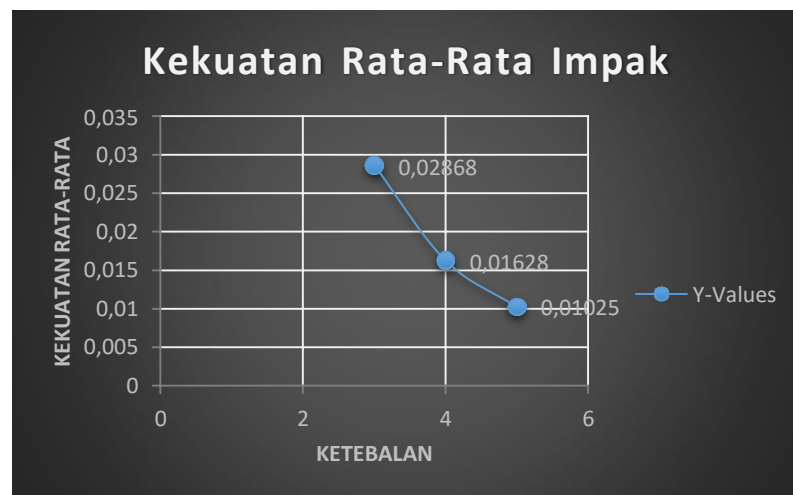
Gambar 4.10 Pengujian uji impak

Adapun didapatkan hasil data dari pengujian untuk kekuatan impak dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian impact

Ketebalan spesimen	Kekuatan Impact (J/mm^2)						Kekuatan Impact Rata-Rata (J/mm^2)
	Replikasi						
	1	2	3	4	5	6	
3 mm	0.0318	0.0340	0.0362	0.0275	0.0191	0.0232	0.02868
4 mm	0.0113	0.0412	0.0113	0.0113	0.0113	0.0113	0.01628
5 mm	0.0165	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.01025

Berdasarkan pengujian uji impact yang telah dilakukan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.5 yang menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekuatan impact maksimum yaitu $0.02868 J/mm^2$ pada ketebalan spesimen 3 mm. Sedangkan nilai rata-rata kekuatan impact minimum yaitu $0.01025 J/mm^2$ pada ketebalan spesimen 5 mm. Dan untuk nilai rata-rata paling rendah kedua yaitu pada ketebalan 4 mm dengan hasil $0.01628 J/mm^2$.



Gambar 4.11 Grafik rata-rata kekuatan impact

Dilihat dari grafik rata-rata kekuatan impact pada gambar 4.11 adanya penurunan kekuatan yang berarti menunjukkan bahwa ketebalan spesimen mempengaruhi kekuatan impact tersebut. Dimana semakin tebal spesimen maka kekuatan impact semakin rendah. penurunan kekuatan terjadi pada ketebalan 5 mm, hal ini dikarenakan adanya pengaruh kondisi

spesimen yang kurang sempurna, di mana terdapat *void*/gelembung udara yang dapat mempengaruhi hasil pengujian tersebut. Dan juga dapat diakibatkan karena pengaruh dari penguat serat dan matrik yang tidak mengikat dengan baik Sehingga ketebalan 5 mm memiliki nilai energi impact dan harga impact yang paling rendah dibandingkan dengan ketebalan yang lainnya. Akan tetapi berbeda halnya pada ketebalan 3 mm yang memiliki nilai energi impact dan harga impact yang paling tinggi dan mempunyai ketangguhan yang paling baik dan keuletan yang tinggi dibandingkan dengan spesimen ketebalan yang lainnya. Di mana, hal ini dikarenakan adanya pengaruh pada proses *curing* (Proses pengeringan) yang lebih cepat dibandingkan dengan spesimen yang lainnya dikarenakan memiliki ukuran ketebalan yang lebih tipis sehingga penguat serat dan matriks dapat mengikat dengan baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan oleh peneliti pada bab sebelumnya mengenai judul **Kaji Eksperimental Material Komposit Berpenguat Limbah Filter Rokok Sebagai Bahan Alternatif Pembuatan Cangkang Helm**, maka didapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembuatan cetakan spesimen dilakukan secara manual dengan bahan kaca dengan ukuran yang sesuai dengan spesimen standar ISO 179-1.
2. Hasil pengujian simulasi yaitu :
 - a. Pada hasil pengujian simulasi total deformasi dengan variasi ketebalan berbeda maka didapatkan hasil terbesar pada ketebalan 3 mm dengan nilai deformasi total yaitu 6.2051 mm. Sedangkan hasil terkecil terdapat pada ketebalan 5 mm dengan nilai deformasi 6.1221 mm. Dan hasil terkecil kedua pada ketebalan 4 mm yaitu 6.1333 mm.
 - b. Pada hasil pengujian simulasi tegangan *non mises* dengan variasi ketebalan berbeda maka didapatkan hasil pada ketebalan 3 mm yaitu 25.221 MPa yang memiliki tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan ketebalan 4 mm yaitu 24.505 MPa dan 5 mm yaitu 24.523 MPa. Dibandingkan dengan nilai tegangan *ultimate* yang dimiliki material komposit epoxy HGM maka material aman untuk digunakan.
 - c. Pada hasil pengujian simulasi regangan dengan variasi ketebalan yang berbeda maka didapatkan hasil ketebalan 4 mm yaitu 0.49325 mm/mm yang memiliki hasil regangan

yang lebih rendah dibandingkan dengan ketebalan 3 mm dan 5 mm. Regangan terbesar terjadi pada spesimen helm dengan ketebalan 3 mm yaitu 0.50866 mm/mm sedangkan ketebalan 5 mm memiliki hasil regangan terendah kedua yaitu 0.49812 mm/mm.

3. Pada pengujian eksperimen yaitu :
 - a. Pada pengujian eksperimen uji impak *charpy* dengan variasi ketebalan yang berbeda maka didapatkan hasil nilai rata-rata kekuatan impak maksimum yaitu 0.02868 J/mm² pada ketebalan spesimen 3 mm. Sedangkan nilai rata-rata kekuatan impak minimum yaitu 0.01025 J/mm² pada ketebalan spesimen 5 mm. Dan untuk nilai rata-rata paling rendah kedua yaitu pada ketebalan 4 mm dengan hasil 0.01628 J/mm².
 - b. Berdasarkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan, untuk hasil pengujian kekuatan impak dibandingkan dengan hasil pengujian kekuatan impak helm SNI sebesar 0,00972 J/mm² (Bagus Tri Mulyo, 2018) maka spesimen yang dibuat lulus uji material untuk helm SNI.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk kesempurnaan dari hasil pengujian, hendaknya memperhatikan kondisi dari spesimen yang akan di uji tersebut, karena kondisi spesimen yang kurang sempurna, seperti terdapat void/gelembung udara dapat mempengaruhi dari hasil pengujian tersebut, serta memperhatikan cuaca pada saat proses pembuatan spesimen.

2. Untuk pengujian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian perbandingan antara filter rokok bekas dengan filter rokok yang baru dan juga melakukan pengujian dengan perbedaan fraksi volume matrik dan serat, serta dengan tambahan pengujian uji SEM.

DAFTAR PUSTAKA

- Aeslina Abdul Kadir, a. A. (2012). Properties Improvement Of Fired Clay Bricks Incorporating With Cigarette Butts .
- Affandi, M. (2015). Analisa Impact pada Variasi Profil Bumper Reinforcement Beam Komposit Epoxy HGM Menggunakan Software Finite Element . *Thesis*, 32.
- Agata Iwan Candra, E. G. (2019). Pemanfaatan Limbah Puntung Rokok Filter Sebagai Bahan Campuran Beton Ringan Berpori.
- Agata Iwan Candra, E. G. (2019). Pemanfaatan Limbah Puntung Rokok Filter Sebagai Bahan Campuran Beton Ringan Berpori . 8.
- Agus Sabarudin, S. M. (2019). PENGARUH ARAH SERAT PADA SERAT AMPAS TEBU POLYMER COMPOSITES . *Momentum*, 157.
- Alaya Fadllu Hadi Mukhammad, B. S. (2014). Studi Kelayakan Mekanik Komposit Serat Rami Acak-Polyester Sebagai Bahan Helm Standar SNI.
- Ali, M. S., Praktikno, H., & Dhanistha, W. L. (2019). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Blasting dengan Coating Campuran Epoxy dan Aluminium Serbuk terhadap Kekuatan Adhesi, Prediksi Laju Korosi, dan Morfologi pada Plat Baja ASTM A36. *Jurnal Teknik ITS*, G66.
- Amri Aji, L. M. (2015). Isolasi Nikotin dari Puntung Rokok sebagai Insektisida. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 100-120.
- Badan Standarisasi Indonesia . (2007). *Standar Nasional Indonesia 1181-2007*. Indonesia: Badan Standardisasi Indonesia (BSN-Indonesia).
- Bagus Tri Mulyo, H. Y. (2018). Analisis kekuatan impak pada komposit serat daun nanas untuk bahan dasar pembuatan helm SNI . *Jurnal Kompetensi Teknik*, 2.
- Dhilif Kumar, A. S. (2017). Perancangan Alat Uji Impak Charpy Sederhana Untuk Material Logam Baja ST 30. *Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, 3.
- Didi Suryana, A. J. (2018). PENGARUH KOMPOSISI KOMPOSIT SERAT-SERAT ECENG GONDOK. *Jurnal Austenit*, 56.
- Fuad Hasan, S. M. (2018). Dampak Substitusi Filter Rokok ke dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall Laston. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Halim, N. G. (2016). Studi eksperimen dan pemodelan finite element material polystyrene untuk impact attenuator kendaraan sapuangin speed. *Skripsi*, 27.

- Handoyo, Y. (2013). PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK METODE CHARPY KAPASITAS 100 JOULE. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 46.
- Hanung Bayu Setiawan, H. Y. (2017). Analisa Teknis Komposit Serat Daun Gebang (*Corypha Utan L.*) Sebagai Alternatif Bahan Komponen Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tekuk dan Impak. *Jurnal Teknik Perkapalan*.
- Harijono, & Purwanto, H. (2017). Analisis Keakuratan Hasil Uji Impact dengan Metode Izod dan Charpy. *Seminar Nasional Hasil Penelitian*, 130.
- Hazmi, B. Z. (2016). PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME, TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING TERHADAP KARAKTERISTIK TARIK KOMPOSIT EPOXY - HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K . 10.
- Huda, K. (2016). Analisa Kekuatan Material Komposit Berpenguat Serat Gelas Untuk Pembuatan Helm Race. 9.
- I Made Agung Dwipayana, K. A. (2020). Analisa Uji Tarik dan Uji Impak Komposit Berpenguat Karbon, Campuran Epoxy-Karet Silikon 30%.40%,50%, Rami, Kenaf Matrik Epoxy.
- I W. Widiarta, I. N. (2018). PENGARUH ORIENTASI SERAT TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT ALAM BATANG KULIT WARU (*HIBISCUS TILIACEUST*) DENGAN MATRIK POLYESTER. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha* , 45-46.
- Islami, A. B. (2020). PENGARUH VARIASI SUSUNAN SERAT ABAKA DENGAN RESIN EPOXY TERHADAP KEKUATAN IMPACT. *Thesis*, 18.
- M. Gokulnath, P. H. (2019). UTILISATION OF CIGARETTE BUTTS IN CLAY BRICKS . *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* , 3240.
- Md Tareq Rahman, A. M. (2020). Possible Recycling of Cigarette Butts as Fiber Modifier in Bitumen for Asphalt Concrete. 1.
- Melsiani Saduk, F. F. (2017). ANALISIS KEKUATAN BENDING DAN KEKUATAN IMPACT KOMPOSIT EPOXY DIPERKUAT SERAT PELEPAH LONTAR. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 122.
- Muhammad Fiqih Arif Rochman, E. S. (2018). Analisa pengaruh variasi holding time dan temperatur aging dengan penambahan bubuk besi pada alumunium 6061 terhadap struktur mikro dan kekerasan setelah perlakuan panas T6. *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin*.
- NW/G15. (2016, Juni 17). *Batu bata dari puntung rokok*. Retrieved from Greeners.co: <https://www.greeners.co/ide-inovasi/batu-bata-puntung-rokok/>

- Perkasa, M. G. (2016). Analisa Pengaruh Komposit Epoxy-Hollow Glass Microspheres Pada Material Luar Helm Dalam Mereduksi Energi Impact. *Journal inotera*, 9-10.
- Pradana, D. K. (2019, September 19). *Rokok filter vs kretek: Mana yang lebih berbahaya?* Retrieved from Hello Sehat: <https://hellosehat.com/hidup-sehat/fakta-unik/bahaya-rokok-filter/?amp>
- Pratowo, B. (2018). ANALISA KEKUATAN MATERIAL VELG SEPEDA MOTOR JENIS CAST WHEEL DAN SPOKE WHEEL TERHADAP PENGUJIAN IMPACT. *Thesis*, 17.
- Pulungan, M. A. (2017). Analisis Kemampuan Rompi Anti Peluru yang Terbuat dari Komposit HGM - Epoxy dan Serat Karbon dalam Menyerap Energi Akibat Impak Peluru. *Jurnal Inotera*.
- Purwanto, E. H. (2016, Agustus). Signifikasi Helm SNI Sebagai Alat Pelindung Pengendara Sepeda Motor Dari Cedera Kecelakaan. *Jurnal Standardisasi*, 16.
- Rinaddin, M. F. (2018). Pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan mekanik material komposit berpenguat jerami padi ditinjau dari kekuatan tarik dan impak. *Skripsi*, 30.
- Rollastin, B. (2017). Material Biokomposit Sebagai Material Alternatif Sungkup Helm . *Jurnal Manutech*.
- Rollastin, B. (2018). Uji Penetrasi Spesimen Pada Sungkup Helm Berbahan Biokomposit Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Helm. *Manutech*, 7.
- Safa'at, A. (2017). Aplikasi Komposit Epoxy – HGM – Carbon Fiber Pada Sungkup Helm Untuk Menahan Penetrasi dan Mereduksi Energi Impact. *Jurnal Inotera*.
- Safa'at, A. (2017). Aplikasi Komposit Epoxy – HGM – Carbon Fiber Pada Sungkup Helm Untuk Menahan Penetrasi dan Mereduksi Energi Impact. *Jurnal Inotera*, 19.
- Sarani, N. A. (2014). Properties and environmental impact of recycling. *Thesis*, 9.
- Siti Hadaina, E. Y. (2016). Studi Cacahan Radiasi Sr-90 dan Am-241 Untuk Beberapa Filter Rokok Komersial Menggunakan Detektor Geiger-Muller. *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*, 3.
- Umam, N. (2015). Analisa Uji Impact pada baja ST60 dengan Variasi Ketebalan Lapisan Karbon Fiber Untuk Aplikasi Kerangka Mobil Listrik. *Thesis*.
- Wiratama, C. (2017, Agustus 27). *Material Komposit-AERO ENGINEERING*. Retrieved from <http://aeroengineering.co.id/2017/08/material-komposit/>: <http://aeroengineering.co.id/2017/08/material-komposit/>

Zulkifli, I. B. (2020). Analisa pengaruh perlakuan kimia pada serat terhadap kekuatan impak charpy. *Jurnal Polimesin*.

LAMPIRAN

Lampiran 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Diah Mayleni

Tempat, Tanggal Lahir : Mabat, 02 Mei 2000

Jenis Kelamin : Perempuan

Agama : Islam

Pendidikan Terakhir : DIV (Teknik Mesin dan Manufaktur)

Alamat : Jl. Raya Sungailiat-Bakam Km 12
RT 007/RW 000 Desa Mabat Kecamatan Bakam
Kabupaten Bangka, Bangka Belitung

Email : diahmayleni020500@gmail.com



Pendidikan Formal

- a. 2005-2011 : SD Negeri 2 Mabat
- b. 2011-2014 : MTs. Al-Islam Kemuja
- c. 2014-2017 : SMK Negeri 1 Bakam
- d. 2017-2021 : POLMAN Negeri Bangka Belitung

Lampiran 2

Perhitungan energi serap impact dan harga impact :

Diketahui : $m = 2.5 \text{ kg}$
 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$
 $r = 0.4 \text{ m}$
 $\cos \alpha = \cos 150^\circ$
 $A = p \times l$

Untuk spesimen ketebalan 3 mm:

Spesimen 1

Diketahui : $\cos \beta = \cos 141^\circ$
 $A = 24 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 141^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.78801 - (-0.86602)) \\ &= 9.8 (0.0780) \\ &= 0.764498 \text{ J} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} HI &= E/A \\ &= 0.764498 \text{ J} / 24 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0318 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

Spesimen 2

Diketahui : $\cos \beta = \cos 141.5^\circ$
 $A = 24 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 141.5^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.78260 - (-0.86602)) \\ &= 9.8 (0.08342) \\ &= 0.81716 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E/A \\
 &= 0.81716 \text{ J} / 24 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0340 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

Spesimen 3

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : } \cos \beta &= 141^\circ \\
 A &= 24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 141^\circ - \cos 150^\circ) \\
 &= 9.8 (-0.77714 - (-0.86602)) \\
 &= 9.8 (0.08888) \\
 &= 0.871024 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E/A \\
 &= 0.871024 / 24 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0362 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

Spesimen 4

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : } \cos \beta &= 143^\circ \\
 A &= 24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 143^\circ - \cos 150^\circ) \\
 &= 9.8 (-0.79863 - (-0.86602)) \\
 &= 9.8 (0.06739) \\
 &= 0.660422 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E/A \\
 &= 0.660422 \text{ J} / 24 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0275 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

Spesimen 5

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : } \cos \beta &= 145^\circ \\
 A &= 24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
&= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 145^\circ - \cos 150^\circ) \\
&= 9.8 (-0.81915 - (-0.86602)) \\
&= 9.8 (0.04687) \\
&= 0.459326 \text{ J}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
HI &= E/A \\
&= 0.459326 \text{ J} / 24 \text{ mm}^2 \\
&= 0.0191 \text{ J/mm}^2
\end{aligned}$$

Spesimen 6

Diketahui : $\cos \beta = 144^\circ$

$$A = 24 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
&= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 144^\circ - \cos 150^\circ) \\
&= 9.8 (-0.80901 - (-0.86602)) \\
&= 9.8 (0.05701) \\
&= 0.558698 \text{ J}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
HI &= E/A \\
&= 0.558698 \text{ J} / 24 \text{ mm}^2 \\
&= 0.0232 \text{ J/mm}^2
\end{aligned}$$

Ketebalan 4 mm

Spesimen 1

Diketahui : $\cos \beta = 146^\circ$

$$A = 32 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
&= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\
&= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \\
&= 9.8 (0.03699)
\end{aligned}$$

$$= 0.362502 \text{ J}$$

$$\begin{aligned} \text{HI} &= E/A \\ &= 0.362502 \text{ J} / 32 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0113 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

Spesimen 2

$$\text{Diketahui : } \cos \beta = 137^\circ$$

$$A = 32 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 137^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.73135 - (-0.86602)) \\ &= 9.8 (0.13467) \\ &= 1.319766 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HI} &= E/A \\ &= 1.319766 \text{ J} / 32 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0412 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

Spesimen 3

$$\text{Diketahui : } \cos \beta = 146^\circ$$

$$A = 32 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \\ &= 9.8 (0.03699) \\ &= 0.362502 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HI} &= E/A \\ &= 0.362502 \text{ J} / 32 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0113 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

Spesimen 4

Diketahui : $\cos \beta = 146^\circ$

$$A = 32 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \\ &= 9.8 (0.03699) \\ &= 0.362502 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E/A \\ &= 0.362502 \text{ J} / 32 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0113 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

Spesimen 5

Diketahui : $\cos \beta = 146^\circ$

$$A = 32 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \\ &= 9.8 (0.03699) \\ &= 0.362502 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E/A \\ &= 0.362502 \text{ J} / 32 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0113 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

Spesimen 6

Diketahui : $\cos \beta = 146^\circ$

$$A = 32 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \end{aligned}$$

$$= 9.8 (0.03699)$$

$$= 0.362502 \text{ J}$$

$$\text{HI} = E/A$$

$$= 0.362502 \text{ J} / 32 \text{ mm}^2$$

$$= 0.0113 \text{ J/mm}^2$$

Ketebalan 5 mm

Spesimen 1

$$\text{Diketahui : } \cos \beta = 143^\circ$$

$$A = 40 \text{ mm}^2$$

$$E = m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 143^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$= 9.8 (-0.79863 - (-0.86602))$$

$$= 9.8 (0.06739)$$

$$= 0.660422 \text{ J}$$

$$\text{HI} = E/A$$

$$= 0.660422 \text{ J} / 40 \text{ mm}^2$$

$$= 0.0165 \text{ J/mm}^2$$

Spesimen 2

$$\text{Diketahui : } \cos \beta = 146^\circ$$

$$A = 40 \text{ mm}^2$$

$$E = m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ)$$

$$= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602))$$

$$= 9.8 (0.03699)$$

$$= 0.362502 \text{ J}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E/A \\
 &= 0.362502 \text{ J} / 40 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0090 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

Spesimen 3

Diketahui : $\cos \beta = 146^\circ$
 $A = 40 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\
 &= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \\
 &= 9.8 (0.03699) \\
 &= 0.362502 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E/A \\
 &= 0.362502 \text{ J} / 40 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0090 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

Spesimen 4

Diketahui : $\cos \beta = 146^\circ$
 $A = 40 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\
 &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\
 &= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \\
 &= 9.8 (0.03699) \\
 &= 0.362502 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 HI &= E/A \\
 &= 0.362502 \text{ J} / 40 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0090 \text{ J/mm}^2
 \end{aligned}$$

Spesimen 5

Diketahui : $\cos \beta = 146^\circ$

$$A = 40 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \\ &= 9.8 (0.03699) \\ &= 0.362502 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E/A \\ &= 0.362502 \text{ J} / 40 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0090 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

Spesimen 6

Diketahui : $\cos \beta = 146^\circ$

$$A = 40 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 2.5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.4 \text{ m} (\cos 146^\circ - \cos 150^\circ) \\ &= 9.8 (-0.82903 - (-0.86602)) \\ &= 9.8 (0.03699) \\ &= 0.362502 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} HI &= E/A \\ &= 0.362502 \text{ J} / 40 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0090 \text{ J/mm}^2 \end{aligned}$$

