



**SIFAT MEKANIK DAN FISIK KOMPOSIT PADA *SOCKET*
KAKI PALSU**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin**

Oleh

Devi Fi'latul Wakhidah

NIM.5212415034

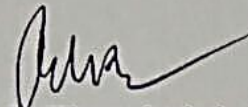
**TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Devi Fiklatul Wakhidah
NIM : 5212415034
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Sifat Mekanik dan Fisik Komposit pada *Socket Kaki Palsu*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 27 Agustus 2020
Pembimbing



Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.
NIP. 196601051990021002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Sifat Mekanik dan Fisik Komposit pada *Socket Kaki Palsu* telah dipertahankan di depan sidang panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 11 September 2020.

Oleh

Nama : Devi Fi'latul Wakhidah
NIM : 5212415034
Program Studi : Teknik Mesin

Panitia

Ketua Panitia



Rusiyanto S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



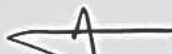
Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. NIP. 197601012003121002

Penguji I



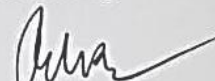
Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP.,
NIP. 197509272006041002

Penguji II



Rusiyanto S.Pd., M.T.,
NIP. 197403211999031002

Pembimbing



Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.,
NIP. 196601051990021002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 27 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan


METERAI
TEMPEL
4A96DAH591961073
6000
ENAM RIBURUPIAH

Devi Fialatul Wakhidah
NIM. 5212415034

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

“Siap susah, siap bahagia.” (Devi Fi’latul Wakhidah).

“Keluarlah maka anda akan mengetahui dunia.” (Devi Fi’latul Wakhidah).

“Kecerdasan tidak banyak berperan dalam proses penemuan. Ada suatu lompatan dalam kesadaran, sebutlah itu intuisi atau apapun namanya, solusinya muncul begitu saja dan kita tidak tahu bagaimana atau mengapa.” (Albert Einstein).

“Harus ada seseorang memulai sesuatu yang tak pernah ada.” (Andrea Hirata).

“Kesuksesan seseorang terlihat dari cara dia berkomunikasi.” (Dr. Wirawan Sumbodo, M.T.)

Persembahan

Untuk Bapak Sakuri, Ibu Dewi, dan adik-adik tersayang.

Untuk Pian Sopyan yang menginspirasi saya untuk hijrah ke arah yang lebih baik.

Untuk rekan TM, PTM, dan PTO 2015 yang turut berpartisipasi.

Untuk semua orang yang telah mendoakan.

SARI

Wakhidah, Devi Fi'latul. 2020. Sifat Mekanik dan Fisik Komposit pada *Socket* Kaki Palsu. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T. Teknik Mesin. Fakultas Teknik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan fisik dari komposit KGK (Katun – Glass – Katun) dan CGC (Carbon – Glass – Carbon) yang digunakan Garuda Medica di Tridadi, Kabupaten Sleman, untuk menyusun *socket* kaki palsu. Komposit KGK dan CGC disusun dengan metode *hand lay-up*. Semua jenis komposit tersebut diuji *bending*, *impact*, densitas, dan porositas.

Nilai kekuatan *bending*, *impact*, dan porositas terbaik terdapat pada komposit CGC, yaitu senilai 189,446 MPa, 0,117 J/mm², 1,203%. Sedangkan nilai densitas terbaik terdapat pada komposit KGK, yaitu senilai 1,256 g/cm³.

Hasil dari masing-masing pengujian menunjukkan lebih unggul komposit CGC, namun komposit KGK juga cukup layak digunakan sebagai material *socket* pengganti komposit CGC.

Kata Kunci: KGK, CGC, *socket*, fraksi berat, karakteristik

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Sifat Mekanik dan Fisik Komposit pada *Socket* Kaki Palsu. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, Dr. Ir. Basyirun, S.Pd., M.T., IPP., Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Kepala Jurusan dan seluruh dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan materi dan pembelajaran sebagai bekal pengetahuan penulis.
4. Dr. Wirawan Sumbodo, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan wawasannya sehingga dapat membantu proses penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP dan Rusiyanto, S.Pd., M.T

selaku Penguji I dan II.

6. Eko Prasetyo, A.Md.OP., selaku pemilik industri Garuda Medica yang telah memberikan bimbingan mengenai pembuatan *socket* kaki palsu.
7. Bapak Liwon dan keluarga selaku pengusaha *coco fiber* yang telah memberikan banyak informasi mengenai sabut kelapa.
8. Bapak Sakuri dan Ibu Dewi selaku orang tua saya yang telah memberikan motivasi dan doanya.
9. Teman-teman Teknik Mesin 2015 yang memberikan masukan dalam penyelesaian skripsi.
10. Berbagai pihak yang memberikan bantuan untuk penyusunan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis berharap semoga skripsi/TA ini dapat menjadi awal yang baik dalam hubungan kerja sama antara perguruan tinggi dengan medis serta bermanfaat untuk penelitian bidang material selanjutnya.

Semarang, 27 Agustus 2020

Penulis,

Devi Fi'latul Wakhidah
NIM. 5212415034

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
SARI.....	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Landasan Teori.....	11
2.2.1 Material Komposit	11

2.2.2 Bahan Penyusun Komposit.....	14
2.2.3 Sifat Mekanik.....	16
2.2.4 Sifat Fisik.....	21
2.2.5 Kaki Palsu (<i>Leg Prosthetic</i>).....	24
BAB III. METODE PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.2 Desain Penelitian.....	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	39
3.4 Parameter Penelitian.....	44
3.5 Teknik Pengumpulan Data	46
3.6 Kalibrasi Instrumen.....	47
3.7 Teknik Analisis Data.....	48
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Data Hasil Pengujian.....	49
4.1.1 Hasil Pengujian <i>Bending</i>	49
4.1.2 Hasil Pengujian <i>Impact</i>	56
4.1.3 Hasil Pengujian Densitas.....	59
4.1.4 Hasil Pengujian Porositas	61
4.2 Analisis Data.....	63
4.2.1 Pengujian <i>Bending</i>	63
4.2.2 Pengujian <i>Impact</i>	66
4.2.3 Pengujian Densitas.....	67
4.2.4 Pengujian Porositas	69

4.3 Pembahasan	71
4.3.1 Sifat Mekanik.....	71
4.3.2 Sifat Fisik.....	74
BAB V. PENUTUP.....	77
5.1 Simpulan.....	77
5.2 Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
DAFTAR LAMPIRAN	84

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

Daftar Singkatan Teknis

AFO	: <i>Ankle Foot Orthosis</i>
Al-Si	: Aluminium Silikon
ASTM	: <i>American Standard Testing and Material</i>
CAT-CAM	: <i>Contoured Anterior Trochanteric-Controlled Alignment Method</i>
CGC	: <i>Carbon Glass Carbon</i>
cm ³	: Centimeter kubik
DIY	: Daerah Istimewa Yogyakarta
GFRP	: <i>Glass Fiber Reinforced Plastic</i>
G	: Gram
GPa	: Giga Pascal
J	: <i>Joule</i>
KGK	: Katun Glass Katun
MEKP	: <i>Methyl Ethyl Ketone Peroxide</i>
mm	: Milimeter
MPa	: Mega Pascal
N	: Newton
NaOH	: Natrium dioksida
TSB	: <i>Total Surface Bearing</i>

Daftar Lambang

A	: Luas permukaan
b	: Lebar; <i>distance</i>
d	: Tebal; <i>depth</i>
E	: Modulus elastisitas
E_p	: Energi potensial; energi yang diserap
g	: Percepatan gravitasi
HI	: Harga; nilai kekuatan <i>impact</i>
L	: Panjang
m	: Nilai kemiringan garis singgung
m_b	: Massa basah
m_f	: Massa di dalam fluida
m_u	: Massa di udara; massa kering
P	: Gaya; beban tekan
R	: Panjang lengan pendulum
r	: Defleksi pada titik yang mengalami regangan maksimum
w_c	: Berat komposit
w_{cr}	: Berat <i>carbon fiber</i>
w_f	: Berat serat
w_G	: Berat <i>glass fiber</i>
w_k	: Berat katalis
w_K	: Berat katun
w_m	: Berat matriks
w_r	: Berat resin

- W_f : Fraksi berat serat
- W_m : Fraksi berat matriks
- V : volume
- v_c : Volume komposit
- v_f : Volume serat
- v_m : Volume matriks
- V_f : Fraksi volume serat
- \bar{X} : Nilai rata-rata
- β : Sudut
- δ : Defleksi; *displacement*
- ϵ : Regangan
- θ_c : Porositas komposit
- ρ_c : Massa jenis komposit
- ρ_f : Massa jenis fluida
- σ_b : Tegangan; kekuatan *bending*

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Modulus Elastisitas Serat Utama	2
Tabel 2.1 Hasil Uji <i>Bending</i> Komposit <i>Glass Fiber</i>	6
Tabel 2.2 Hasil Uji <i>Impact</i> Komposit <i>Carbon Fiber</i>	7
Tabel 2.3 <i>Characterstics of E-Glass Fiber</i>	14
Tabel 2.4 <i>Characteristics of CFRP</i>	15
Tabel 2.5 <i>Characteristics of Cotton</i>	15
Tabel 2.6 Karakteristik Poliester	16
Tabel 2.7 Perbandingan Metode <i>Three Point</i> dan <i>Four Point</i>	17
Tabel 2.8 Perbandingan Metode <i>Charpy</i> dan <i>Izod</i>	20
Tabel 2.9 <i>Mechanical Properties of Knee Prosthesis Materials</i>	25
Tabel 3.1 Jumlah Total Spesimen.....	39
Tabel 3.2 Parameter Pengujian <i>Bending</i>	44
Tabel 3.3 Parameter Pengujian <i>Impact</i>	44
Tabel 3.4 Parameter Pengujian Densitas.....	44
Tabel 3.5 Parameter Pengujian Porositas.....	44
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian <i>Bending</i>	50
Tabel 4.2 Data Nilai Kekuatan <i>Bending</i>	51
Tabel 4.3 Data Nilai Defleksi.....	53
Tabel 4.4 Data Nilai Regangan	54
Tabel 4.5 Data Nilai Modulus Elastisitas.....	56
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian <i>Impact</i>	57
Tabel 4.7 Data Nilai Kekuatan <i>Impact</i>	58

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Densitas.....	59
Tabel 4.9 Data Nilai Densitas.....	60
Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Porositas	61
Tabel 4.11 Data Nilai Porositas.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik Hasil Uji Tarik Komposit Serat Rami	8
Gambar 2.2	Grafik Hasil Uji Tarik pada Bahan <i>Prosthesis</i>	8
Gambar 2.3	Penampang Uji <i>Bending</i>	18
Gambar 2.4	Pembebanan dengan Metode <i>Charpy</i> dan <i>Izod</i>	20
Gambar 2.5	Sistematis Pengujian <i>Impact</i> Metode <i>Charpy</i>	21
Gambar 2.6	<i>Transfemoral or above the Knee Prosthesis, Frontal (Left) and Lateral (Right) View</i>	25
Gambar 2.7	<i>Top (A) and Frontal (B) View of a Definitive TSB Socket; Top (C) and Frontal (D) View of a Definitive CAT-CAM Socket</i>	26
Gambar 2.8	Susunan <i>Layer</i> pada <i>Socket</i> dengan Tebal 3 mm.....	27
Gambar 2.9	Susunan <i>Layer</i> pada <i>Socket</i> dengan Tebal 6 mm.....	27
Gambar 2.10	<i>Socket</i> Komposit KGK dan CGC	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2	Dimensi Spesimen Uji <i>Bending</i> ASTM D 790.....	31
Gambar 3.3	Dimensi Spesimen Uji <i>Impact</i> ASTM D 256.....	32
Gambar 3.4	Dimensi Spesimen Uji Densitas-Porositas	32
Gambar 3.5	Susunan Komposit KGK	46
Gambar 3.6	Susunan Komposit CGC.....	46
Gambar 4.1	Kekuatan <i>Bending</i> Komposit	64
Gambar 4.2	Modulus Elastisitas Komposit	64
Gambar 4.3	Spesimen CGC III.....	65

Gambar 4.4	Spesimen KGK III.....	65
Gambar 4.5	Kekuatan <i>Impact</i> Komposit	66
Gambar 4.6	Spesimen CGC II	67
Gambar 4.7	<i>Failure of KGK Composite</i>	67
Gambar 4.8	Nilai Densitas Komposit.....	68
Gambar 4.9	<i>Front View of CGC Composite</i>	68
Gambar 4.10	Nilai Porositas Komposit	69
Gambar 4.11	<i>Void</i>	70
Gambar 4.12	Robekan pada Lamina	72
Gambar 4.13	<i>Fiber Pull Out</i>	73
Gambar 4.14	<i>Brittle Fracture</i>	73
Gambar 4.15	<i>Void of KGK Composites</i>	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesimen Pengujian <i>Bending</i>	84
Lampiran 2. Spesimen Pengujian <i>Impact</i>	84
Lampiran 3. Spesimen Pengujian Densitas dan Porositas	84
Lampiran 4. Data Hasil Pengujian <i>Bending</i>	85
Lampiran 5. Data Hasil Pengujian <i>Impact</i>	91
Lampiran 6. Perhitungan Tegangan <i>Bending</i>	92
Lampiran 7. Perhitungan Defleksi	94
Lampiran 8. Perhitungan Regangan.....	96
Lampiran 9. Perhitungan Modulus Elastisitas.....	98
Lampiran 10. Perhitungan Kekuatan <i>Impact</i>	100
Lampiran 11. Perhitungan Densitas.....	103
Lampiran 12. Perhitungan Porositas	105
Lampiran 13. Karakteristik Komposit KGK dan CGC.....	107

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penyandang disabilitas fisik (tuna daksa) yang relatif tinggi. Menurut catatan Pusat Data Informasi Nasional pada tahun 2012 penyandang tuna daksa di Indonesia mencapai 717.312 jiwa (PDII, 2012). DIY merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang menempati urutan tertinggi penyandang disabilitas fisik (tuna daksa) dengan presentase 3,89% pada tahun 2012 (Kementrian Kesehatan RI, 2014: 10).

Menurut Jacobus (2017: 20) tuna daksa merupakan individu yang memiliki kelainan atau keterbatasan gerak. Untuk menunjang hidup tuna daksa diperlukan alat bantu. Alat bantu yang diperlukan berupa *prosthesis* maupun *orthosis*. Menurut Craig, 2005 (dalam Irawan, et al., 2009: 41) *prosthesis* merupakan alat bantu yang dibuat untuk menggantikan bagian tubuh tertentu, sedangkan *orthosis* merupakan alat bantu yang digunakan untuk memperbaiki postur dan kontraktur dari otot. Selain itu, juga untuk mendukung posisi sendi agar menjadi normal dan meningkatkan fungsi gerak (Knutson dan Clark., 1991: 958).

Di DIY tepatnya di Tridadi Kabupaten Sleman terdapat industri pembuatan *prosthesis*, yaitu Garuda Medica. Garuda Medica merupakan industri rumahan yang bergerak dalam pembuatan *prosthesis* berupa kaki dan tangan palsu. Selain kaki dan tangan palsu di tempat tersebut juga membuat

produk, seperti *AFO (Ankle Foot Orthosis)*, korset tulang belakang, kolesis, dan lain-lain. Namun yang paling banyak penggunaannya adalah produk kaki palsu.

Garuda Medica (2019), kaki palsu memiliki beberapa komponen penting salah satunya adalah *socket*. *Socket* kaki palsu dibuat dari komposit. Komposit yang digunakan harus memiliki karakter kuat untuk menopang beban tubuh dan lentur (*fleksibel*) untuk menyesuaikan bentuk amputasi. Ada dua jenis komposit yang digunakan pada pembuatan *socket* kaki palsu, yaitu komposit KGK (Katun – Glass – Katun) dan CGC (Carbon – Glass – Carbon). Jenis komposit tersebut disusun dari serat utama, seperti katun dan *carbon* yang memiliki nilai kelenturan atau elastisitas sesuai yang dibutuhkan pada penyusunan kaki palsu. Bukti data nilai elastisitas dari serat utama dapat dilihat pada Tabel 1.1 di bawah ini.

Tabel 1.1 Modulus Elastisitas Serat Utama

No.	Serat Utama	Modulus Elastisitas
1.	<i>Cotton combed 30s</i>	4,8 GPa
2.	<i>Carbon fiber twill cloth</i>	230 GPa

Selain itu, jenis komposit yang digunakan tersebut juga menentukan kualitas dari kaki palsu. Meskipun demikian, perusahaan belum memiliki data mengenai spesifikasi komposit yang digunakan. Industri hanya menggunakan harga pembelian serat sebagai acuan kualitas dan masih mencari tempat pengujian karakterisasi material untuk mengetahui spesifikasi dari komposit. Namun hingga saat ini belum dapat terealisasi karena kurangnya informasi mengenai hal tersebut sehingga industri belum melakukan karakterisasi

terhadap masing-masing komposit pada produk yang dijualnya. Maka dari itu, perlu diketahui spesifikasi komposit yang digunakan dengan melakukan karakterisasi pada komposit untuk mengetahui karakter dari masing-masing komposit yang digunakan pada *socket* kaki palsu.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah didapat identifikasi masalah, sebagai berikut:

1. Komposit CGC merupakan material yang digunakan pada pembuatan *socket* kaki palsu di Garuda Medica, namun dalam penggunaannya masih terdapat kekurangan, yaitu timbulnya rasa gatal karena penggunaan serat karbon. Selain itu, serat karbon juga menghasilkan debu yang berbahaya (Campbell, al., 2012: 1) sehingga perlu adanya material pengganti yang lebih aman dan nyaman bagi pengguna.
2. Komposit CGC (Carbon – Glass – Carbon) merupakan material yang digunakan pada pembuatan *socket* kaki palsu di Garuda Medica, namun tidak terlalu sering digunakan karena harga beli dari serat karbon yang mahal menjadikan harga jual kaki palsu tinggi, hal tersebut juga menyebabkan minat pengguna menurun sehingga perlu adanya material pengganti yang tidak mahal, namun memiliki kekuatan yang mendekati atau sebanding dengan serat karbon.
3. Belum dilakukan karakterisasi untuk mengetahui karakter komposit KGK dan CGC di Garuda Medica sehingga perlu dilakukan karakterisasi terhadap masing-masing komposit tersebut.

1.3 Pembatasan Masalah

Permasalahan dibatasi agar memudahkan pada saat penelitian. Adapun batasan masalah adalah, sebagai berikut:

1. Komposit dibuat dalam bentuk spesimen standar uji.
2. Komposit dinamakan KGK (Katun – Glass – Katun) dan CGC (Carbon – Glass – Carbon). Pembuatan komposit tersebut dilaksanakan di Workshop Garuda Medica Sleman dan Lentera.
3. Komposisi fraksi berat untuk spesimen uji *bending*, yaitu kurang lebih 26% serat dan 74% matriks, sedangkan komposisi untuk spesimen uji *impact*, densitas, dan porositas, yaitu kurang lebih 13% serat dan 87% matriks.
4. Metode pembuatan komposit menggunakan metode *hand lay-up*.
5. Sifat mekanik komposit diketahui dengan melakukan uji *bending* dan *impact*.
6. Sifat fisik komposit dapat diketahui dengan melakukan uji densitas, porositas dan foto struktur makro.

1.4 Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Bagaimana kekuatan *bending* komposit?
2. Bagaimana kekuatan *impact* komposit?
3. Bagaimana nilai densitas komposit?
4. Bagaimana nilai porositas komposit?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk:

1. Mengetahui kekuatan *bending* komposit.
2. Mengetahui kekuatan *impact* komposit.
3. Mengetahui nilai densitas komposit.
4. Mengetahui nilai porositas komposit.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian adalah, sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, mengetahui kekuatan *bending*, kekuatan *impact*, nilai densitas, dan nilai porositas.
2. Bagi mahasiswa, mengetahui aplikasi komposit pada bidang ortopedi.
3. Perguruan tinggi, menambah data hasil penelitian mengenai kekuatan *bending*, kekuatan *impact*, nilai densitas, dan nilai porositas komposit serta menjalin kerja sama antara perguruan tinggi dengan medis.
4. Bagi industri, mendapat data spesifikasi dari hasil pengujian karakterisasi komposit dan informasi mengenai tahapan maupun tempat pengujian karakterisasi untuk komposit pada *socket* kaki palsu produksinya.
5. Bagi perkembangan teknologi, menambah penelitian mengenai biomaterial di Indonesia.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Berbagai penelitian mengenai karakterisasi komposit dari serat sintetis maupun alam sebagai *socket* kaki palsu telah dilakukan. Adapun penelitian yang dimaksud adalah, sebagai berikut:

Penelitian pertama dilakukan oleh El-Wazery, et al (2017), pada penelitian ini menggunakan material *glass fiber*. Karakterisasi penelitian ini menggunakan uji *bending* pada komposit *glass fiber* dengan matriks poliester. Hasil pengujian dari penelitian ini adalah, sebagai berikut:

Tabel 2.1 Hasil Uji *Bending* Komposit *Glass Fiber*
(Sumber: El-Wazery, et al., 2017: 127)

No.	Content (%)	Width (mm)	Thickness (mm)	Max. Load (kN)	Bending strength (MPa)
Control sample	0 %	12,5	5	0,1142	35,33
GFRP 1	15 %	12,5	5	0,1935	44,65
GFRP 2	30 %	12,5	5	0,2433	83,08
GFRP 3	45 %	12,5	5	0,3845	90,55
GFRP 4	60 %	12,5	5	0,4954	119,23

Hasil pengujian di atas menunjukkan kekuatan *bending* tertinggi dari komposit *glass fiber* senilai 119,23 MPa sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit *glass fiber* dengan matriks poliester termasuk material yang memiliki kekuatan *bending* tinggi.

Penelitian kedua dilakukan oleh Pramono dan Sutisna (2017), pada penelitian ini menggunakan material *carbon fiber*. Karakterisasi penelitian ini

menggunakan uji *impact* pada komposit *carbon fiber* dengan metode *hand lay-up*. Hasil pengujian dari penelitian ini adalah, sebagai berikut:

Tabel 2.2 Hasil Uji *Impact* Komposit *Carbon Fiber*
(Sumber: Pramono dan Sutisna, 2017: 4)

No.	Metode Laminasi	Spesimen	E_{serap} (J)	HI (J/mm ²)
1.	<i>Hand lay-up</i>	1	1,667	0,222
		2	2,553	0,338
		3	2,415	0,322
		<i>X</i>	2,212	0,294

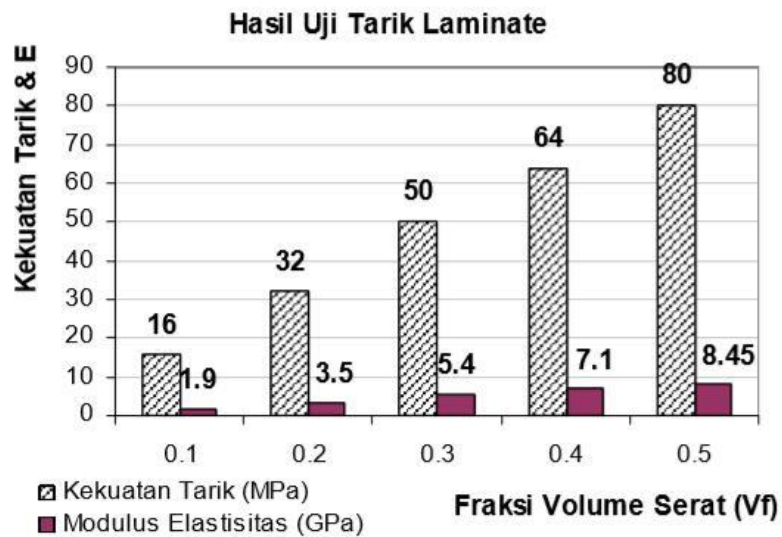
Hasil pengujian di atas menunjukkan nilai penyerapan energi tertinggi didapat pada spesimen kedua sebesar 2,553 J dengan harga *impact* sebesar 0,338 J/mm². Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa komposit yang dibuat menggunakan metode *hand lay-up* ini memiliki nilai kekuatan *impact* yang tinggi.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Irawan, et al (2011), pada penelitian ini menggunakan material rami - epoksi, rami - poliester, dan *glass fiber* - poliester yang disusun secara laminar. Karakterisasi penelitian ini menggunakan uji *impact* pada komposit rami - epoksi, rami - poliester, dan *glass fiber* - poliester yang dibuat dengan metode filamen *winding* menggunakan *dry*. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan *impact* tertinggi yang didapat dari komposit rami - epoksi sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit rami - epoksi dapat digunakan sebagai bahan pembuatan *socket*.

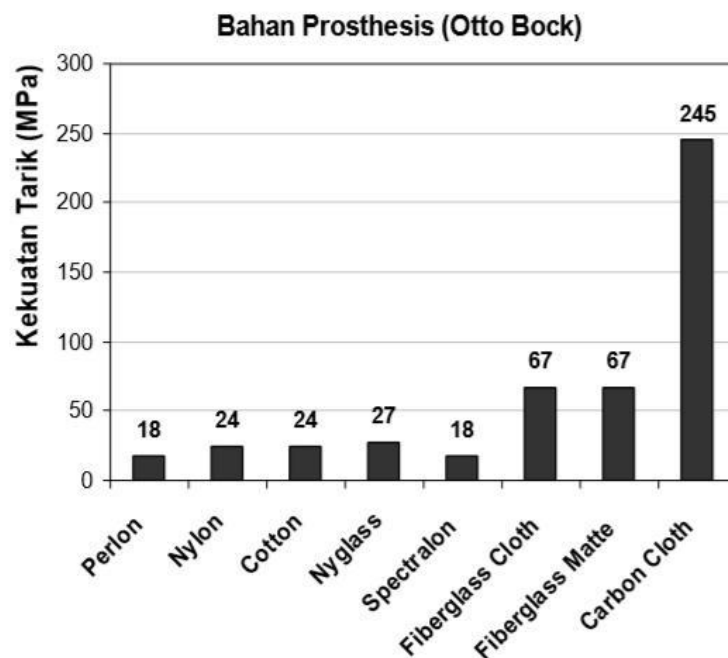
Penelitian keempat dilakukan oleh Irawan, et al (2009), pada penelitian ini menggunakan material serat rami. Karakterisasi pada penelitian ini

menggunakan uji tarik pada komposit serat rami yang akan diterapkan pada *socket prosthesis*. Penelitian ini juga menggunakan variasi fraksi volume serat.

Hasil pengujian dari penelitian ini adalah, sebagai berikut:



Gambar 2.1 Grafik Hasil Uji Tarik Komposit Serat Rami
(Sumber: Irawan, et al., 2009: 43)



Gambar 2.2 Grafik Hasil Uji Tarik pada Bahan *Prosthesis*
(Sumber: Irawan, et al., 2009: 43)

Hasil pengujian di atas menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada komposit serat rami senilai 80 MPa dengan fraksi volume serat 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit serat rami dengan fraksi volume serat 50% memiliki nilai kekuatan tarik lebih tinggi dibanding dengan nilai kekuatan tarik pada *glass fiber* pada penelitian Otto Bock, yaitu senilai 67 MPa. Dengan demikian komposit serat rami dapat digunakan sebagai material pada *socket prosthesis*.

Penelitian kelima dilakukan oleh Widhata, et al (2019), pada penelitian ini menggunakan material serat enceng gondok dan *n-glass* yang bermatriks poliester. Karakterisasi penelitian ini menggunakan uji *bending*. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan *bending* tertinggi, yaitu senilai 82,698 MPa pada komposit *n-glass* sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit *n-glass* cukup layak digunakan sebagai bahan *socket prosthesis*.

Penelitian keenam dilakukan oleh Irawan dan Sukania (2013), pada penelitian ini menggunakan material serat bambu dan matriks epoksi. Karakterisasi penelitian ini menggunakan uji *impact* pada komposit bambu yang dibuat dengan metode *hand lay-up*. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan *impact* tertinggi, yaitu senilai 0,001 J/mm² sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit bambu belum layak digunakan sebagai bahan *socket prosthesis*.

Penelitian ketujuh dilakukan oleh Campbell, et al (2012), pada penelitian ini menggunakan material serat pisang, rami, sisal, lenan, *soya*, jagung, katun, bambu, *carbon fiber*, dan *glass fiber*. Karakterisasi penelitian ini

menggunakan uji tarik. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan tarik tertinggi, yaitu senilai 127,5 MPa pada komposit *carbon fiber* sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit tersebut sangat layak digunakan sebagai bahan *socket prosthesis*.

Penelitian kedelapan dilakukan oleh Abbas (2018), pada penelitian ini menggunakan material *perlon*, *n-glass*, *glass fiber*, dan *carbon fiber*. Karakterisasi penelitian ini menggunakan uji tarik pada komposit laminar. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan tarik tertinggi, yaitu senilai 175 MPa pada komposit laminar dengan susunan 3 *perlon* – 2 *carbon* – 3 *perlon* sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit laminar tersebut layak digunakan sebagai bahan *socket prosthesis*.

Penelitian kesembilan dilakukan oleh Al-Khazraji, et al (2012), pada penelitian ini menggunakan material *glass fiber* – *carbon fiber* – SiO₂, *glass fiber* – *carbon fiber*, *glass fiber*, *carbon fiber*, dan *perlon* yang masing-masing bermatriks epoksi. Karakterisasi penelitian ini menggunakan uji tarik pada komposit laminar. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan tarik tertinggi, yaitu senilai 60,7 MPa pada komposit laminar berpenguat *carbon fiber* sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit laminar tersebut layak digunakan sebagai bahan *socket prosthesis*.

Penelitian kesepuluh dilakukan oleh Nurhanisah, et al (2018), pada penelitian ini menggunakan material kenaf *woven fiber*, *glass silk*, dan *helanca*. Karakterisasi penelitian ini menggunakan uji *bending* dan *impact* pada komposit laminar. Hasil dari penelitian ini adalah kekuatan *bending* dan *impact*

tertinggi, yaitu senilai 7,11 MPa dan 0,017 J/mm² pada komposit laminar dengan susunan 1 *helanca* – 2 kenaf *woven* – 1 *glass silk* – 1 *helanca* sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit laminar tersebut berpotensi sebagai bahan *socket prosthesis*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Material Komposit

A. Pengertian Komposit

Komposit merupakan gabungan antara material matriks dan pengikat. Penggabungan material-material tersebut akan menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanis maupun karakteristik yang berbeda dari penyusunnya sehingga dapat direncanakan material komposit yang diinginkan (Muhajir, et al., 2016: 1).

B. Jenis Komposit

Menurut Oroh, et al (2013: 2) secara umum material komposit diklasifikasikan menjadi empat, yaitu:

- 1) Klasifikasi berdasarkan kombinasi material utama, yaitu serat alami atau sintetis.
- 2) Klasifikasi berdasarkan *bulk form*, yaitu dapat sistem laminar atau matriks.
- 3) Klasifikasi berdasarkan distribusi unsur pokok, yaitu secara *continuous* atau *discontinuous*.
- 4) Klasifikasi berdasarkan fungsi, yaitu untuk struktural atau elektrik.

Menurut Harsi (2015: 61) berdasarkan penguat jenis komposit dibagi menjadi tiga, yaitu:

- 1) Komposit serat (*fibrous composites*) merupakan komposit yang tersusun dari satu laminar atau lapisan yang menggunakan *fiber* sebagai penguat. *Fiber* yang digunakan dapat berupa aramid *fiber*, *glass fiber*, *carbon fiber*, dan sebagainya.
- 2) Komposit laminar (*laminated composites*) merupakan komposit yang tersusun dari dua lapis atau lebih komposit serat yang telah teranyam menjadi sebuah gabungan yang memiliki perbedaan karakteristik setiap lapisnya.
- 3) Komposit partikel (*particulated composites*) merupakan komposit yang tersusun dari partikel atau serbuk sebagai penguat dan dapat terdistribusi secara merata dalam matriks.

Berdasarkan matriksnya material komposit dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu:

- 1) *Metal Matrix Composite (MMC)* merupakan matriks komposit yang tersusun dari bahan Al-Si. Matriks logam ini memiliki sifat mekanik yang baik, antara lain kekuatan, modulus elastisitas, ketangguhan, dan ketahanan *impact*. Selain itu matriks ini tahan terhadap lingkungan destruktif dan suhu tinggi (Djamil dan Siradj, 2011: 112).
- 2) *Ceramic Matrix Composite (CMC)* merupakan matriks komposit yang tersusun dari bahan keramik yang tahan terhadap oksidasi dan suhu tinggi,

namun memiliki kelemahan, yaitu rapuh dan nilai ketangguhan patah rendah (Idris, et al., 2018: 3).

- 3) *Polymer Matrix Composite (PMC)* yang merupakan matriks komposit yang tersusun dari bahan polimer. Matriks ini lebih tahan terhadap korosi dan ringan. Jenis matriks polimer dibedakan menjadi dua, yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaan keduanya adalah untuk termoset tidak dapat didaur ulang, sedangkan termoplastik dapat didaur ulang. Adapun contoh dari matriks polimer termoplastik, seperti *polyethylene (PE)*, *polypropylene (PP)*, *polyethylene*, *polyester*, dan lain-lain (Idris, et al., 2018: 2).

C. Fraksi Volume dan Berat Komposit

Menurut Rahman dan Kamiel (2011: 135), untuk menghitung fraksi volume dan berat dibutuhkan parameter, seperti volume serat, volume matriks, berat serat, berat matriks, dan volume maupun berat komposit. Adapun perhitungan dari volume dan berat komposit, yaitu:

$$v_c = v_f + v_m \dots\dots\dots (2.1)$$

$$w_c = w_f + w_m \dots\dots\dots (2.2)$$

Setelah dilakukan perhitungan untuk mengetahui volume dan berat komposit, selanjutnya kedua parameter tersebut dapat digunakan untuk menentukan fraksi volume dan berat melalui persamaan berikut:

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

v_c : volume komposit (cm³)

- v_f : volume serat (cm^3)
 v_m : volume matriks (cm^3)
 w_c : berat komposit (g)
 w_f : berat serat (g)
 w_m : berat matriks (g)
 V_f : fraksi volume serat (%)
 W_f : fraksi berat serat (%)

2.2.2 Bahan Penyusun Komposit

A. Serat Kaca (*Glass fiber*)

Menurut Raszewski dan Nowakowska (2013: 9) *glass fiber* adalah salah satu jenis serat yang mempunyai nilai estetika baik dibanding jenis serat lain.

Menurut Hartman, et al., 1996 (dalam El-Wazery, et al., 2017: 122) serat kaca merupakan material yang ringan, nilai kekuatan tinggi, dan kuat. Dari sifat serat kaca tersebut sangat menguntungkan dibandingkan dengan material logam. Serat kaca yang berorientasi acak biasa digunakan untuk penguat komposit yang bermatriks resin poliester. Jenis serat kaca ini menggabungkan karakteristik dari *E-Glass* sehingga dapat digunakan sebagai isolasi listrik yang baik. Adapun karakteristik dari *E-glass fiber* adalah, sebagai berikut:

Tabel 2.3 *Characteristics of E-Glass Fiber*
(Sumber: El-Wazery, et al., 2017: 122)

<i>Property</i>	<i>Tensile strength (MPa)</i>	<i>Compressive Strength (MPa)</i>	<i>Elastic modulus (GPa)</i>	<i>Density (g/cm^3)</i>
<i>E-glass</i>	3445	1080	73	2,58

B. Serat Karbon (*Carbon fiber*)

Menurut Ozkan, et al., 2014 (dalam Kumar dan Prasad, 2015: 406) serat karbon merupakan material yang mempunyai spesifikasi modulus tinggi, seperti

kekuatan, kekakuan, dan lain-lain. Sifat termal dan kimia suatu komposit tergantung dari bahan matriks, sedangkan untuk sifat mekanik tergantung dari bahan penguat. Adapun karakteristik dari *carbon fiber reinforced polymer*:

Tabel 2.4 *Characteristics of CFRP*
(Sumber: Panimayam, et al., 2017: 202)

<i>Characteristics</i>	<i>Values</i>
<i>Modulus of elasticity</i>	233,3 GPa
<i>Tensile strength</i>	4216,8 MPa
<i>Ultimate strength</i>	1,8%
<i>Thickness</i>	0,131 mm
<i>Weight of CFRP</i>	$230 \pm 10 \text{ g/m}^2$

C. Kain Katun (*Cotton*)

Menurut John dan Thomas, 2008 (dalam Zuraida, et al., 2011: 928) *cotton* merupakan jenis *soft fiber* yang arah seratnya mempengaruhi kekuatan, daya tahan, dan daya serap. Adapun karakteristik adalah, sebagai berikut:

Tabel 2.5 *Characteristics of Cotton*
(Sumber: Alomayri, et al., 2014: 37)

<i>Materials</i>	<i>Mechanical Properties</i>	<i>Values</i>
<i>Cotton</i>	<i>Tensile strength</i>	400 MPa
	<i>Modulus young</i>	4,8 GPa
	<i>Density</i>	1,54 g/cm ³

D. Resin Poliester

Resin poliester merupakan polimer (zat organik) yang tersusun dari unsur-unsur hidrogen, karbon, dan oksigen yang berwujud cair atau padat. Fungsi dari resin ini sebagai pengikat, seperti lem. Resin ini telah luas penggunaannya dan mudah didapat di pasaran. Karakteristik dari resin ini, yaitu isolator listrik yang baik, nilai kekuatan tinggi, daya *adhesive* baik, fleksibel, dan harga cukup murah (Siregar, et al., 2016: 262). Resin poliester biasa digunakan dengan *hardener*

MEKP (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*). Adapun karakteristik dari poliester adalah, sebagai berikut:

Tabel 2.6 Karakteristik Poliester
(Sumber: Surdia, 2005: 281)

Karakteristik	Nilai
Kekuatan Tarik	40 Mpa
Elongasi	1,8%
Kekuatan tekan	5,5 Mpa
Modulus elastisitas	300 Gpa
Kekuatan <i>impact</i>	0,4J/m
Densitas	1,1 Kg/m ³
Rasio poison	0,33

E. Katalis

Katalis merupakan bahan kimia yang dapat meningkatkan laju reaksi tanpa menyebabkan perubahan kimia pada bahan yang ditingkatkan laju reaksinya (Oroh, et al., 2013: 4).

2.2.3 Sifat Mekanik

A. Uji Lentur (*Bending test*)

Dengan dilakukan uji *bending* dapat diketahui ketahanan komposit terhadap pembebanan pada titik lentur tertentu. Selain itu, dapat diketahui juga keuletan dari suatu material (Oroh, et al., 2013: 4). Metode pada uji *bending* dibedakan menjadi dua, yaitu metode *three point* dan *four point*. Kedua metode tersebut digunakan sesuai pengaplikasian dari material uji, namun kedua metode tersebut juga memiliki kelebihan maupun kekurangan. Adapun kelebihan dan kekurangan dari kedua metode, adalah sebagai berikut:

Tabel 2.7 Perbandingan Metode *Three Point* dan *Four Point*

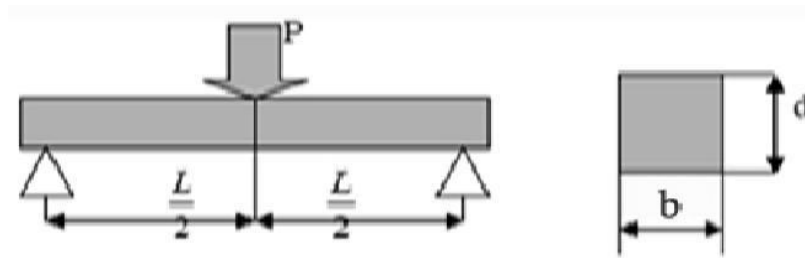
Metode	Kelebihan	Kekurangan
<i>Three point bending</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Persiapan spesimen uji dan pengujian lebih mudah. • Pembuatan <i>point</i> lebih mudah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan titik tengah sulit sehingga apabila belum mencapai hal tersebut dapat berdampak pada perubahan persamaan. • Sering terjadi pergeseran spesimen saat pengujian.
<i>Four point bending</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Penggunaan persamaan lebih mudah. • Hasil pengujian lebih akurat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pembuatan <i>point</i> lebih rumit. • Kedua <i>point</i> harus menekan spesimen uji secara bersamaan.

Berdasarkan Tabel 2.7 di atas, dengan mempertimbangkan dari kemudahan pembuatan *point* maka metode yang digunakan dalam pengujian *bending* pada penelitian ini adalah *three point bending*. *Three point bending* merupakan pengujian pembebanan dengan dua titik tumpu di bagian bawah dan pembebanan pada satu titik di bagian atas. Mengacu ASTM D 790-03 material yang homogen menggunakan metode pengujian *three point*, yaitu pengujian dengan meletakkan dua titik untuk dudukan kemudian melakukan pembebanan pada tengah spesimen yang (berbentuk batang) yang akan diuji dari metode ini diperoleh tegangan maksimum yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma_b = \frac{3.P.L}{2.b.d^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

- σ_b : tegangan *bending* (MPa)
- P : beban tekan (N)
- L : panjang spesimen (mm)
- b : lebar spesimen (mm)
- d : tebal spesimen (mm)



Gambar 2.3 Penampang Uji *Bending*
(Sumber: Oroh, et al., 2013: 4)

Nilai defleksi pada spesimen dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\delta = \frac{r \cdot L^2}{6 \cdot d} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

- δ : defleksi (mm)
- r : defleksi pada titik yang mengalami regangan maksimum (mm/mm)
- L : panjang spesimen (mm)
- d : tebal spesimen (mm)

Nilai regangan pada spesimen dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\epsilon = \frac{6 \cdot \delta \cdot d}{L^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

- ϵ : regangan (mm/mm)
- δ : defleksi (mm)
- d : tebal spesimen (mm)
- L : panjang spesimen (mm)

Nilai modulus elastisitas pada spesimen dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$E = \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

E : modulus elastisitas (MPa)

L : panjang spesimen (mm)

m : kemiringan garis singgung (N/mm)

b : lebar spesimen (mm)

d : tebal spesimen (mm)

B. Uji *Impact* (*Impact test*)

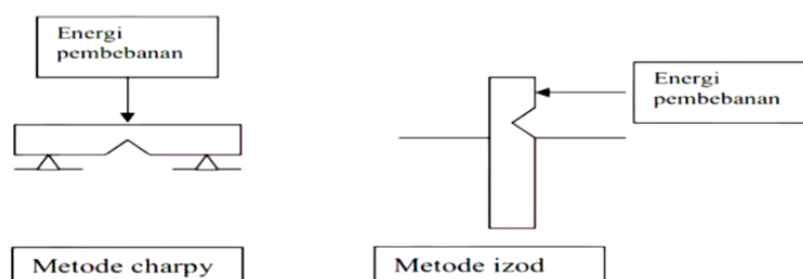
Menurut Dieter, 1988 (dalam Handoyo, 2013: 45) uji *impact* digunakan untuk menentukan sifat ketangguhan suatu material, namun hasil dari uji *impact* tidak dapat membaca kondisi perpatahan dari spesimen atau batang uji secara langsung. Dalam menentukan perpatahan rapuh pada material, spesimen dibentuk menjadi batang bertakik. Ada dua metode yang digunakan pada uji *impact*, yaitu metode *charpy* dan *izod*. Dua metode tersebut mempunyai beberapa kesamaan, yaitu pada aturan pembuatan batang bertakik, seperti sudut kemiringan takik 45° (berbentuk v), kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0,25 mm. Perbedaan dua metode tersebut terletak pada posisi dan proses pembebanan. Untuk spesimen atau batang uji dengan metode *charpy* diletakkan secara horizontal pada batang tumpu dan diberi beban secara tiba-tiba oleh pendulum yang berayun dengan kecepatan pembebanan ± 5 m/s di belakang sisi takik. Karena pembebanan tersebut batang uji akan mendapat energi untuk melengkung kemudian patah saat mencapai laju regangan tertinggi. Untuk spesimen atau batang uji dengan metode *izod* memiliki luas penampang yang berbeda dan takik (berbentuk v) jaraknya lebih dekat dengan ujung batang. Sistematis pengujiannya, spesimen atau batang uji diletakkan secara vertikal dengan mencekam bagian bawah batang uji kemudian diberikan beban secara tiba-tiba oleh pendulum pada sisi atas batang uji yang sudah dibentuk takik.

Selain itu, kedua metode tersebut juga memiliki kelebihan maupun kekurangan. Adapun kelebihan dan kekurangan dari kedua metode, adalah sebagai berikut:

Tabel 2.8 Perbandingan Metode *Charpy* dan *Izod*

Metode	Kelebihan	Kekurangan
<i>Charpy</i>	Pendistribusian tegangan merata.	Tidak ada pencekam pada spesimen uji sehingga mudah terjadi pergeseran pada spesimen uji saat melakukan pengujian.
<i>Izod</i>	Beban terpusat pada satu sisi.	Ada pencekam pada spesimen uji namun memerlukan waktu yang cukup lama untuk mencekam spesimen uji agar tidak terjadi pergeseran.

Berdasarkan Tabel 2.8 di atas, dengan mempertimbangkan dari meratanya pendistribusian tegangan yang sesuai pada pengaplikasian pada penelitian maka metode yang digunakan pada pengujian *impact* pada penelitian ini adalah metode *charpy*.



Gambar 2.4 Pembebanan dengan Metode *Charpy* dan *Izod*
(Sumber: Handoyo, 2013: 46)

Menurut Sari, et al (2014: 39) untuk menghitung energi yang diserap oleh batang uji dapat menggunakan persamaan:

$$E_{\text{serap}} = E_p = m \cdot g \cdot R \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

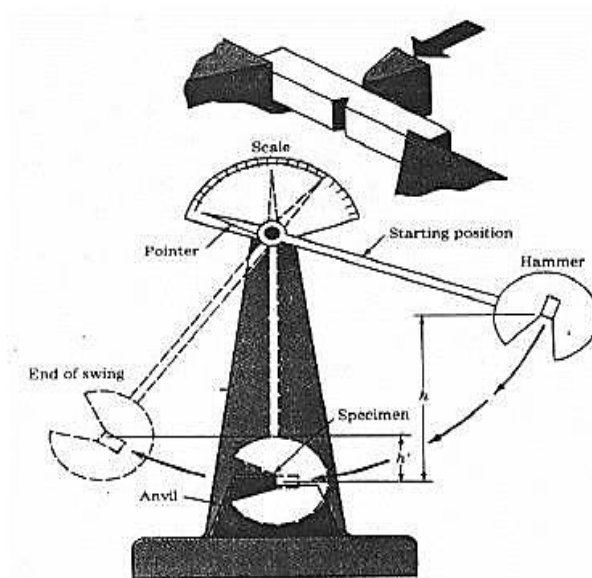
- E_p : energi yang diserap (J)
 m : massa pendulum (Kg)
 g : percepatan gravitasi (m/s^2)
 R : panjang lengan (m)
 α : sudut pendulum sebelum diayunkan ($^\circ$)
 β : sudut pendulum setelah diayunkan ($^\circ$)

Menurut Purboputro dan Hariyanto (2017: 67) untuk kekuatan *impact* dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$HI = \frac{E_p}{A} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

- HI : harga atau nilai kekuatan *impact* (J/mm^2)
 E_p : energi yang diserap (J)
 A : luas penampang (mm^2)



Gambar 2.5 Sistematis Pengujian *Impact* Metode *Charpy*
 (Sumber: Furkan, et al., 2020: 51)

2.2.4. Sifat Fisik

A. Uji Densitas (*Density Test*)

1) Pinsip Archimedes

Menurut Sartorius (1999: 7) untuk mengukur densitas suatu benda padat dapat dilakukan pengukuran dengan metode Archimedes. Prinsipnya mengacu pada persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

- ρ : densitas atau massa jenis (kg/m^3)
 m : massa (kg)
 V : volume (m^3)

Untuk mengetahui nilai densitas harus mengetahui massa dan volume dari benda padat tersebut. Untuk mengetahui massa dari benda dapat dilakukan pengukuran massa menggunakan neraca digital yang memiliki akurasi 0,001 g, sedangkan untuk mengetahui volume secara langsung dengan ketentuan:

- (a) Hasil pengukuran tidak harus memiliki keakuratan dan standar yang tinggi.
- (b) Pengukuran volume yang dilakukan pada benda yang berbentuk geometris, seperti balok, silinder, dan sebagainya.
- (c) Mengukur volume zat cair menggunakan gelas ukur, sedangkan untuk mengukur volume benda padat dapat dilakukan perendaman benda padat ke dalam bejana yang berisi air dan kemudian mengukur kenaikan permukaan air saat dilakukan perendaman pada benda padat ke dalam bejana tersebut.

2) Densitas

Densitas merupakan kerapatan atau kepadatan suatu zat yang dinyatakan dalam massa per satuan volume. Densitas dapat juga disebut massa jenis zat,

apabila massa jenis suatu zat besar maka volume dari suatu zat juga besar. Pengukuran densitas suatu zat mengacu pada hukum Archimedes dimana setiap benda yang masuk sebagian maupun seluruhnya ke dalam fluida akan mendapat gaya apung sebesar fluida yang dipindahkan akibat benda tersebut (Pertiwi, et al., 2015: 1).

Menurut Barsom, 1997 (dalam Siswanto dan Nurzal., 2012: 3) untuk menghitung nilai densitas dapat menggunakan persamaan:

$$\rho_c = \frac{m_u}{(m_u - m_f)} \times \rho_f \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

- ρ_c : densitas atau massa jenis komposit (g/cm³)
- m_u : massa spesimen kering (g)
- m_f : massa spesimen mengapung dalam air (g)
- ρ_f : massa jenis air (g/cm³)

B. Uji Porositas (*Porosity Test*)

Menurut Nugroho, et al (2011: 128) porositas merupakan kemampuan dari material. Porositas terbentuk akibat adanya ruang kosong (*void*) pada material.

Menurut Athy, 1930 (dalam Pertiwi, et al., 2015: 1) porositas (*porosity*) merupakan dimensi ruang kosong yang berada di antara material yang berupa fraksi dari volume terhadap total dengan presentase 0-100%. Adapun persamaan perhitungan porositas adalah, sebagai berikut:

$$\theta_c = \frac{(m_b - m_u)}{(m_b - m_f)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

- θ_c : porositas komposit (%)
- m_u : massa spesimen kering (g)

m_f : massa spesimen mengapung dalam air (g)

m_b : massa spesimen basah (g)

2.2.5 Kaki Palsu (*Leg Prosthetic*)

A. Pengertian *Leg Prosthetic*

Menurut Basu, et al., 2008 (dalam Chien, et al., 2014: 3178) amputasi merupakan suatu kondisi lumpuh yang dapat mempengaruhi kualitas dan mobilitas hidup individu sehingga masyarakat yang mengalami amputasi pada anggota gerak bawah akibat dari kecelakaan dan penyakit degeneratif membutuhkan alat bantu berupa *prosthesis* (Campbell, 2002 dalam Irawan dan Sukania, 2015: 291). *Prosthesis* merupakan komponen yang digunakan untuk menggantikan bagian tubuh manusia (Irawan, 2009: 41). *Prosthesis* juga merupakan perangkat yang digunakan untuk merealisasikan tindakan korektif dalam jumlah besar yang diterapkan pada amputasi tubuh bagian atas maupun bawah. Selain itu, dirancang untuk meniru fungsi sambungan dan gaya kinematis pada kerangka pasien (Dhokia dan Seminati, 2017: 477).

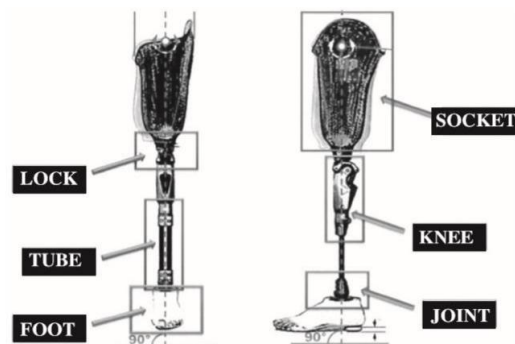
B. Klasifikasi *Leg Prosthetic*

Menurut Gunawardena, et al 2004 (dalam Craig, J., 2005: 48) berdasarkan bagian amputasi pada anggota gerak bawah *prosthesis* dibedakan menjadi dua, yaitu *prosthesis* atas lutut (*transfemoral amputees*) dan bawah lutut (*transtibial amputees*).

C. Bagian-bagian *Leg Prosthetic*

Menurut Tang, et al., 2008 dan Radcliffe, 1994 (dalam Phanphet, et al., 2017: 86) kekuatan dan tingkat aktivitas bagian yang teramputasi menentukan

jenis dari *prosthesis* lutut. Secara garis besar bagian mekanis dari *prosthesis* lutut, yaitu palang persendian, lutut polidentris, dan sumbu tunggal pada tengah *prosthesis*. Untuk bagian yang lebih spesifik dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.6 *Transfemoral or above the Knee Prosthesis, Frontal (Left) and Lateral (Right) View*
(Sumber: Facchetti, et al., 2010: 724)

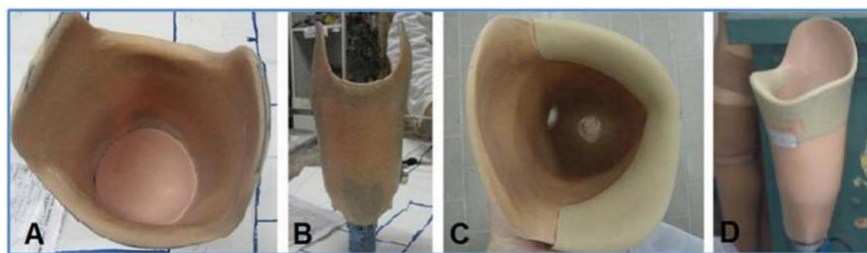
Setiap bagian memiliki standar maupun ketentuan yang berbeda, seperti kekuatan, estetika, dan fleksibilitas sehingga material yang digunakan untuk pembuatan bagian-bagian tersebut berbeda dapat berupa material sintetis maupun biomaterial (Me, et al., 2012: 28). Adapun sifat mekanik pada material yang terdapat pada penyusun *prosthesis* lutut, yaitu:

Tabel 2.9 *Mechanical Properties of Knee Prosthesis Materials*
(Sumber: Phanphet, 2017: 87)

Material/Properties	Density (g/cm ³)	Young's Modulus (GPa)	Yield Stress (MPa)	Poisson's Ratio	Ultimate stress (MPa)
1. Aluminum ADC 12	2.823	71.0	144.35	0.33	205.31
2. SUS 304	8.00	200	250	0.29	505
3. SUS 630 (H900)	7.80	196	1034	0.272	1241
4. Ester Polyurethane (PU)	1.2	0.0689	56	0.4	56

D. Socket of leg prosthetic

Menurut Facoetti, et al (2010: 724) *socket* merupakan bagian terpenting dan bentuknya sesuai amputasi serta menentukan fungsional dari *prothesis*. Secara spesifik *socket* dibedakan menjadi dua model, yaitu *TSB (Total Surface Bearing)* dan *CAT-CAM (Contoured Anterior Trochanteric-Controlled Alignment Method)*. *TSB* digunakan untuk amputasi transtibial, sedangkan *CAT-CAM* digunakan untuk amputasi transfemoral. Model *socket* tersebut banyak digunakan karena yang paling nyaman untuk pasien. Selain itu dapat menyesuaikan kontak permukaan total antara tunggul (*stump*) dengan *socket*.



Gambar 2.7 Top (A) and Frontal (B) View of a Definitive TSB Socket; Top (C) and Frontal (D) View of a Definitive CAT-CAM Socket
(Sumber: Facoetti, et al., 2010: 724)

Sebelum menyusun sebuah *socket* perlu dilakukan perhitungan ketebalan *socket*. Ketebalan tersebut diketahui melalui persamaan 2.14. Ketebalan *socket* juga menjadi acuan jumlah *layer* yang akan digunakan.

$$\text{Socket thickness} = \frac{\text{Patient weight}}{20} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

- Socket thickness* : ketebalan *socket* (mm)
- Patient weight* : berat badan pasien (kg)

Persamaan 2.14 tersebut juga menjadi acuan di Garuda medica dalam penyusunan *socket*. Tebal *socket* yang disusun rata-rata 3 mm untuk pasien yang memiliki berat badan 60 kg dan 4-6 mm untuk pasien dengan berat badan 60 kg ke atas. Adapun susunan *layer* yang digunakan adalah, sebagai berikut:

Polyvinyl Clorida (PVC)
Katun/Carbon fiber
Katun/Carbon fiber
Glass fiber
Katun/Carbon fiber
Katun/Carbon fiber
Polyvinyl Clorida (PVC)

Gambar 2.8 Susunan *Layer* pada *Socket* dengan Tebal 3 mm

Polyvinyl Clorida (PVC)
Katun/Carbon fiber
Katun/Carbon fiber
Katun/Carbon fiber
Katun/Carbon fiber
Glass fiber
Glass fiber
Katun/Carbon fiber
Katun/Carbon fiber
Katun/Carbon fiber
Katun/Carbon fiber
Polyvinyl Clorida (PVC)

Gambar 2.9 Susunan *Layer* pada *Socket* dengan Tebal 6 mm



Socket Komposit KGK



Socket Komposit CGC

Gambar 2.10 *Socket* Komposit KGK dan CGC

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

3.1.1 Waktu Pelaksanaan

Penelitian akan dilaksanakan pada rentang waktu 12 bulan dari bulan Agustus 2019 s.d Agustus 2020.

3.1.2 Tempat Pelaksanaan

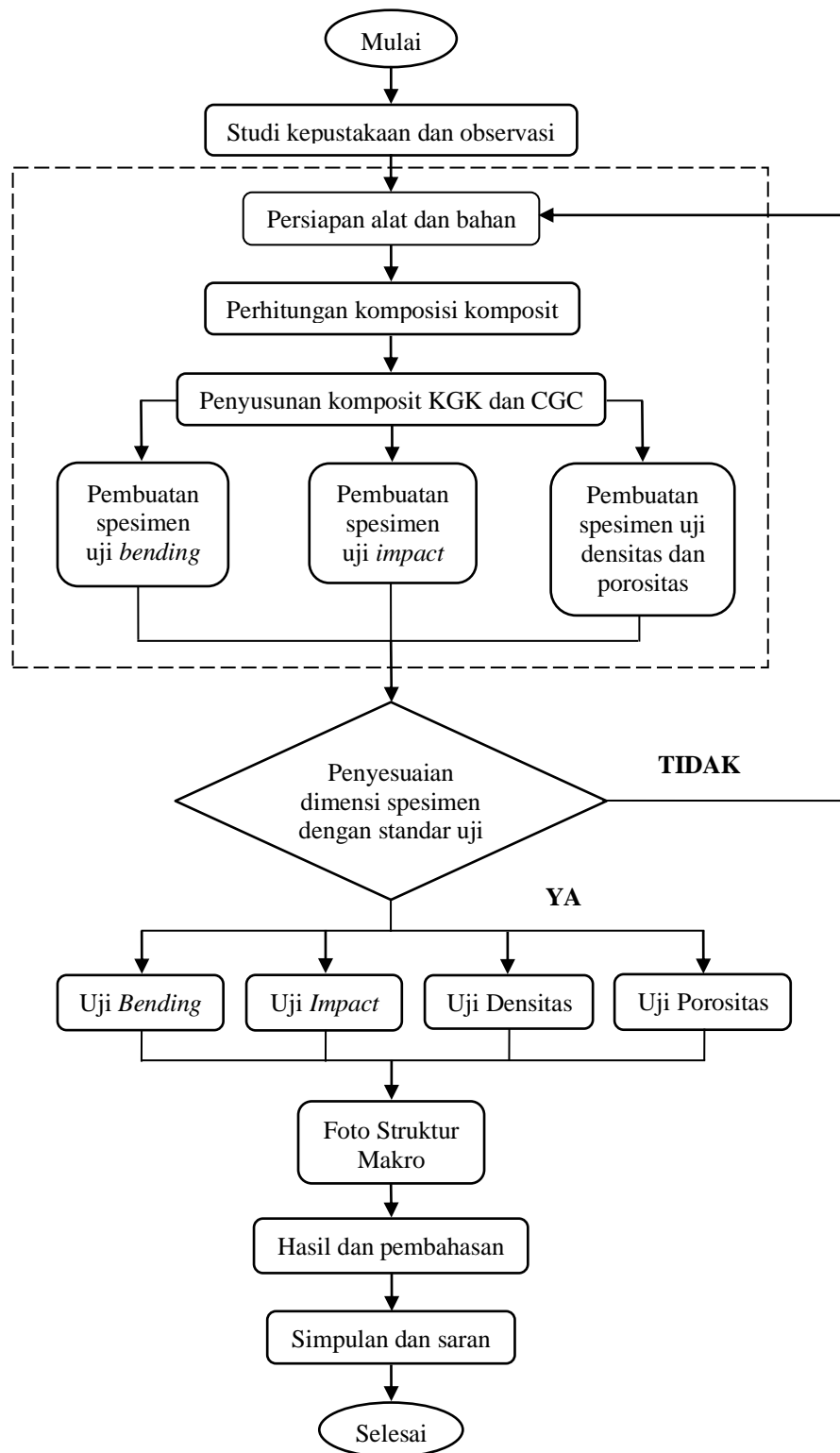
Dengan mempertimbangkan estimasi waktu dan biaya pembuatan material komposit akan dilaksanakan di Workshop Garuda Medica dan Lentera, sedangkan untuk proses manufaktur, uji *bending*, *impact*, densitas, dan porositas akan dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi dan Pengujian Bahan di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

3.2 Desain Penelitian

Penelitian mengenai sifat mekanik dan fisik komposit pada *socket* kaki palsu dilakukan dari proses perhitungan komposisi serat dan resin hingga proses penyusunan komposit.

3.2.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini dijelaskan dengan diagram alir pada halaman selanjutnya.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini mengacu langkah-langkah dari diagram alir di atas. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan:

A. Studi kepustakaan

Pada penelitian ini studi pustaka dilakukan dengan mencari data dari berbagai macam dokumen berupa buku, jurnal, laporan, skripsi, dan tesis dari penelitian sebelumnya yang menyajikan data guna mendukung penelitian ini. Kemudian data tersebut dirangkum menjadi rangkuman referensi yang relevan.

B. Observasi

Pada penelitian ini observasi dibagi menjadi dua, yaitu observasi alat dan bahan. Observasi alat dilaksanakan dengan mengamati langsung praktik penggunaan mesin uji *bending*, *impact*, densitas, dan foto struktur makro di Laboratorium Metalurgi dan Pengujian Bahan jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unnes.

Untuk observasi bahan dengan melakukan survei spesifikasi dan harga di Yogyakarta, sedangkan untuk memudahkan mencari material yang belum banyak di pasaran dengan melalui situs jual beli *online* serta untuk mengetahui tahap pembuatan komposit dengan melakukan pengamatan pada pembuatan *socket* kaki palsu secara langsung. Kemudian melakukan simulasi pembuatan spesimen di Workshop Garuda Medica Sleman.

C. Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini persiapan alat dan bahan dilaksanakan di Workshop Garuda Medica Sleman dan Lentera. Bahan yang dipersiapkan berupa *glass*

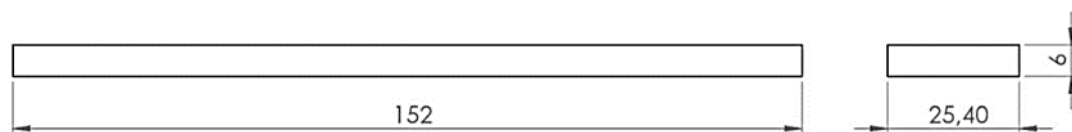
fiber, *carbon fiber*, katun, resin poliester, katalis, *release agent*, dan amplas, sedangkan untuk alat yang dibutuhkan, yaitu cetakan kaca, gelas takar plastik, gelas ukur kaca, pipet, pengaduk kaca, gunting kain, spidol permanen, penggaris, sigmat, masker, sarung tangan kimia, dan clemek. Selain itu, alat berupa mesin juga digunakan, seperti gerinda potong, mesin uji *bending*, mesin uji *impact*, dan neraca digital. Untuk mendapat bantuan berupa peminjaman alat perlu menyiapkan surat perizinan peminjaman alat kepada Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unnes.

D. Menentukan Dimensi Spesimen Komposit

Penentuan dimensi material komposit mengacu standarisasi pengujian yang akan dilakukan. Standar uji yang digunakan adalah, sebagai berikut:

1) Uji *Bending*

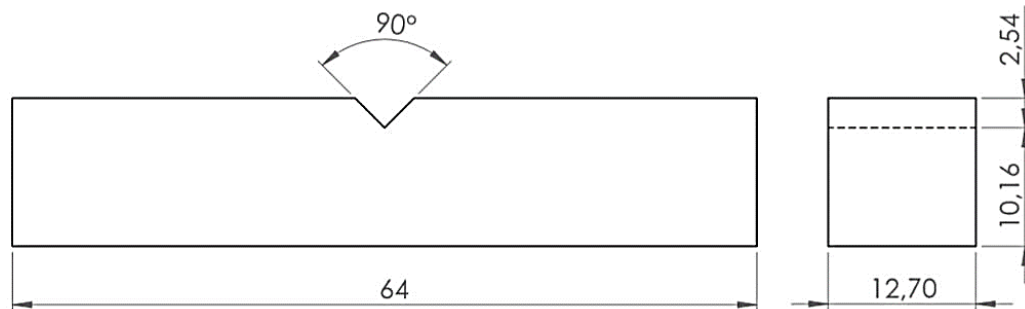
Pada pengujian ini menggunakan metode *three point* dan mengacu standar ASTM D 790 dengan ketentuan dimensi:



Gambar 3.2 Dimensi Spesimen Uji *Bending* ASTM D 790

2) Uji *Impact*

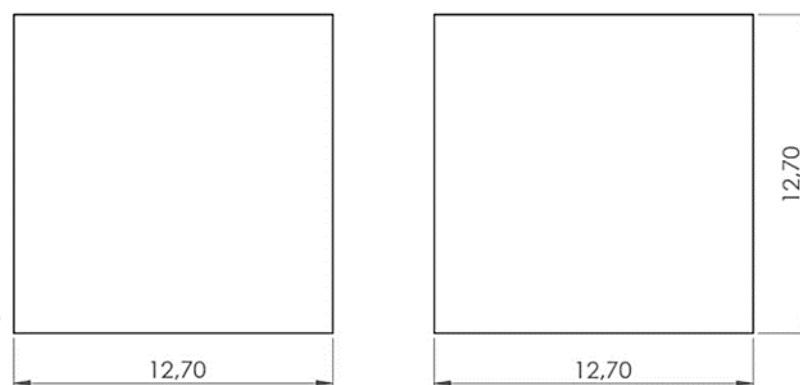
Pada pengujian ini menggunakan metode *charpy* dan mengacu standar ASTM D 256 dengan ketentuan dimensi:



Gambar 3.3 Dimensi Spesimen Uji *Impact* ASTM D 256

3) Uji Densitas dan Porositas

Pada pengujian ini tidak menggunakan acuan standarisasi, namun tetap menggunakan metode, yaitu metode Archimedes. Adapun dimensi dari spesimen yang akan dibuat adalah, sebagai berikut:



Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Uji Densitas-Porositas

E. Menentukan Dimensi Cetakan

Dimensi cetakan menyesuaikan ukuran standar spesimen dari tiap-tiap pengujian. Pada penelitian ini cetakan komposit untuk uji *impact* dan densitas yang disebut cetakan A memiliki dimensi (185 x 90 x 30) mm, sedangkan

cetakan komposit untuk uji *bending* juga disebut cetakan B yang memiliki dimensi (183 x 183 x 20) mm agar dapat meminimalisir pembuangan sisa bahan penelitian.

F. Tahap-tahap Pembuatan Spesimen

1). Perhitungan Komposisi

Sebelum tahap penyusunan komposit diperlukan perhitungan komposisi fraksi berat sehingga komposisi komposit yang akan disusun sesuai dengan komposisi komposit pada *socket* di Garuda Medica. Perhitungan komposisi mengacu pada fraksi berat melalui Persamaan 2.2 dan 2.4. Adapun perhitungan fraksi berat adalah, sebagai berikut:

a. Komposit KGK *Bending*

Diketahui:

Berat katun (w_K) : 45,7 g

Berat *glass fiber* (w_G) : 10 g

Berat resin (w_r) : 160 g

Berat katalis (w_k) : 1 g

Ditanya: komposisi fraksi berat serat (w_f) dan matriks (w_m)?

Dijawab:

Menghitung berat total serat (w_f) dan matriks (w_m):

$$\begin{array}{l|l} w_f = w_K + w_G & w_m = w_r + w_k \\ = 45,7 + 10 & = 160 + 1 \\ = 55,7 \text{ g} & = 161 \text{ g} \end{array}$$

Menghitung berat komposit (w_c):

$$\begin{aligned} w_c &= w_f + w_m \\ &= 55,7 + 161 \\ &= 216,7 \text{ g} \end{aligned}$$

Menghitung komposisi fraksi berat serat (w_f) dan matriks (w_m):

$$\begin{array}{l|l}
 W_f = \frac{w_f}{w_c} \times 100\% & W_m = \frac{w_m}{w_c} \times 100\% \\
 = \frac{55,7}{216,7} \times 100\% & = \frac{161}{216,7} \times 100\% \\
 = 0,257 \times 100\% & = 0,743 \times 100\% \\
 = \mathbf{25,7 \%} & = \mathbf{74,3 \%}
 \end{array}$$

b. Komposit KGK *Impak*, Densitas, dan Porositas

Diketahui:

Berat katun (w_K) : 21,5 g

Berat *glass fiber* (w_G) : 5,4 g

Berat resin (w_r) : 177 g

Berat katalis (w_k) : 1 g

Ditanya: komposisi fraksi berat serat (W_f) dan matriks (W_m)?

Dijawab:

Menghitung berat total serat (w_f) dan matriks (w_m):

$$\begin{array}{l|l}
 w_f = w_K + w_G & w_m = w_r + w_k \\
 = 21,5 + 5,4 & = 177 + 1 \\
 = 26,9 \text{ g} & = 178 \text{ g}
 \end{array}$$

Menghitung berat komposit (w_c):

$$\begin{aligned}
 w_c &= w_f + w_m \\
 &= 26,9 + 178 \\
 &= 204,9 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Menghitung komposisi fraksi berat serat (W_f) dan matriks (W_m):

$$\begin{array}{l|l}
 W_f = \frac{w_f}{w_c} \times 100\% & W_m = \frac{w_m}{w_c} \times 100\% \\
 = \frac{26,9}{204,9} \times 100\% & = \frac{178}{204,9} \times 100\% \\
 = 0,131 \times 100\% & = 0,869 \times 100\% \\
 = \mathbf{13,1 \%} & = \mathbf{86,9 \%}
 \end{array}$$

c. Komposit CGC *Bending*

Diketahui:

Berat karbon (w_{cr}) : 63,3 g

Berat *glass fiber* (w_G) : 9,4 g

Berat resin (w_r) : 210 g

Berat katalis (w_k) : 1 g

Ditanya: komposisi fraksi berat serat (W_f) dan matriks (W_m)?

Dijawab:

Menghitung berat total serat (w_f) dan matriks (w_m):

$$\begin{array}{l|l} w_f = w_{cr} + w_G & w_m = w_r + w_k \\ = 63,3 + 9,4 & = 210 + 1 \\ = 72,7 \text{ g} & = 211 \text{ g} \end{array}$$

Menghitung berat komposit (w_c):

$$\begin{aligned} w_c &= w_f + w_m \\ &= 72,7 + 211 \\ &= 283,7 \text{ g} \end{aligned}$$

Menghitung komposisi fraksi berat (W_f) dan matriks (W_m):

$$\begin{array}{l|l} W_f = \frac{w_f}{w_c} \times 100\% & W_m = \frac{w_m}{w_c} \times 100\% \\ = \frac{72,7}{283,7} \times 100\% & = \frac{211}{283,7} \times 100\% \\ = 0,256 \times 100\% & = 0,744 \times 100\% \\ = 25,6 \% & = 74,4 \% \end{array}$$

d. Komposit CGC *Impact*, Densitas, dan Porositas

Diketahui:

Berat karbon (w_{cr}) : 31,1 g

Berat *glass fiber* (w_G) : 4,3 g

Berat resin (w_r) : 230 g

Berat katalis (w_k) : 1 g

Ditanya: komposisi fraksi berat serat (W_f) dan matriks (W_m)?

Dijawab:

Menghitung berat total serat (w_f) dan matriks (w_m):

$$\begin{array}{l|l} w_f = w_{cr} + w_G & w_m = w_r + w_k \\ = 31,1 + 4,3 & = 230 + 1 \\ = 35,4 \text{ g} & = 231 \text{ g} \end{array}$$

Menghitung berat komposit (w_c):

$$\begin{aligned} w_c &= w_f + w_m \\ &= 35,4 + 231 \\ &= 266,4 \text{ g} \end{aligned}$$

Menghitung komposisi fraksi berat serat (W_f) dan matriks (W_m):

$$\begin{array}{l|l} W_f = \frac{w_f}{w_c} \times 100\% & W_m = \frac{w_m}{w_c} \times 100\% \\ = \frac{35,4}{266,4} \times 100\% & = \frac{231}{266,4} \times 100\% \\ = 0,133 \times 100\% & = 0,867 \times 100\% \\ = \mathbf{13,3 \%} & = \mathbf{86,7 \%} \end{array}$$

2). Penyusunan Komposit

Proses penyusunan terdiri atas beberapa tahap, yaitu dengan menyiapkan alat penyusunan, seperti cetakan A (185 x 90 x 30) mm dan cetakan B (183 x 183 x 20) mm yang sudah diberi batas ketinggian (tebal spesimen) sesuai standar, penggaris, spidol permanen, gelas takar 500 ml, pengaduk kaca, gelas ukur, pipet, gunting, dan sigmat. Sedangkan menyiapkan bahan, seperti *glass fiber*, *carbon fiber*, *coco sheet*, katun, resin *polyester*, katalis, dan *mirror glaze*. Setelah mempersiapkan alat dan bahan, masuk ke proses penyusunan. Penyusunan komposit dilakukan pada cetakan A dan cetakan B. Proses penyusunan dibagi menjadi 2 sesuai dengan jenis komposit yang akan disusun, yaitu:

a. Komposit KGK (Katun – Glass – Katun)

Pertama, melumasi bagian dalam pada masing-masing cetakan dengan *rekease agent (mirror glaze)* secara merata. Kedua, menyiapkan resin 177 g (cetakan A) dan 160 g (cetakan B) pada dua gelas takar, kemudian resin yang sudah disediakan tersebut masing-masing dicampur dengan katalis 1 g lalu diaduk perlahan selama 15 detik. Ketiga, menuangkan resin 50% dari masing-masing takaran pada cetakan sebagai permukaan paling dasar. Keempat, mulai menyusun serat dengan meletakkan 2 lapis katun pada permukaan dasar lalu tuangkan sedikit resin di atas permukaan tersebut dan meratakannya menggunakan kuas hingga resin meresap ke dalam katun. Kelima, meletakkan kembali 2 lapis katun, lalu tuangkan kembali resin dengan takaran lebih banyak dari penuangan sebelumnya dan meratakan kembali dengan kuas. Keenam, meletakkan 1 lapis *glass fiber* di atas 4 lapis kain katun yang sudah disusun tersebut. Ketujuh, menuangkan sedikit resin di atas permukaan *glass fiber* dan meratakan menggunakan kuas hingga resin meresap. Kedelapan, meletakkan 2 lapis katun kemudian menuangkan sedikit resin kembali dan meratakannya. Kesembilan, meletakkan 2 lapis katun lalu menuangkan resin lebih banyak dari takaran sebelumnya dan meratakannya. Kesepuluh, menuangkan semua resin yang tersisa dan meratakannya dengan pengaduk kaca. Terakhir, menutup cetakan untuk meminimalisir adanya *void*.

b. Komposit CGC (Carbon – Glass – Carbon)

Pertama, melumasi bagian dalam pada masing-masing cetakan dengan *rekease agent (mirror glaze)* secara merata. Kedua, menyiapkan resin 230 g

(cetakan A) dan 210 g (cetakan B) pada dua gelas takar, kemudian resin yang sudah disediakan tersebut masing-masing dicampur dengan katalis 1 g lalu diaduk perlahan selama 15 detik. Ketiga, menuangkan resin 50% dari masing-masing takaran pada cetakan sebagai permukaan paling dasar. Keempat, mulai menyusun serat dengan meletakkan 2 *carbon fiber* pada permukaan dasar lalu tuangkan sedikit resin di atas permukaan tersebut dan meratakannya menggunakan kuas hingga resin meresap ke dalam *carbon fiber*. Kelima, meletakkan kembali 2 lapis *carbon fiber*, lalu tuangkan kembali resin dengan takaran lebih banyak dari penuangan sebelumnya dan meratakan kembali dengan kuas. Keenam, meletakkan 1 lapis *glass fiber* di atas 4 lapis *carbon fiber* yang sudah disusun tersebut. Ketujuh, menuangkan sedikit resin di atas permukaan *glass fiber* dan meratakan menggunakan kuas hingga resin meresap. Kedelapan, meletakkan 2 lapis katun kemudian menuangkan sedikit resin kembali dan meratakannya. Kesembilan, meletakkan 2 lapis *carbon fiber* lalu menuangkan resin lebih banyak dari takaran sebelumnya dan meratakannya. Kesepuluh, menuangkan semua resin yang tersisa dan meratakannya dengan pengaduk kaca. Terakhir, menutup cetakan untuk meminimalisir adanya *void*.

G. Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen dilakukan dalam empat jenis, yaitu pengujian *bending*, *impact*, densitas, dan porositas. Sebelum melakukan pengujian dilakukan penyesuaian dimensi sesuai standar yang digunakan terutama dalam pengujian *bending* dan *impact*. Apabila pada tahap penyesuaian belum memenuhi atau belum mencapai toleransi standar, maka akan dilakukan tahap

persiapan alat dan bahan kembali untuk membuat spesimen yang sesuai standar.

Tabel 3.1 Jumlah Total Spesimen

Jenis Komposit	Pengujian Mekanik		Pengujian Fisik
	<i>Bending</i>	<i>Impact</i>	Densitas dan Porositas
Komposit KGK	3	3	3
Komposit CGC	3	3	3
Jumlah	6 spesimen	6 spesimen	6 spesimen

H. Analisis dan Kesimpulan

Pengujian *bending* menghasilkan data berupa grafik mengenai hubungan antara gaya atau beban tekan dengan perpanjangan (*extension*) yang akan digunakan untuk mencari tegangan maksimum atau tegangan *bending* (σ_b) dari spesimen uji.

Pengujian *impact* menghasilkan data berupa nilai energi yang diserap (E_p). Nilai energi tersebut kemudian dibagi dengan luas spesimen yang dikenai tumbukan sehingga akan didapat harga *impact* (HI).

Pengujian densitas-porositas menghasilkan data berupa massa di udara (m_u), massa di dalam fluida (m_f) dan massa basah (m_b). Massa yang didapat tersebut sebagai acuan untuk mencari nilai densitas (g/cm^3) dan porositas (%) dari spesimen menggunakan persamaan tertentu.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat teknis yang akan digunakan pada pembuatan spesimen komposit adalah, sebagai berikut:

A. Cetakan Kaca

Cetakan kaca pada penelitian ini digunakan untuk tempat menyusun komposit. Berdasar standar ukuran spesimen, dibuat dua cetakan dengan ukuran yang berbeda, yaitu (183 x 183 x 20) mm untuk cetakan spesimen uji *bending*, sedangkan (185 x 90 x 40) mm untuk cetakan uji *impact*, densitas, dan porositas.

B. Gelas Takar Plastik

Gelas takar plastik pada penelitian ini digunakan untuk mengukur volume dan tempat percampuran antara resin dengan katalis. Takaran pada gelas ini adalah 500 ml sebanyak 2 buah.

C. Gelas Ukur Kaca

Gelas ukur kaca pada penelitian ini digunakan untuk mengukur volume dari katalis yang akan dicampur dengan resin. Takaran gelas ukur ini adalah 5 ml.

D. Pengaduk

Pengaduk pada penelitian ini digunakan untuk mengaduk campuran resin. Pengaduk yang digunakan memiliki panjang 30 cm dan terbuat dari kaca.

E. Gunting Kain

Gunting kain pada penelitian ini digunakan untuk memotong kain katun dan serat-serat yang akan disusun menjadi komposit. Gunting kain yang digunakan memiliki rahang potong lebar.

F. Neraca

Neraca pada penelitian ini digunakan untuk menghitung massa dari bahan. Neraca yang digunakan memiliki kapasitas maksimal hingga 5 kg.

G. Spidol

Spidol pada penelitian ini digunakan untuk menandai area pemotongan dan memberi batas ketebalan komposit yang akan disusun pada cetakan.

H. Penggaris

Penggaris pada penelitian ini digunakan untuk mengukur luas dan jarak pemotongan komposit. Penggaris yang digunakan memiliki panjang 60 cm.

I. Sigmat

Sigmat pada penelitian ini digunakan untuk mengukur ketebalan dari komposit. Sigmat yang digunakan memiliki ketelitian 0,002 cm.

J. Gerinda Potong

Gerinda potong pada penelitian ini digunakan untuk proses manufaktur spesimen.

K. Masker

Masker pada penelitian ini digunakan untuk melindungi pernafasan dari bahan kimia, seperti katalis.

L. Sarung Tangan Kimia

Sarung tangan kimia pada penelitian ini digunakan untuk melindungi tangan dari bahan, seperti *carbon fiber* yang menimbulkan gatal saat tersentuh kulit.

M. Clemek

Clemek pada penelitian ini digunakan untuk melindungi badan dari percikan bahan kimia.

N. *Universal Testing Machine (UTM)* merk Torontech seri TT-HW2-600-S

Universal Testing Machine (UTM) pada penelitian ini digunakan untuk melakukan uji *bending*. *UTM* yang digunakan adalah merk Torontech yang memiliki kekuatan mencapai 600 KN dengan komponen tambahan, yaitu *supporting point* dan *loading pin*.

O. *Supporting Point*

Supporting point pada penelitian ini digunakan untuk menyangga dan menahan spesimen saat pengujian *bending* pada *Universal Testing Machine*.

P. *Loading Pin*

Loading pin pada penelitian ini digunakan untuk menekan spesimen saat pengujian *bending* pada *Universal Testing Machine*.

Q. Mesin Uji *Impact*

Mesin uji *impact* pada penelitian ini digunakan untuk melakukan uji *impact*. Mesin yang digunakan khusus untuk uji *impact* pada material komposit, yaitu GOTECH dengan beban energi mencapai 25 J dan kecepatan 3,46 m/s.

R. Neraca Digital

Neraca digital pada penelitian ini digunakan untuk pengujian densitas dan porositas. Neraca yang digunakan memiliki keakurasian mencapai 0,001 g.

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam proses penelitian diantaranya adalah, sebagai berikut:

A. Serat Kaca (*Glass Fiber*)

Serat *glass* pada penelitian ini digunakan sebagai penguat pada komposit KGK (Katun – Glass – Katun) dan CGC (Carbon – Glass – Carbon). Jenis serat *glass* yang digunakan adalah *chopped strand matte E-Glass* (lembaran bulu).

B. Serat Karbon (*Carbon Fiber*)

Serat karbon pada penelitian ini digunakan sebagai lapisan luar dari komposit CGC (Carbon – Glass – Carbon). Jenis serat karbon yang digunakan adalah *twill cloth*.

C. Katun (*Cotton*)

Katun pada penelitian ini digunakan sebagai lapisan luar dari komposit KGK (Katun – Glass – Katun). Jenis katun yang digunakan adalah *combed 30s*.

D. Resin Poliester

Resin poliester pada penelitian ini digunakan sebagai matriks penyusun komposit KGK dan CGC. Resin poliester yang digunakan adalah merk *chemical set – 5520*.

E. Katalis

Katalis pada penelitian ini digunakan untuk mempercepat reaksi dari resin saat penyusunan komposit.

F. *Release Agent*

Release Agent pada penelitian ini digunakan untuk mempermudah pelepasan komposit dari cetakan. *Release agent* yang digunakan adalah merk *mirror glaze*.

G. Amplas

Amplas pada penelitian ini digunakan untuk proses *finishing* spesimen. Amplas yang digunakan adalah nomor 220 dan 400.

3.4 Parameter Penelitian

Pada penelitian ini dirancang sebuah parameter yang mengaitkan parameter satu dengan yang lain pada masing-masing pengujian. Adapun parameter yang digunakan adalah, sebagai berikut:

Tabel 3.2 Parameter Pengujian *Bending*

No.	Jenis Komposit	Pengujian <i>Bending</i> (MPa)			
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Nilai Rata-rata
1.	Komposit KGK				
2.	Komposit CGC				

Tabel 3.3 Parameter Pengujian *Impact*

No.	Jenis Komposit	Pengujian <i>Impact</i> (J/mm ²)			
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Nilai Rata-rata
1.	Komposit KGK				
2.	Komposit CGC				

Tabel 3.4 Parameter Pengujian Densitas

No.	Jenis Komposit	Pengujian Densitas (g/cm ³)			
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Nilai Rata-rata
1.	Komposit KGK				
2.	Komposit CGC				

Tabel 3.5 Parameter Pengujian Porositas

No.	Jenis Komposit	Pengujian Porositas (%)			
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Nilai Rata-rata
1.	Komposit KGK				
2.	Komposit CGC				

3.4.1 Parameter Bebas

Parameter bebas pada penelitian ini adalah varian material komposit berdasarkan jenisnya. Adapun jenis komposit yang menjadi parameter bebas penelitian ini:

- A. Komposit KGK (Katun – Glass – Katun)
- B. Komposit CGC (Carbon – Glass – Carbon)

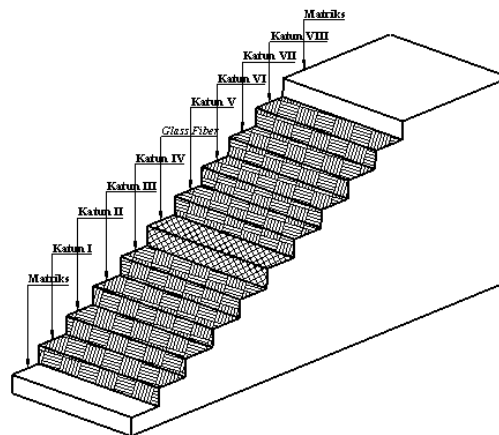
3.4.2 Parameter Terikat

Parameter terikat dari penelitian ini adalah kekuatan *bending*, *impact*, nilai densitas, dan nilai porositas pada jenis komposit yang disusun. Kemudian parameter terikat lain, yaitu struktur makro yang didapat dari spesimen yang mengalami kegagalan atau cacat dari nilai terbaik masing-masing pengujian.

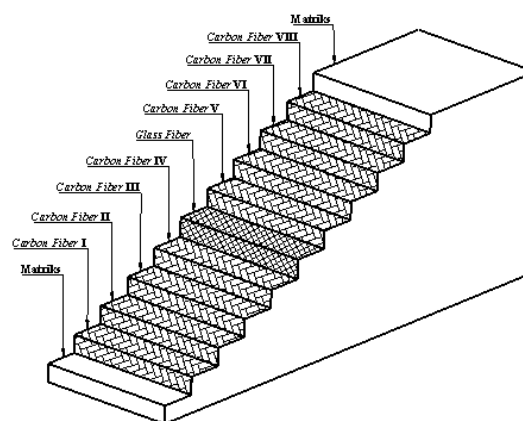
3.4.3 Parameter Kontrol

Parameter kontrol dari penelitian ini adalah, sebagai berikut:

- A. Resin poliester digunakan untuk semua jenis komposit.
- B. Komposisi fraksi berat untuk spesimen uji *bending*, yaitu kurang lebih 26% serat dan 74% matriks, sedangkan komposisi fraksi berat untuk spesimen uji *impact*, densitas, dan porositas, yaitu kurang lebih 13% serat dan 87% matriks. Komposisi tersebut berlaku untuk semua jenis komposit.
- C. Takaran katalis yang digunakan pada penyusunan komposit sebanyak 1 gram.
- D. Pola susunan komposit adalah 4 – 1 – 4 untuk semua jenis komposit.



Gambar 3.5 Susunan Komposit KGK



Gambar 3.6 Susunan Komposit CGC

3.5 Teknik Pengumpulan Data

3.5.1 Dokumentasi

Teknik pengumpulan data dengan metode dokumentasi dapat berbentuk catatan, gambar, maupun benda-benda yang terkait dalam proses penelitian. Kegiatan yang dilakukan adalah mencatat hasil-hasil penting dalam setiap tahapan

penelitian baik dalam bentuk tulisan maupun gambar yang selanjutnya digunakan pada proses analisis data.

3.5.2 Uji Laboratorium

Uji laboratorium digunakan pada proses pengujian sifat mekanik dan fisik material komposit. Pengujian yang dilakukan adalah uji *bending*, *impact*, densitas, porositas, dan foto struktur makro yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

3.6 Kalibrasi Instrumen

Proses kalibrasi dilakukan untuk memastikan keakurasian dalam pengukuran suatu alat ukur. Selain itu, proses kalibrasi juga untuk membandingkan kinerja alat dengan menyesuaikan nilai atau ukuran yang sudah distandarkan. Pada penelitian ini alat ukur yang dapat dikalibrasi adalah, sebagai berikut:

3.6.1 *Universal Testing Machine (UTM)*

Proses kalibrasi yang dapat dilakukan pada alat *ultimate testing machine* berdasarkan pada ISO 7500-1 tahun 1999 dengan rentan waktu kalibrasi 1 kali dalam satu tahun. Proses kalibrasi alat *universal testing machine* adalah dengan cara memasang alat ukur (sensor) tambahan untuk mencocokkan hasil pengukuran dengan sensor bawaan alat. Persentase perbedaan dibandingkan, jika perbedaan masih dalam rentan yang diijinkan maka alat masih bisa digunakan namun jika perbedaan terlalu jauh maka diperlukan *treatment* khusus untuk mengembalikan keakuratan hasil pengujian.

3.6.2 Neraca Digital

Proses kalibrasi neraca digital dapat dilakukan dengan cara menyalakan neraca digital dengan menekan tombol ON. Langkah selanjutnya adalah dengan meletakkan benda diatas bidang timbang untuk mencoba pembacaan oleh neraca digital. Untuk mengkalibrasi neraca maka dilakukan dengan menekan tombol TARE yang ada di neraca.

3.6.3 Sigmat

Sigmat yang digunakan adalah sigmat manual yang memiliki ketelitian 0.02 mm. Untuk mengkalibrasi sigmat manual caranya dengan membuka kunci rahang geser kemudian mendorong rahang geser hingga menyentuh rahang tetap. Apabila rahang geser telah menyentuh rahang tetap (skala nonius) dan skala utama telah sejajar di angka 0 maka sigmat telah terkalibrasi.

3.7 Teknik Analisis Data

Hasil dari penelitian ini dianalisis dengan cara mengolah data yang telah didapat. Data hasil penelitian diterapkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada landasan teori sehingga data hasil penelitian yang sudah diolah tersebut menghasilkan pembahasan dari analisis permasalahan pada penelitian ini.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Pada penelitian ini terdapat empat jenis pengujian, yaitu pengujian *bending*, *impact*, densitas, dan porositas. Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai tegangan *bending* (σ_b), defleksi *bending* (δ), regangan *bending* (ϵ), modulus elastisitas (E), kekuatan *impact* (HI), densitas (ρ_c), dan porositas (θ_c). Pengujian tersebut dilakukan pada material komposit KGK dan CGC yang memiliki komposisi fraksi berat, yaitu kurang lebih 26% (serat) dan 74% (matriks) untuk spesimen uji *bending*. Sedangkan untuk spesimen uji *impact*, densitas-porositas memiliki komposisi fraksi berat, yaitu kurang lebih 13% (serat) dan 87% (matriks). Komposisi tersebut didapat dari perhitungan komposisi material pada *socket* yang dibuat di Garuda Medica.

Pengujian di atas dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing komposit. Tiga kali pengujian tersebut akan diambil 1 nilai terbaik untuk melihat kondisi struktur makro pada spesimen yang selanjutnya akan dianalisis kerusakan atau kecacatan material.

4.1.1 Hasil Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* menghasilkan data berupa hubungan gaya atau beban tekan dengan perpanjangan (*extension*) yang disajikan dalam bentuk grafik.

Dokumentasi grafik hasil pengujian tersebut terdapat pada Lampiran 4. Sedangkan data hasil pengujian *bending* dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Bending*

No.	Jenis Komposit	Beban Tekan (N)			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	386	434	474	431,333
2.	Komposit CGC	270	430	576	425,333

Berdasarkan Tabel 4.1 komposit KGK memiliki kemampuan menahan beban paling tinggi, yaitu senilai 431,333 N. Sedangkan komposit CGC memiliki kemampuan menahan beban paling rendah, yaitu senilai 425,333 N. Nilai beban tekan tersebut akan digunakan untuk mencari tegangan maksimum atau tegangan *bending* melalui Persamaan 2.5. Adapun perhitungan dari persamaan tersebut adalah, sebagai berikut:

A. Tegangan *Bending*

Diketahui:

P : 474 N

L : 152 mm

b : 25,4 mm

d : 6 mm

Ditanya: tegangan *bending* (σ_b)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{3 \cdot (474) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (6)^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{3 \cdot (474) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (36)} \\
&= \frac{216,144}{1828,8} \\
&= \mathbf{118,189 \text{ MPa}}
\end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan di atas dapat diketahui nilai tegangan *bending* (σ_b) dari pengujian I, II, dan III. Sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai rata-rata (\bar{X}), sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\bar{X} &= \frac{\Sigma \sigma_b}{3} \\
&= \frac{\sigma_{b1} + \sigma_{b2} + \sigma_{b3}}{3} \\
&= \frac{96,247 + 108,215 + 118,189}{3} \\
&= \frac{322,651}{3} \\
&= \mathbf{107,550 \text{ MPa}}
\end{aligned}$$

Data perhitungan komposit yang lain dapat dilihat pada Lampiran 6 dan nilai tegangan *bending* atau kekuatan *bending* semua komposit dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Data Nilai Kekuatan *Bending*

No.	Jenis Komposit	Kekuatan <i>Bending</i> (MPa)			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	96,247	108,215	118,189	107,550
2.	Komposit CGC	122,400	190,610	255,328	189,446

Berdasarkan Tabel 4.2 komposit CGC memiliki kekuatan *bending* paling tinggi, yaitu senilai 189,446 MPa. Sedangkan komposit KGK memiliki kekuatan *bending* paling rendah, yaitu senilai 107,550 MPa.

Selain untuk mencari nilai kekuatan *bending*, data hasil pengujian juga dapat digunakan untuk mencari nilai defleksi melalui Persamaan 2.6. Adapun perhitungan dari persamaan tersebut adalah, sebagai berikut:

B. Defleksi

Diketahui:

$$r \quad : 0,05$$

$$L \quad : 152 \text{ mm}$$

$$d \quad : 6 \text{ mm}$$

Ditanya: defleksi (δ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{r \cdot L^2}{6 \cdot d} \\ &= \frac{0,05 \cdot (152)^2}{6 \cdot (6)} \\ &= \frac{0,05 \cdot (23104)}{36} \\ &= \frac{1155,2}{36} \\ &= \mathbf{32,089 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan di atas dapat diketahui nilai defleksi (δ) dari pengujian I, II, dan III. Sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai rata-rata (\bar{X}), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{\Sigma \delta}{3} \\ &= \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{32,089 + 32,089 + 32,089}{3} \\
 &= \frac{96,267}{3} \\
 &= \mathbf{32,089 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

Data perhitungan komposit yang lain dapat dilihat pada Lampiran 7 dan nilai defleksi semua komposit dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Data Nilai Defleksi

No.	Jenis Komposit	Defleksi (mm)			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	32,089	32,089	32,089	32,089
2.	Komposit CGC	43,350	42,785	42,785	42,973

Berdasarkan Tabel 4.3 komposit CGC memiliki nilai defleksi paling tinggi, yaitu 42,973 mm. Sedangkan komposit KGK memiliki nilai defleksi paling rendah, yaitu 32,089 mm. Nilai defleksi tersebut akan digunakan untuk mencari nilai regangan melalui Persamaan 2.7. Adapun perhitungan dari persamaan tersebut adalah, sebagai berikut:

C. Regangan

Diketahui:

$$\delta : 32,089 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

Ditanya: regangan (ϵ)?

Dijawab:

$$\epsilon = \frac{6 \cdot \delta \cdot d}{L^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{6 \cdot (32,089) \cdot (6)}{(152)^2} \\
&= \frac{6 \cdot (32,089) \cdot (6)}{23104} \\
&= \frac{1155,204}{23104} \\
&= \mathbf{0,05}
\end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan di atas dapat diketahui nilai regangan (ϵ) dari pengujian I, II, dan III. Sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai rata-rata (\bar{X}), sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\bar{X} &= \frac{\sum \epsilon}{3} \\
&= \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3} \\
&= \frac{0,050 + 0,050 + 0,050}{3} \\
&= \frac{0,150}{3} \\
&= \mathbf{0,05}
\end{aligned}$$

Data perhitungan komposit yang lain dapat dilihat pada Lampiran 8 dan nilai regangan semua komposit dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Data Nilai Regangan

No.	Jenis Komposit	Regangan			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	0,05	0,05	0,05	0,05
2.	Komposit CGC	0,05	0,05	0,05	0,05

Berdasarkan Tabel 4.4 komposit CGC dan KGK memiliki nilai regangan yang sama, yaitu 0,05.

Setelah melakukan beberapa perhitungan untuk mencari nilai tegangan, defleksi, dan regangan. Selanjutnya mencari nilai modulus elastisitas dari komposit melalui Persamaan 2.8. Adapun perhitungan dari persamaan tersebut adalah, sebagai berikut:

D. Modulus Elastisitas

Diketahui:

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$m : 1,25 \text{ N/mm}$$

$$b : 25,4 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

Ditanya: modulus elastisitas (E)?

Dijawab:

$$\begin{aligned} E &= \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3} \\ &= \frac{(152)^3 \cdot (1,25)}{4 \cdot (25,4) \cdot (6)^3} \\ &= \frac{(3511808) \cdot (1,25)}{(101,6) \cdot (216)} \\ &= \frac{4389760}{21945,6} \\ &= \mathbf{200,029 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan di atas dapat diketahui nilai modulus elastisitas (E) dari pengujian I, II, dan III. Sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai rata-rata (\bar{X}), sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\Sigma E}{3}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{E_1 + E_2 + E_3}{3} \\
&= \frac{200,029 + 200,029 + 200,029}{3} \\
&= \frac{600,087}{3} \\
&= \mathbf{200,029 \text{ MPa}} \\
&= \mathbf{0,2 \text{ GPa}}
\end{aligned}$$

Data perhitungan komposit yang lain dapat dilihat pada Lampiran 9 dan nilai modulus elastisitas semua komposit dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Data Nilai Modulus Elastisitas

No.	Jenis Komposit	Modulus Elastisitas (GPa)			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	0,2	0,2	0,2	0,2
2.	Komposit CGC	3,9	3,5	5,2	4,2

Berdasarkan Tabel 4.5 komposit CGC memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi, yaitu 4,2 GPa. Sedangkan komposit KGK memiliki nilai modulus elastisitas paling rendah, yaitu 0,2 GPa.

4.1.2 Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* menghasilkan data berupa penyerapan energi yang terjadi pada saat spesimen uji dikenai tumbukan (impuls). Energi tersebut yang akan digunakan untuk mencari harga *impact* atau kekuatan *impact*.

Dokumentasi hasil pengujian *impact* terdapat pada Lampiran 5. Sedangkan data hasil pengujian *impact* dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian *Impact*

No.	Jenis Komposit	Energi yang diserap (J)			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	1,93	1,84	2,24	2,00
2.	Komposit CGC	13,32	15,36	12,85	13,84

Berdasarkan Tabel 4.6 komposit CGC mengalami penyerapan energi paling tinggi, yaitu senilai 13,84 J. Sedangkan komposit KGK mengalami penyerapan energi paling rendah, yaitu senilai 2,00 J. Nilai penyerapan energi tersebut akan digunakan untuk mencari harga *impact* melalui Persamaan 2.10. Adapun perhitungan dari persamaan tersebut adalah, sebagai berikut:

A. Kekuatan *Impact*

Diketahui:

$$E_p : 2,24 \text{ J}$$

$$b : 12,5 \text{ mm}$$

$$d_1 : 2,54 \text{ mm}$$

$$d_2 : 12 \text{ mm}$$

Ditanya: harga *impact* (*HI*)?

Dijawab:

$$\begin{aligned} \Delta d &= d_2 - d_1 \\ &= 12 - 2,54 \\ &= 9,46 \text{ mm} \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned} HI &= \frac{E_p}{A} \\ &= \frac{E_p}{b \cdot \Delta d} \\ &= \frac{2,24}{12,5 \cdot (9,46)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2,24}{118,25} \\
 &= \mathbf{0,019 \text{ J/mm}^2}
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan di atas dapat diketahui harga *impact* (*HI*) dari pengujian I, II, dan III. Sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai rata-rata (\bar{X}), sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \bar{X} &= \frac{\Sigma HI}{3} \\
 &= \frac{HI_1 + HI_2 + HI_3}{3} \\
 &= \frac{0,016 + 0,016 + 0,019}{3} \\
 &= \frac{0,051}{3} \\
 &= \mathbf{0,017 \text{ J/mm}^2}
 \end{aligned}$$

Data perhitungan komposit yang lain dapat dilihat pada Lampiran 10 dan harga *impact* atau kekuatan *impact* semua komposit dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.7 Data Nilai Kekuatan *Impact*

No.	Jenis Komposit	Kekuatan <i>Impact</i> (J/mm ²)			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	0,016	0,016	0,019	0,017
2.	Komposit CGC	0,113	0,130	0,109	0,117

Berdasarkan Tabel 4.7 komposit CGC memiliki harga *impact* paling tinggi, yaitu 0,117 J/mm². Sedangkan komposit KGK memiliki harga *impact* paling rendah, yaitu 0,017 J/mm².

4.1.3 Hasil Pengujian Densitas

Pengujian densitas menghasilkan data berupa massa kering dan massa dalam air dari spesimen. Massa tersebut akan digunakan untuk mencari nilai densitas material komposit. Adapun data hasil pengujian densitas dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Densitas

No.	Jenis Komposit	Pengujian	Massa (g)	
			Massa udara	Massa fluida
1.	Komposit KGK	I	1,792	0,365
		II	1,942	0,396
		III	1,882	0,383
<i>Nilai Rata-rata</i>			1,872	0,381
2.	Komposit CGC	I	1,908	0,443
		II	1,877	0,398
		III	1,983	0,441
<i>Nilai Rata-rata</i>			1,923	0,427

Berdasarkan Tabel 4.8 komposit CGC memiliki massa lebih besar dibandingkan komposit KGK saat kondisi spesimen kering maupun di dalam air. Massa tersebut akan digunakan untuk mencari nilai densitas melalui Persamaan 2.12. Adapun perhitungan dari persamaan tersebut adalah, sebagai berikut:

A. Densitas

Diketahui:

$$m_u : 1,942 \text{ g}$$

$$m_f : 0,396 \text{ g}$$

$$\rho_f : 1 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya: nilai densitas (ρ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}
 \rho_c &= \frac{m_u}{(m_u - m_f)} \times \rho_f \\
 &= \frac{1,942}{(1,942 - 0,396)} \times 1 \\
 &= \frac{1,942}{1,546} \\
 &= \mathbf{1,256 \text{ g/cm}^3}
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan di atas dapat diketahui nilai densitas (ρ_c) dari pengujian I, II, dan III. Sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai rata-rata (\bar{X}), sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \bar{X} &= \frac{\Sigma \rho_c}{3} \\
 &= \frac{\rho_{c1} + \rho_{c2} + \rho_{c3}}{3} \\
 &= \frac{1,256 + 1,256 + 1,256}{3} \\
 &= \frac{3,768}{3} \\
 &= \mathbf{1,256 \text{ g/cm}^3}
 \end{aligned}$$

Data perhitungan komposit yang lain dapat dilihat pada Lampiran 11 dan nilai densitas semua komposit dapat dilihat pada Tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.9 Data Nilai Densitas

No.	Jenis Komposit	Densitas (g/cm ³)			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	1,256	1,256	1,256	1,256
2.	Komposit CGC	1,302	1,269	1,286	1,286

Berdasarkan Tabel 4.9 komposit CGC memiliki nilai densitas paling tinggi, yaitu $1,286 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan komposit KGK memiliki nilai densitas paling rendah, yaitu $1,256 \text{ g/cm}^3$.

4.1.4 Hasil Pengujian Porositas

Pengujian porositas menghasilkan data berupa massa kering, massa dalam air, dan massa basah dari spesimen. Massa tersebut akan digunakan untuk mencari nilai porositas material komposit. Adapun data hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Porositas

No.	Jenis Komposit	Pengujian	Massa (g)		
			Massa udara	Massa fluida	Massa basah
1.	Komposit KGK	I	1,792	0,365	1,836
		II	1,942	0,396	1,964
		III	1,882	0,383	1,939
Nilai Rata-rata			1,872	0,381	1,913
2.	Komposit CGC	I	1,908	0,443	1,917
		II	1,877	0,398	1,899
		III	1,983	0,441	2,007
Nilai Rata-rata			1,923	0,427	1,941

Berdasarkan Tabel 4.10 komposit CGC memiliki massa lebih besar dibandingkan komposit KGK saat kondisi spesimen kering, di dalam air, dan basah. Massa tersebut akan digunakan untuk mencari nilai porositas melalui Persamaan 2.13. Adapun perhitungan dari persamaan tersebut adalah, sebagai berikut:

A. Porositas

Diketahui:

m_u : 1,942 g

$$m_f : 0,396 \text{ g}$$

$$m_b : 1,964 \text{ g}$$

Ditanya: nilai porositas (θ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned} \theta_c &= \frac{(m_b - m_u)}{(m_b - m_f)} \times 100\% \\ &= \frac{(1,964 - 1,942)}{(1,964 - 0,396)} \times 100\% \\ &= \frac{0,022}{1,568} \times 100\% \\ &= 0,01403 \times 100\% \\ &= \mathbf{1,403\%} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan di atas dapat diketahui nilai porositas (θ_c) dari pengujian I, II, dan III. Sehingga dapat digunakan untuk mencari nilai rata-rata (\bar{X}), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{\Sigma \theta_c}{3} \\ &= \frac{\theta_{c1} + \theta_{c2} + \theta_{c3}}{3} \\ &= \frac{2,991 + 1,403 + 3,663}{3} \\ &= \frac{8,057}{3} \\ &= \mathbf{2,686\%} \end{aligned}$$

Data perhitungan komposit yang lain dapat dilihat pada Lampiran 12 dan nilai porositas semua komposit dapat dilihat pada Tabel 4.11 di bawah ini.

Tabel 4.11 Data Nilai Porositas

No.	Jenis Komposit	Porositas (%)			Nilai Rata-rata
		Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	
1.	Komposit KGK	2,991	1,403	3,663	2,686
2.	Komposit CGC	0,611	1,466	1,533	1,203

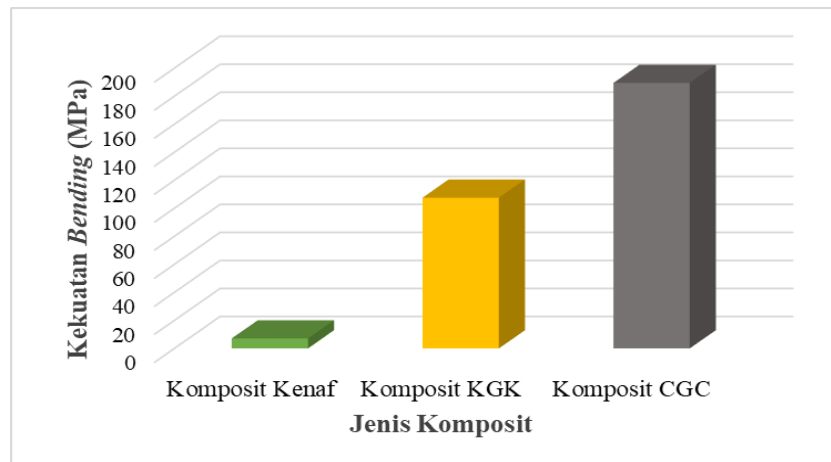
Berdasarkan Tabel 4.11 komposit KGK memiliki nilai porositas paling tinggi, yaitu 2,686%. Sedangkan komposit CGC memiliki nilai densitas paling rendah, yaitu 1,203%. Nilai porositas terbaik adalah nilai porositas yang nilainya paling rendah.

4.2 Analisis Data

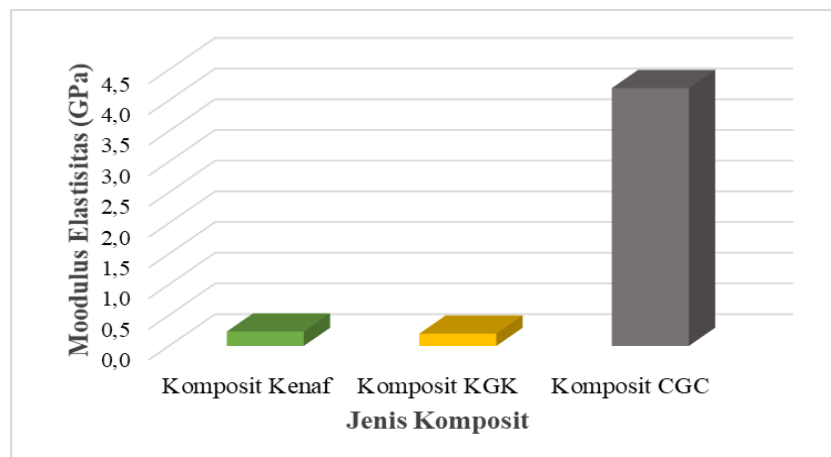
Data hasil perhitungan yang telah disajikan pada sub bab 4.1 akan dirubah dalam bentuk grafik untuk mempermudah proses analisis dan pembahasan. Adapun analisis maupun pembahasan dari masing-masing pengujian adalah, sebagai berikut:

4.2.1 Pengujian *Bending*

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.5 telah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai kekuatan *bending* dan modulus elastisitas sehingga didapat nilai perbandingan dari masing-masing komposit.



Gambar 4.1 Kekuatan *Bending* Komposit



Gambar 4.2 Modulus Elastisitas Komposit

Komposit Kenaf merupakan jenis komposit yang sudah layak diterapkan dalam penyusunan *socket* (Nurhanisah, et al., 2018: 6) dengan demikian komposit tersebut menjadi acuan kelayakan komposit jenis lainnya. Komposit kenaf memiliki nilai kekuatan *bending* sebesar 7,11 MPa. Nilai tersebut berada jauh di bawah komposit KGK (107,550 MPa) dan CGC (189,446 MPa). Sedangkan untuk modulus elastisitas, komposit kenaf memiliki nilai sebesar 0,2 GPa. Nilai tersebut sebanding dengan komposit KGK (0,2 GPa) dan jauh

lebih rendah dibanding komposit CGC (4,2 GPa). Perbedaan nilai dari komposit pada Gambar 4.1 dan 4.2 menimbulkan asumsi bahwa tingginya nilai komposit CGC disebabkan oleh gaya atau beban tekan hingga *peak point* sehingga mengakibatkan deformasi plastis, namun tidak terjadi patah pada material. Analisis tersebut dapat dibuktikan melalui visualisasi pada Gambar 4.3 yang menunjukkan adanya kegagalan struktur sebagian pada komposit CGC.



Gambar 4.3 Spesimen CGC III

Berbeda dengan komposit KGK yang memiliki nilai kekuatan *bending* dan modulus elastisitas lebih rendah. Nilai tersebut hanya 56,5% dari nilai kekuatan *bending* yang dimiliki komposit CGC. Rendahnya nilai yang dimiliki komposit KGK tersebut disebabkan oleh perbedaan sifat mekanik dari katun yang lebih rendah dibanding *carbon fiber* akibatnya terjadi kegagalan struktur, seperti patahan. Analisis tersebut dapat dibuktikan melalui visualisasi pada Gambar 4.4 yang menunjukkan adanya kegagalan struktur pada komposit KGK.

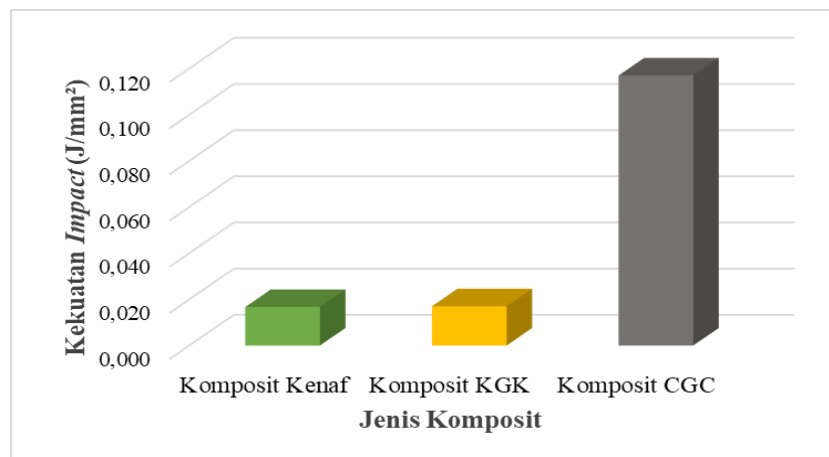


Gambar 4.4 Spesimen KGK III

Selain itu, rendahnya nilai dari komposit kenaf dapat ditinjau dari jumlah susunan *layer* kompositnya. Jika dibandingkan dengan komposit KGK maupun CGC, jumlah *layer* pada komposit kenaf jauh lebih sedikit sehingga dapat berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit tersebut.

4.2.2 Pengujian *Impact*

Berdasarkan data pada Tabel 4.7 telah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai kekuatan *impact* sehingga didapat nilai perbandingan dari masing-masing komposit.



Gambar 4.5 Kekuatan *Impact* Komposit

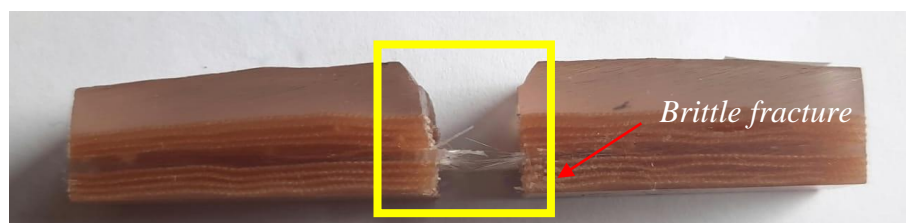
Jenis komposit kenaf memiliki nilai kekuatan *impact* senilai 0,017 J/mm² (Nurhanisah, et al., 2018: 7). Nilai tersebut sebanding dengan nilai komposit KGK (0,017 J/mm²) dan jauh lebih rendah dari komposit CGC (0,117 J/mm²). Perbedaan nilai dari komposit tersebut menimbulkan asumsi bahwa tingginya nilai yang dimiliki komposit CGC tersebut disebabkan oleh besarnya penyerapan energi terhadap material sehingga mengakibatkan delaminasi dan *fiber breaking* pada material. Analisis tersebut dapat dibuktikan melalui

visualisasi pada Gambar 4.6 yang menunjukkan adanya kegagalan struktur pada komposit CGC.



Gambar 4.6 Spesimen CGC II

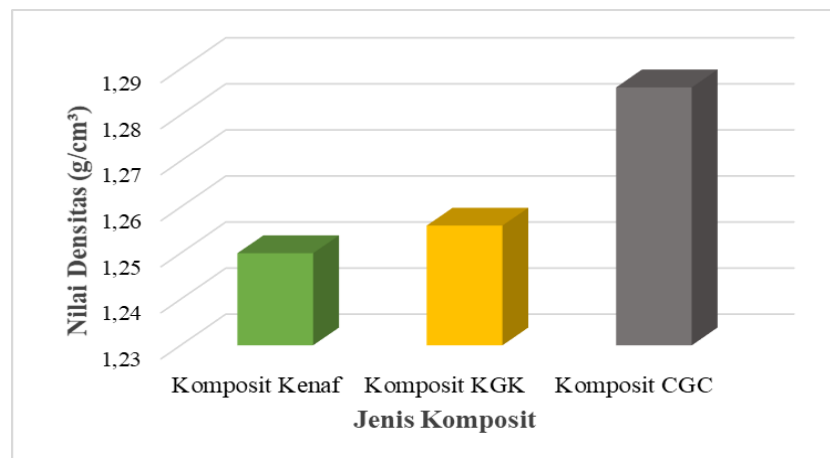
Berbeda dengan komposit KGK yang memiliki nilai kekuatan *impact* jauh lebih rendah, yaitu $0,017 \text{ J/mm}^2$. Rendahnya nilai yang dimiliki komposit tersebut disebabkan oleh karakter dari katun yang mudah menyerap fluida, seperti resin sehingga terbentuk menjadi komposit yang dominan dengan matriks. Hal tersebut menjadikan komposit KGK masuk klasifikasi *low ductile material*. Pada klasifikasi material tersebut mudah terjadi kerusakan, seperti *brittle fracture*. Analisis tersebut dapat dibuktikan melalui visualisasi pada Gambar 4.7 yang menunjukkan kegagalan struktur.



Gambar 4.7 Failure of KGK Composite

4.2.3 Pengujian Densitas

Berdasarkan data pada Tabel 4.9 telah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai densitas sehingga didapat nilai perbandingan dari masing-masing komposit.



Gambar 4.8 Nilai Densitas Komposit

Jenis komposit kenaf memiliki nilai densitas senilai 1,250 g/cm³ (Nurhanisah, et al., 2018: 4). Nilai tersebut hampir sama dengan nilai komposit KGK (1,256 g/cm³) dan lebih rendah dari komposit CGC (1,286 g/cm³). Perbedaan nilai tersebut menimbulkan asumsi bahwa tingginya nilai densitas pada komposit CGC disebabkan oleh besarnya kepadatan material penyusun, seperti *carbon fiber* sehingga terbentuk juga material yang lebih padat, yaitu komposit CGC. Bukti asumsi dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.



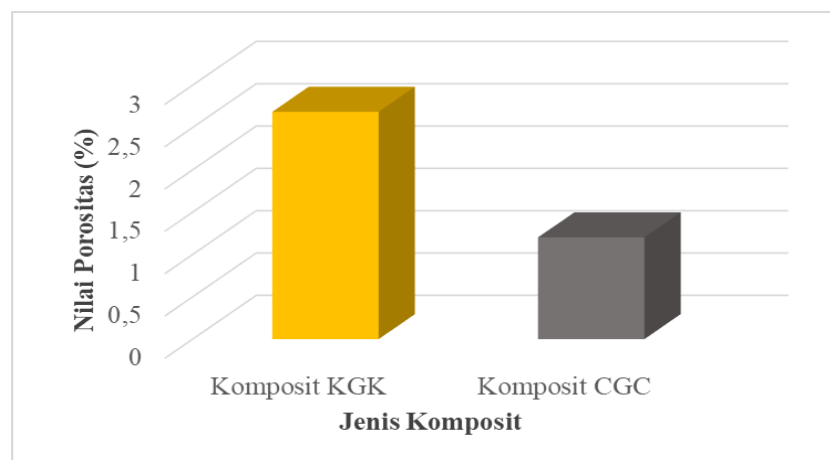
Gambar 4.9 Front View of CGC Composite

Berbeda dengan komposit KGK dan kenaf yang memiliki nilai densitas lebih rendah, yaitu 1,256 g/cm³ dan 1,250 g/cm³. Rendahnya nilai tersebut juga

disebabkan dari rendahnya kepadatan material penyusun, seperti katun dan kenaf.

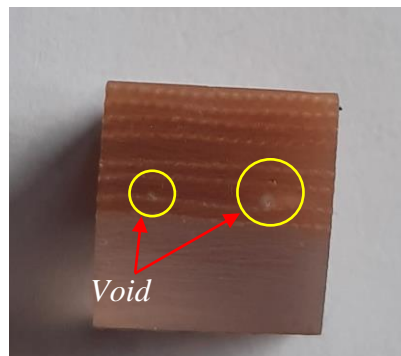
4.2.4 Pengujian Porositas

Berdasarkan data pada Tabel 4.11 telah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai porositas sehingga didapat perbandingan dari masing-masing komposit.



Gambar 4.10 Nilai Porositas Komposit

Jenis komposit KGK memiliki nilai porositas tertinggi, yaitu senilai 2,686%. Tingginya nilai tersebut disebabkan rendahnya nilai kepadatan yang dimiliki komposit KGK. Selain itu, karakteristik dari material penyusun, seperti katun yang rentan akan masuknya udara juga berpengaruh saat proses pembentukan komposit sehingga mengakibatkan banyak pembentukan *void* pada komposit. Bukti asumsi dapat dilihat pada Gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4.11 *Void*

Berbeda dengan komposit CGC yang memiliki nilai porositas jauh lebih rendah yaitu senilai 1,203%. Rendahnya nilai tersebut disebabkan tingginya nilai kepadatan atau densitas yang dimiliki komposit CGC. Selain itu, karakteristik dari material penyusun, seperti *carbon fiber* yang memiliki kepadatan lebih tinggi dibanding katun dapat meminimalisir adanya *void* saat proses pembentukan komposit.

4.3 Pembahasan

Pembahasan dilakukan dengan melihat hasil analisis data, kemudian mengaitkan dengan landasan teori dan kajian pustaka dari penelitian yang relevan, dengan demikian didapat fenomena yang terjadi pada hasil penelitian dan dapat ditarik beberapa simpulan mengenai hal tersebut.

4.3.1 Sifat Mekanik

Pembahasan sifat mekanik komposit KGK maupun CGC meliputi hasil analisis mengenai kekuatan *bending* dan *impact*.

A. Kekuatan *Bending*

Berdasarkan Tabel 4.2 dan grafik pada Gambar 4.1 telah dijelaskan mengenai analisis data kekuatan *bending*. Data yang didapat pada jenis komposit KGK dan CGC adalah 107,550 MPa dan 189,446 MPa. Data tersebut menunjukkan nilai kekuatan *bending* tertinggi dimiliki komposit CGC, yaitu sebesar 189,446 MPa atau meningkat 43,5% dari nilai komposit KGK. Hal tersebut terjadi karena penggunaan *carbon fiber* sebagai lapisan utama dari komposit sehingga meningkatkan keuletan dari komposit CGC. Sedangkan pada komposit KGK didapat nilai kekuatan *bending* yang lebih rendah karena menggunakan lapisan utama dari katun yang memiliki kekuatan mekanik, seperti modulus young hanya sebesar 4,8 GPa (Alomayri, et al., 2014: 37). Nilai tersebut berada jauh dari nilai *carbon fiber*, yaitu sebesar 233,3 GPa (Panimayam, et al., 2017: 202). Hal lain yang menjadikan perbedaan nilai terlihat signifikan adalah volume serat yang dimiliki masing-masing lapisan utama. Selain itu, perbedaan tersebut juga menyebabkan kegagalan struktur.

Seperti yang dikemukakan oleh Irfa'i (2017: 4) bahwa semakin tinggi fraksi volume serat, semakin mendominasi pola kegagalan material yang berupa robekan pada bagian lamina. Hal tersebut dapat terlihat pada Gambar 4.12. Meskipun demikian, katun masih layak digunakan sebagai lapisan utama *socket*, karena karakternya yang unik, yaitu dapat menahan beban tekuk dan patah lebih besar dari serat lainnya (Alomayri, et al., 2014: 41) terkecuali serat karbon (*carbon fiber*).



Gambar 4.12 Robekan pada Lamina

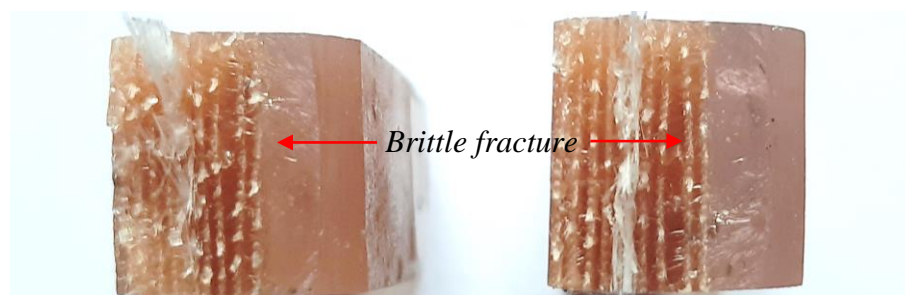
B. Kekuatan *Impact*

Berdasarkan Tabel 4.7 dan grafik pada Gambar 4.5 telah dijelaskan mengenai analisis data kekuatan *impact*. Data yang didapat pada jenis komposit KGK dan CGC adalah $0,017 \text{ J/mm}^2$ dan $0,117 \text{ J/mm}^2$. Data tersebut menunjukkan nilai kekuatan *impact* tertinggi dimiliki komposit CGC, yaitu sebesar $0,117 \text{ J/mm}^2$ atau meningkat 85,5% dari nilai komposit KGK. Hal tersebut terjadi karena penggunaan *carbon fiber*. Selain itu, perbedaan takaran resin juga berpengaruh pada besarnya nilai penyerapan energi terhadap masing-masing komposit. Komposit KGK menggunakan takaran resin sebanyak 160 gram dan komposit CGC sebanyak 210 gram, perbedaan yang cukup signifikan. Tujuan dari perbedaan takaran resin tersebut tidak lain untuk menyamakan ketebalan yang sesuai standar dan komposisi fraksi berat dari

masing-masing komposit. Namun perbedaan takaran tersebut ternyata berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan *impact* komposit. Selain itu, perbedaan karakter dari masing-masing lapisan utama, yaitu karakter *carbon fiber* yang sulit menyerap maupun mendistribusikan resin secara merata, sedangkan karakter katun yang sebaliknya juga mempengaruhi kekuatan mekanik komposit. Hal ini terlihat dari kegagalan komposit CGC (Gambar 4.13) dan komposit KGK (Gambar 4.14).



Gambar 4.13 *Fiber Pull Out*



Gambar 4.14 *Brittle Fracture*

Pada Gambar 4.13 terlihat kegagalan struktur komposit CGC berupa delaminasi yang disebabkan karena lemahnya ikatan matriks dengan lapisan lainnya (Firmansyah, et al., 2018: 128) kemudian diikuti *fiber pull out* karena kurang homogenya ikatan serat dengan matriks. Seperti yang dikemukakan

Oroh, et al (2013: 9) terjadinya *fiber pull out* menunjukkan lemahnya ikatan antara serat dengan matriks. Pada Gambar 4.14 terlihat kegagalan struktur komposit KGK berupa *brittle fracture*. Seperti yang dikemukakan oleh Siswosuwarno (2016: 6) terjadinya *brittle fracture* diawali dengan meningkatnya tegangan pada ujung tajam atau takikan yang telah mengalami retak leleh pada material, kemudian diberi pembebanan secara langsung tanpa peringatan awal.

4.3.2 Sifat Fisik

Pembahasan sifat fisik komposit KGK maupun CGC meliputi hasil analisis mengenai densitas dan porositas.

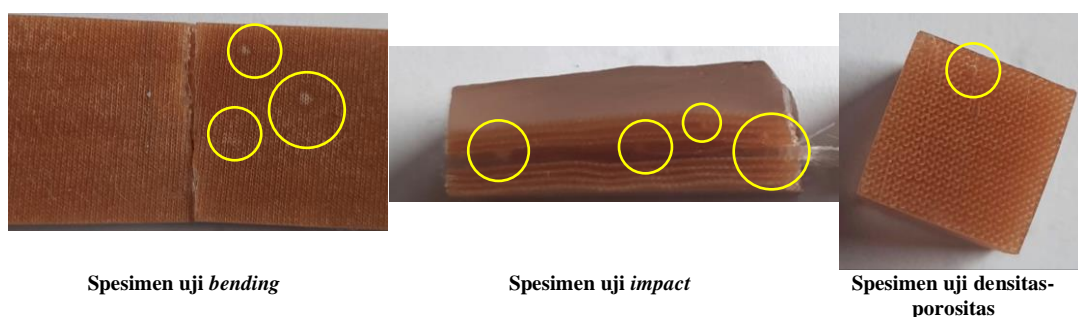
A. Densitas

Berdasarkan Tabel 4.11 dan grafik pada Gambar 4.10 telah dijelaskan mengenai analisis data pengujian densitas. Data yang didapat pada jenis komposit KGK dan CGC adalah $1,256 \text{ g/cm}^3$ dan $1,286 \text{ g/cm}^3$. Data tersebut menunjukkan nilai kepadatan terendah dimiliki komposit KGK, yaitu senilai $1,256 \text{ g/cm}^3$ atau lebih rendah 3,1% dari nilai komposit CGC. Hal tersebut terjadi karena nilai kepadatan dan berat masing-masing lapisan utama yang berbeda. Dalam penelitian ini 1 lembar katun dengan dimensi (185 x 90) mm memiliki berat $\pm 2,7$ gram, sedangkan 1 lembar *carbon fiber* dengan dimensi yang sama memiliki berat $\pm 3,8$ gram. Selain itu, perbedaan takaran resin juga berpengaruh. Perbedaan tersebut menjadikan nilai kepadatan dari masing-masing komposit memiliki selisih yang sedikit. Namun densitas yang rendah (ringan) bukan berarti memiliki kekuatan material yang tangguh. Seperti yang

dikemukakan oleh Clareyna dan Mawarani (2013: 212) nilai densitas yang menurun berbanding lurus dengan kecacatan yang dimiliki suatu material. Kecacatan tersebut berupa adanya *void*. Selain itu, densitas juga dipengaruhi ikatan antar muka. Kepadatan yang homogen terlihat pada komposit CGC pada Gambar 4.9, sedangkan pada Gambar 4.11 komposit KGK masih terdapat cacat atau *void*. Kecacatan ini yang mempengaruhi turunnya kekuatan mekanik yang dimiliki komposit KGK.

B. Porositas

Berdasarkan Tabel 4.9 dan grafik pada Gambar 4.8 telah dijelaskan mengenai analisis data pengujian porositas. Data yang didapat pada jenis komposit KGK dan CGC adalah 2,686% dan 1,203%. Data tersebut menunjukkan nilai porositas terbaik dimiliki komposit CGC, yaitu sebesar 1,203% atau lebih rendah 55% dari nilai komposit KGK. Hal tersebut terjadi karena terbentuknya *void* lebih sedikit pada komposit CGC sehingga meningkatkan nilai kepadatan komposit, sedangkan pada komposit KGK terbentuk *void* lebih banyak yang dapat dilihat pada Gambar 4.15 sehingga menurunkan nilai kepadatan komposit (Clareyna dan Mawarani, 2013: 212).



Gambar 4.15 *Void of KGK Composites*

Seperti yang dikemukakan oleh Khikmiah (2013: 12) adanya *void* sangat berpengaruh terhadap kekuatan mekanik sebuah material sehingga semakin tinggi *void* semakin rapuh material, sebaliknya semakin rendah *void* semakin kuat material tersebut. Terbukti nilai kekuatan *bending* (107,550 MPa) dan *impact* (0,017 J/mm²) yang dimiliki komposit KGK lebih rendah dari nilai kekuatan *bending* (189,446 MPa) dan *impact* (0,117 J/mm²) komposit CGC.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan, sebagai berikut:

1. Perbedaan lapisan utama pada komposit KGK dan CGC yang berupa katun dan serat karbon (*carbon fiber*) menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan *bending*. Terbukti dari data kekuatan *bending*, komposit KGK memiliki kekuatan *bending* senilai 107,550 MPa dan komposit CGC senilai 189,446 MPa. Berdasarkan data kekuatan *bending* tersebut komposit KGK layak digunakan sebagai material *socket* pengganti komposit CGC.
2. Perbedaan lapisan utama dan takaran resin pada komposit KGK dan CGC menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan *impact*. Terbukti dari data kekuatan *impact*, komposit KGK memiliki nilai kekuatan *impact* senilai 0,017 J/mm² dan komposit CGC senilai 0,117 J/mm². Berdasarkan data kekuatan *impact* tersebut komposit KGK layak digunakan sebagai material *socket* pengganti komposit CGC dengan ketentuan meningkatkan takaran resin yang digunakan.
3. Perbedaan lapisan utama dan takaran resin pada komposit KGK dan CGC menunjukkan pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai densitas. Terbukti dari data pengujian densitas, komposit KGK memiliki nilai densitas senilai 1,256 g/cm³ dan komposit CGC senilai 1,286 g/cm³. Berdasarkan data

pengujian densitas tersebut komposit KGK layak digunakan sebagai material *socket* pengganti komposit CGC dengan ketentuan menggunakan metode vakum dan *pressing* dalam proses penyusunan agar susunan komposit dapat homogen.

4. Perbedaan lapisan utama dan takaran resin pada komposit KGK dan CGC menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai porositas. Terbukti dari data pengujian porositas, komposit KGK memiliki nilai porositas senilai 2,686% dan komposit CGC senilai 1,203%. Berdasarkan data pengujian porositas tersebut komposit KGK layak digunakan sebagai material *socket* pengganti komposit CGC dengan ketentuan menggunakan metode vakum dalam proses penyusunan agar dapat meminimalisir terbentuknya *void*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terhadap penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Untuk penelitian ini, seharusnya ada satu tambahan jenis komposit yang dinamakan komposit KSK (Katun – Sabut – Katun) namun karena minimnya biaya dan estimasi waktu penelitian mengakibatkan penelitian komposit tersebut berhenti. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap jenis komposit tersebut.
2. Untuk bahan penelitian, seperti resin dan katalis sebaiknya dibedakan tempat penyimpanannya agar resin tetap cair.
3. Untuk pengujian, sebelumnya persiapkan dengan benar data dari dimensi spesimen dan buat spesimen uji minimal 6 untuk setiap varian agar dapat mengantisipasi terjadinya kegagalan pada saat pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S. M. 2018. Effects of Composite Material Layers on the Mechanical Properties for Partial Foot Prosthetic Socket. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences* 21(2): 253–258.
- Alomayri, T., F. U. A. Shaikh, dan I. M. Low. 2014. Synthesis and Mechanical Properties of Cotton Fabric Reinforced Geopolymer Composites. *Composites Part B: Engineering* 60: 36–42.
- Al-Khazraji, K., J. Kadhim, dan P. S. Ahmed. Tensile and Fatigue Characteristics of Lower-Limb Prosthetic Socket Made from Composite Materials. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*: 843-852.
- ASTM, D 790 – 03. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. United States: West Conshohocken: ASTM International.
- Beer, F. dan R. Johnston. (2012). *Mechanics of Materials*. 6th ed. New York: Global Edition.
- Brooks, A. J. 2004. Bending Strength Test and Evaluation of a Transtibial Prosthetic Socket Fabricated by Selective Laser Sintering. *Thesis*. University of Texas. Austin.
- Callister, W. D. dan D. G. Rethwisch. 2009. *Materials Science and Engineering an Introduction*. 8th ed. USA: United States of America.
- Campbell, A. I., S. Sexton, C. J. Schaschke, H. Kinsman, B. McLaughlin, dan M. Boyle. 2012. Prosthetic Limb Sockets from Plant-Based Composite Material. *Original Research Report of Prosthetics and Orthotics International* 36(2): 181-189.
- Chien, M. S. C-H., A. Erdemir., A. J. V. D. Bogert, dan W. A. Smith. 2014. Development of Dynamic Models of the Mauch Prosthetic Knee for Prospective Gait Simulation. *Journal of Biomechanics* 47(12): 3178–3184.
- Clareyna, E. D. dan L. J. Mawarani. 2013. Pembuatan dan Karakteristik Komposit Polimer Berpenguat Bagasse. *Jurnal Teknik Pomits* 2(2): 208-213.

- Craig, J. 2005. Prosthetic Feet for Low-Income Countries. *Journal of Prosthetics and Orthotics* 17(4): 27-49.
- Dhokia, V., J. Bilzon., E. Seminati., D. C. Talamas., M. Young, dan W. Mitchell. 2017. The Design and Manufacture of a Prototype Personalized Liner for Lower Limb Amputees. *Procedia CIRP* 60: 476–481.
- Djamil, S. dan E. S. Siradj. 2011. Sifat Balistik Metal Matrix Composite dengan Woven Metode Satin Twilled Weave. *Prosiding SNST* 1(1). Universitas Wahid Hasyim. Semarang. 112-117.
- El-Wazery, M. S., M. I. El-Elamy, dan S. H. Zoalfakar. 2017. Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polyester Composites. *International Journal of Applied Science and Engineering* 14(3): 121–131.
- Facoetti, G., S. Gabbiadini, G. Colombo, dan C. Rizzi. 2010. Knowledge-Based System for Guided Modeling of Sockets for Lower Limb Prostheses. *Journal of Computer-Aided Design & Applications* 7(5): 723-737.
- Firmansyah, H. I., A. Purnowidodo, dan S. A. Setyabudi. 2018. Pengaruh Mechanical Bonding pada Aluminium dengan Serat Karbon dengan Kekuatan Tarik Fiber Metal Laminates. *Jurnal Rekayasa Mesin* 9(2): 127-134.
- Furkan., A. Ibrahim, dan Azwar. 2020. Pengaruh Temperatur *Cryogenic* terhadap Ketangguhan *Impact* Sambungan Pengelasan *Stainless Steel* Aisi 304. *Jurnal Mesin Sains Terapan* 4(1): 50-56.
- Gerschutz, M. J., M. L. Haynes., D. M. Nixon, dan J. M. Colvin. 2011. Tensile Strength and Impact Resistance Properties of Materials used in Prosthetic Check Sockets, Copolymer Sockets, and Definitive Laminated Sockets. *Journal of Rehabilitation Research & Development* 48(8): 987-1004.
- Gibson, R. F. 1994. *Principles of Composite Material Mechanics*. 1st ed. Singapore: McGraw-Hill.
- Handoyo, Y. 2013. Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 1(2): 45-53.
- Harsi., N. H. Sari, dan Sinarep. 2015. Karakteristik Kekuatan Bending dan Kekuatan Tekan Komposit Serat Hybrid Kapas/Gelas sebagai Pengganti Produk Kayu. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin* 5(2): 59-65.

- Idris., L. K. Mangalla, dan B. Sudia. Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Berbahan Gypsum, Serat Ijuk Pohon Aren dan Resin Polyester terhadap Kemampuan Meredam Suara. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin* 3(2): 1-11.
- Irawan, A. P., T. P. Soemardi., K. Widjajaksmi, dan A. H. S. Reksoprodjo. 2009. Komposit Laminat Rami Epoksi sebagai Bahan Alternatif Socket Prosthesis. *Jurnal Teknik Mesin* 11(1): 41-45.
- Irawan, A. P., T. P. Soemardi., W. Kusumaningsih, dan A. H. S. Reksoprodjo. 2011. Tensile and Flexural Strength of Ramie Fiber Reinforced Epoxy Composites for Socket Prosthesis Application. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* 6(1): 46-50.
- Irawan, A. P. dan I. W. Sukania. 2013. Kekuatan Tekan dan Flexural Material Komposit Serat Bambu Epoksi. *Jurnal Teknik Mesin* 14(2): 59-63.
- Irawan, A. P. dan I. W. Sukania. 2015. Kekuatan Tekan Komposit Serat Limbah Pisang dengan Matriks Epoksi sebagai Bahan Socket Prosthesis. *Jurnal KNEP* 3(1): 291-295.
- Irfa'i, M. A. 2017. Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Kekuatan Geser Komposit Berpenguat Serat Ijuk (Acak-Anyam-Acak) dengan Resin Polyester. *Jurnal Reaktom* 2(1): 1-6.
- Kementrian Kesehatan RI (Kemenkes RI). 2014. *Situasi Penyandang Disabilitas*. Jakarta: Kementrian Kesehatan RI. 1-56.
- Kesavarma, S., E. H. Lee., M. Samykano., K. Kadirgama., M. M. Rahman, dan A. G. N. Sofiah. 2020. Flexural Properties of 3D Printed Copper-Filler Polylactic Acid (Cu-PLA). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 788(1). Kuantan. 1-10.
- Khikmiah, Z. 2013. Pengaruh Variasi Suhu Sintering terhadap Sifat Mikroskopik dan Makroskopik Semen Gigi Nano Zinc Oxide Eugenol (Reinforced Alumina). *Prosiding SEMIRATA 2013* 1(1). Universitas Lampung. Lampung. 7-13.
- Knutson, L. M. dan D. E. Clark. 1991. Orthotic Devices for Ambulation in Children with Cerebral Palsy and Myelomeningocele. *Physical Therapy* 71(12): 947-960.

- Kumar, A., K. V. Prasad, dan P. S. R. Rao. 2015. Study of Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Polypropylene. *International Journal of Engineering Research & Technology* 4(10): 406-408.
- Me, C. R., R. Ibrahim, dan P. M. Tahir. 2012. Natural Based Biocomposite Material for Prosthetic Socket Fabrication. *Jurnal Alam Cipta* 5(1): 27-34.
- Muhajir, M., M. A. Mizar, dan D. A. Sudjimat. 2016. Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Berbagai Varian Tata Letak. *Jurnal Teknik Mesin* 24(2): 1-8.
- Nugroho, S. dan Y. Umardhani. 2011. Karakterisasi Material Refractory Basa Berbahan Dasar Magnesia (MgO) Guna Lining Tungku Induksi Pengecoran Baja di PT X Klaten. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2* 1(1). Universitas Wahid Hasyim. Semarang. 124-129.
- Nurhanisah, M. H., F. Hashemi., M. T. Paridah., M. Jawaid, dan J. Naveen. 2018. Mechanical Properties of Laminated Kenaf Woven Fabric Composites for Below-Knee Prosthesis Socket Application. *The Wood and Biofibre International Conference (WOBIS 2018) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 368: 1-9.
- Oroh, J., F. P. Sappu, dan R. C. Lumintang. 2013. Analisis Sifat Mekanik Material Komposit dari Serat Sabut Kelapa. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin Unsrat* 1(1): 1-10.
- PDII. "Pusat Data Informasi Nasional". 2012.
- Panimayam, A., Chinnadurai, dan R. Anuradha. 2017. Review Article on Assets of Carbon Fiber Reinforced Polymers. *International Journal of ChemTech Research* 10(8): 199-210.
- Pertiwi, P. K., A. Leny., K. Yusro, dan G. Prajitno. 2015. Uji Densitas dan Porositas pada Batuan dengan Menggunakan Neraca O Houss dan Neraca Pegas. *Fisika Laboratorium-Lab Material*: 1-4.
- Phanphet, S., S. Dechjarern, dan S. Jomjanyong. 2017. Above-Knee Prosthesis Design Based on Fatigue Life Using Finite Element Method and Design of Experiment. *Medical Engineering & Physics* 43: 86-91.

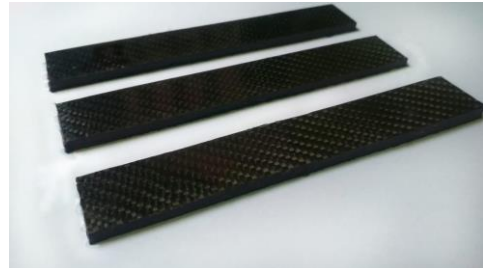
- Pramono, G. E. dan S. P. Sutisna. 2017. Perbandingan Karakteristik Serat Karbon antara Metode Manual Lay-Up dan Vacuum Infusion dengan Penggunaan Fraksi Berat Serat 60%. *AME (Aplikasi Mekanika Dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 3(1): 1–6.
- Purboputro, P. I. dan A. Hariyanto. 2017. Analisis Sifat Tarik dan Impak Komposit Serat Rami dengan Perlakuan Alkali dalam Waktu 2, 4, 6 dan 8 Jam Bermatrik Poliester. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin* 18(2): 64-75.
- Rahman, M. B. N. dan B. P. Kamiel. 2011. Pengaruh Fraksi Volume Serat terhadap Sifat-sifat Tarik Komposit Diperkuat Undirectional Serat Tebu dengan Matrik Poliester. *Semesta Teknika* 14(2): 133–138.
- Raszewski, Z. dan D. Nowakowska. 2013. Mechanical Properties of Hot Curing Acrylic Resin After Reinforced with Different Kinds of Fibers. *International Journal of Biomedical Materials Research* 1(1): 9–13.
- Sari, D. Y. 2015. Pembuatan Komposit dari Serat Tandan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) Menggunakan Penguat Serat Recycled Polypropylene (Rpp) dengan Variasi Massa. *Tugas Akhir*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Sari, N. H., E. Dyah, dan M. W. Dirjan. 2014. Analisis Sifat Kekuatan Impact Komposit Sandwich Plastik Bekas Diperkuat Serat Sisal dengan Core Bonggol Jagung. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin* 4(1): 38-43.
- Sartorius, 1999. *Manual of Weighing Applications*. Weighing Technology.
- Shackelford, J. F. 1992. *Introduction to Materials Science for Engineer*. 3rd ed. New York: MacMillan Publishing Company.
- Siswanto, O. dan Nurzal. 2012. Pengaruh Proses Wet Pressing dan Suhu Sinter terhadap Densitas dan Kekerasan Vickers pada Manufactur Keramik Lantai. *Jurnal Teknik Mesin* 1(2): 1-5.
- Surdia, T. dan S. Saito. 2005. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Paramita.
- Widhata, D., R. Ismail, dan Sulardjaka. 2019. Water Hyacinth (Eceng Gondok) As Fibre Reinforcement Composite for Prosthetics Socket. *Annual Conference on Industrial and System Engineering (ACISE 2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 598: 1-9.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesimen Pengujian *Bending*



Komposit KGK *Bending*

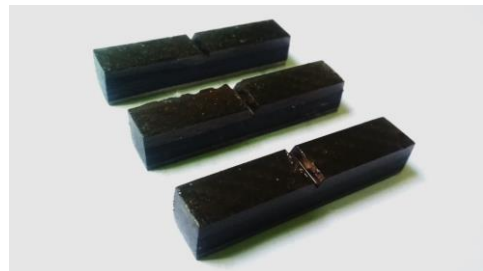


Komposit CGC *Bending*

Lampiran 2. Spesimen Pengujian *Impact*

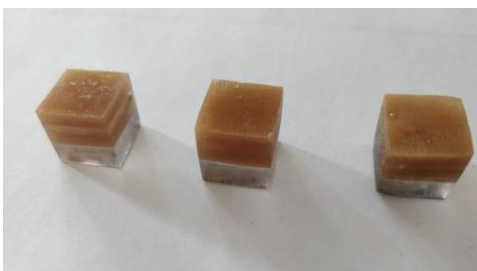


Komposit KGK *Impact*



Komposit CGC *Impact*

Lampiran 3. Spesimen Pengujian Densitas Dan Porositas

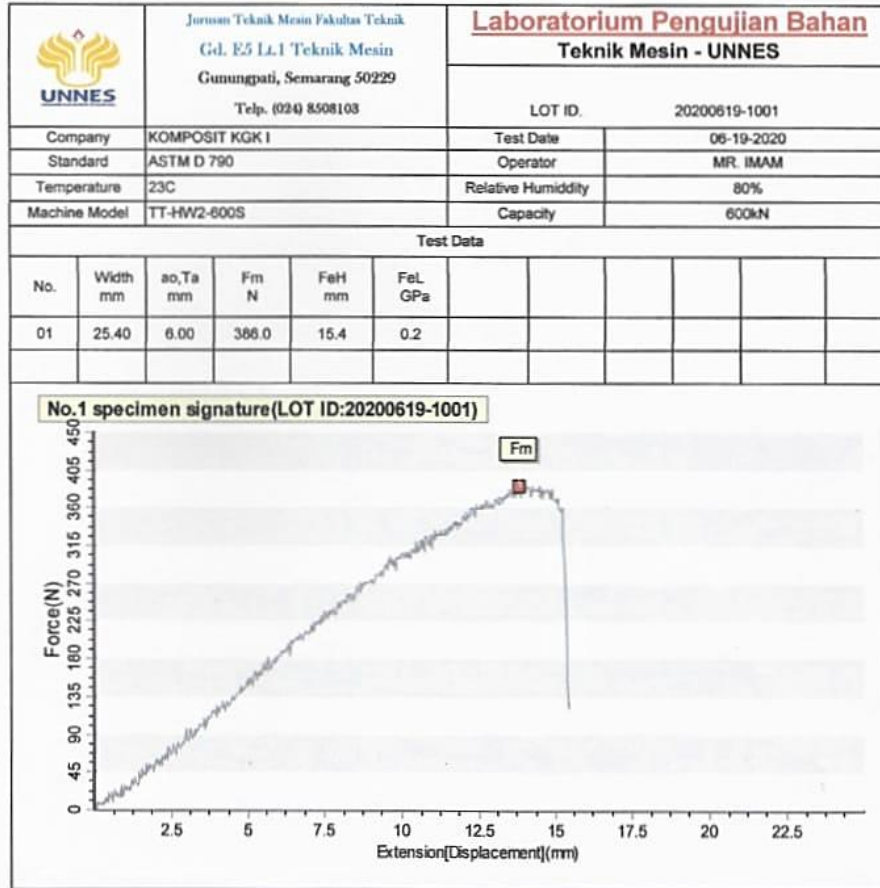


Komposit KGK Densitas-Porositas



Komposit CGC Densitas-Porositas


Lampiran 4. Data Hasil Pengujian *Bending*



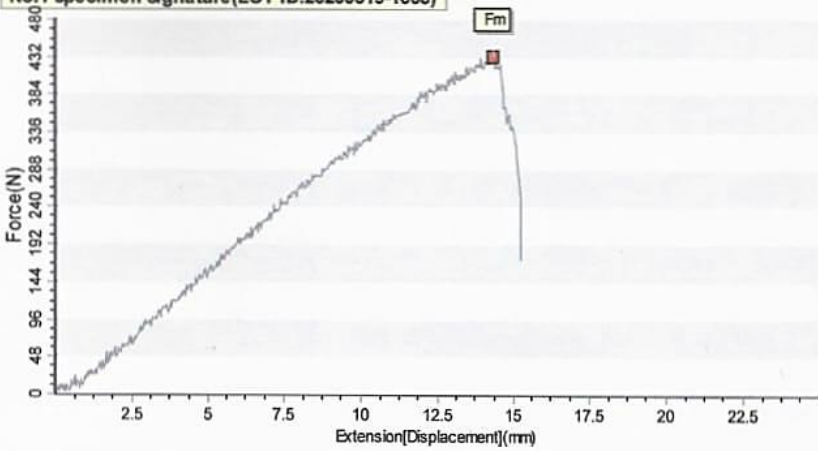
Operator: 

QC:

Page 1

	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 L1.1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103		Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin - UNNES								
	Company KOMPOSIT KGK II		LOT ID. 20200619-1003		Test Date 06-19-2020						
Standard ASTM D 790		Operator MR. IMAM		Temperature 23C							
Machine Model TT-HW2-600S		Capacity 600kN		Relative Humidity 80%							
Test Data											
No.	Width mm	ao, Ta mm	Fm N	FeH mm	FeL GPa						
01	25.40	6.00	434.0	15.2	0.2						

No.1 specimen signature (LOT ID:20200619-1003)


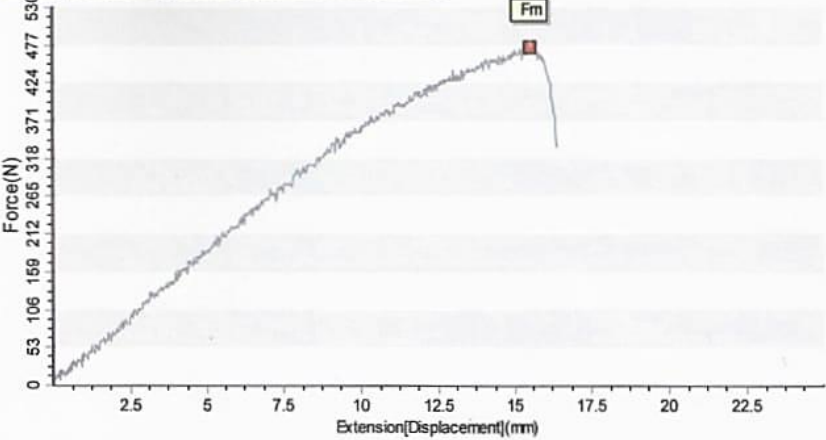


The graph plots Force (N) on the y-axis (0 to 480) against Extension (Displacement) (mm) on the x-axis (0 to 22.5). The data points show a linear relationship up to approximately 14.5 mm extension, where the force reaches a maximum of 434.0 N (labeled Fm). After this point, the force drops rapidly to zero at approximately 15.2 mm extension.

Operator: 

QC:


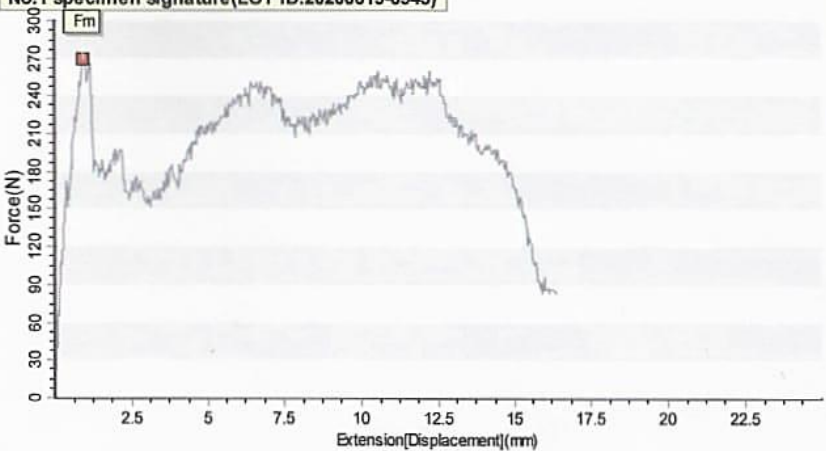
Page 1

	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 LL1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103		Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin - UNNES								
	Company KOMPOSIT KGK III		Test Date 06-19-2020		LOT ID. 20200619-1006						
Standard ASTM D 790		Operator MR. IMAM									
Temperature 23C		Relative Humidity 80%									
Machine Model TT-HW2-600S		Capacity 600kN									
Test Data											
No.	Width mm	ao, Ta mm	Fm N	FeH mm	FeL GPa						
01	25.40	6.00	474.0	16.3	0.2						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>No.1 specimen signature (LOT ID:20200619-1006)</p>  </div>											

Operator 

QC:

Page 1

	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 LL1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103		Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin - UNNES			
			LOT ID. 20200619-0945			
Company	KOMPOSIT CGC I		Test Date	06-19-2020		
Standard	ASTM D 790		Operator	MR. IMAM		
Temperature	23C		Relative Humidity	80%		
Machine Model	TT-HW2-600S		Capacity	600kN		
Test Data						
No.	Width mm	ao, Ta mm	Fm N	FeH mm	FeL GPa	
01	25.00	4.50	270.0	16.4	3.9	
No.1 specimen signature (LOT ID:20200619-0945)						
						

Operator: 

QC:

Page 1



Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Gd. E5 L1.1 Teknik Mesin
Gunungpati, Semarang 50229
Telp. (024) 8508103

Laboratorium Pengujian Bahan
Teknik Mesin - UNNES

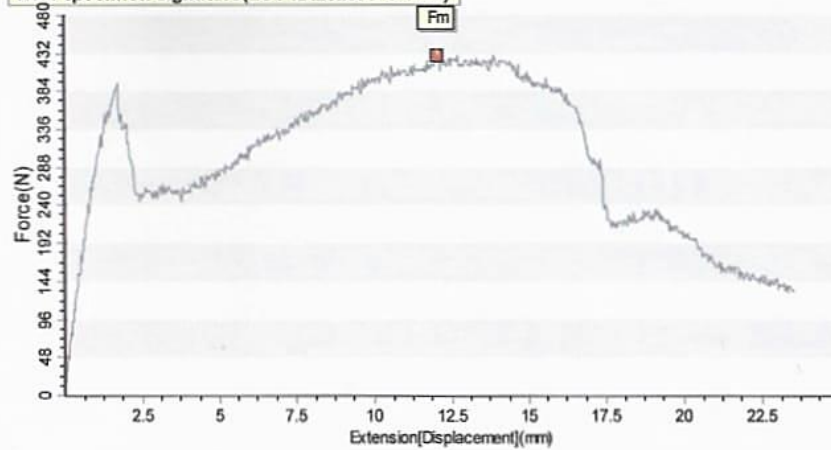
LOT ID. 20200619-1008

Company	KOMPOSIT CGC II	Test Date	06-19-2020
Standard	ASTM D 790	Operator	MR. IMAM
Temperature	23C	Relative Humidity	80%
Machine Model	TT-HW2-600S	Capacity	600kN

Test Data

No.	Width mm	ao, Ta mm	Fm N	FeH mm	FeL GPa						
01	25.40	4.50	430.0	23.6	3.5						


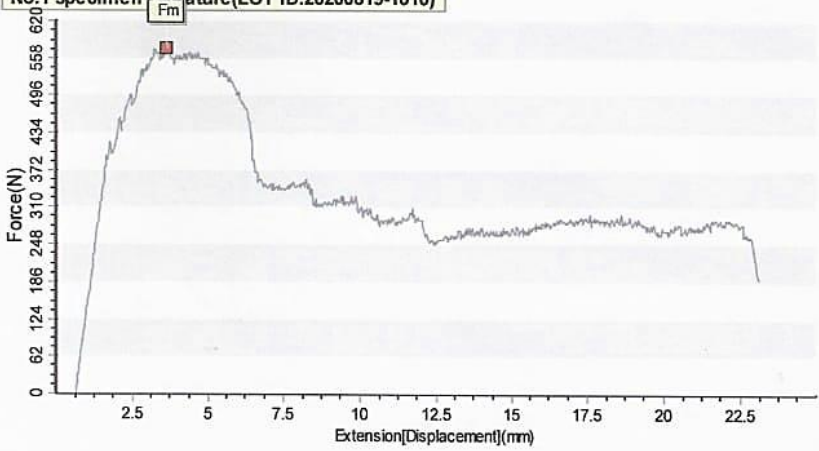
No.1 specimen signature (LOT ID:20200619-1008)



Operator:

QC:

Page 1

	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Gd. E5 LL1 Teknik Mesin Gunungpati, Semarang 50229 Telp. (024) 8508103		Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin - UNNES			
			LOT ID. 20200619-1010			
Company	KOMPOSIT CGC III		Test Date	06-19-2020		
Standard	ASTM D 790		Operator	MR. IMAM		
Temperature	23C		Relative Humidity	80%		
Machine Model	TT-HW2-600S		Capacity	600kN		
Test Data						
No.	Width mm	ao, Ta mm	Fm N	FeH mm	FeL GPa	
01	25.40	4.50	576.0	23.1	5.2	
No.1 specimen signature (LOT ID:20200619-1010)						
						

Operator: 

QC:

Page 1

Lampiran 5. Data Hasil Pengujian *Impact*



Spesimen KGK I



Spesimen KGK II



Spesimen KGK III



Spesimen CGC I



Spesimen CGC II



Spesimen CGC III

Lampiran 6. Perhitungan Tegangan *Bending*

a. Spesimen KGK I

Diketahui:

P : 386 N

L : 152 mm

b : 25,4 mm

d : 6 mm

Ditanya: tegangan *bending* (σ_b)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{3 \cdot (386) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (6)^2} \\ &= \frac{3 \cdot (386) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (36)} \\ &= \frac{176,016}{1828,8} \\ &= \mathbf{96,247 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

b. Spesimen KGK II

Diketahui:

P : 434 N

L : 152 mm

b : 25,4 mm

d : 6 mm

Ditanya: tegangan *bending* (σ_b)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{3 \cdot (434) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (6)^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{3 \cdot (434) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (36)} \\ &= \frac{197,904}{1828,8} \\ &= \mathbf{108,215 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

c. Spesimen KGK III

Diketahui:

P : 474 N

L : 152 mm

b : 25,4 mm

d : 6 mm

Ditanya: tegangan *bending* (σ_b)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{3 \cdot (474) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (6)^2} \\ &= \frac{3 \cdot (474) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (36)} \\ &= \frac{216,144}{1828,8} \\ &= \mathbf{118,189 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

d. Spesimen CGC I

Diketahui:

P : 270 N

L : 153 mm

b : 25 mm

d : 4,5 mm

Ditanya: tegangan *bending* (σ_b)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{3 \cdot (270) \cdot (153)}{2 \cdot (25) \cdot (4,5)^2} \\ &= \frac{3 \cdot (270) \cdot (153)}{2 \cdot (25) \cdot (20,25)} \\ &= \frac{123,930}{1012,5} \\ &= \mathbf{122,400 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

e. Spesimen CGC II

Diketahui:

$$\begin{aligned}P &: 430 \text{ N} \\ L &: 152 \text{ mm} \\ b &: 25,4 \text{ mm} \\ d &: 4,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Ditanya: tegangan *bending* (σ_b)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{3 \cdot (430) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (4,5)^2} \\ &= \frac{3 \cdot (430) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (20,25)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{196,080}{1028,7} \\ &= \mathbf{190,610 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

f. Spesimen CGC III

Diketahui:

$$\begin{aligned}P &: 576 \text{ N} \\ L &: 152 \text{ mm} \\ b &: 25,4 \text{ mm} \\ d &: 4,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Ditanya: tegangan *bending* (σ_b)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{3 \cdot (576) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (4,5)^2} \\ &= \frac{3 \cdot (576) \cdot (152)}{2 \cdot (25,4) \cdot (20,25)} \\ &= \frac{262,656}{1028,7} \\ &= \mathbf{255,328 \text{ MPa}}\end{aligned}$$

Lampiran 7. Perhitungan Defleksi

a. Spesimen KGK I

Diketahui:

$$r : 0,05$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

Ditanya: defleksi (δ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{r \cdot L^2}{6 \cdot d} \\ &= \frac{0,05 \cdot (152)^2}{6 \cdot (6)} \\ &= \frac{0,05 \cdot (23104)}{36} \\ &= \frac{1155,2}{36} \\ &= \mathbf{32,089 \text{ mm}}\end{aligned}$$

b. Spesimen KGK II

Diketahui:

$$r : 0,05$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

Ditanya: defleksi (δ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{r \cdot L^2}{6 \cdot d} \\ &= \frac{0,05 \cdot (152)^2}{6 \cdot (6)} \\ &= \frac{0,05 \cdot (23104)}{36} \\ &= \frac{1155,2}{36}\end{aligned}$$

$$= \mathbf{32,089 \text{ mm}}$$

c. Spesimen KGK III

Diketahui:

$$r : 0,05$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

Ditanya: defleksi (δ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{r \cdot L^2}{6 \cdot d} \\ &= \frac{0,05 \cdot (152)^2}{6 \cdot (6)} \\ &= \frac{0,05 \cdot (23104)}{36} \\ &= \frac{1155,2}{36} \\ &= \mathbf{32,089 \text{ mm}}\end{aligned}$$

d. Spesimen CGC I

Diketahui:

$$r : 0,05$$

$$L : 153 \text{ mm}$$

$$d : 4,5 \text{ mm}$$

Ditanya: defleksi (δ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{r \cdot L^2}{6 \cdot d} \\ &= \frac{0,05 \cdot (153)^2}{6 \cdot (4,5)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,05 \cdot (23409)}{27} \\
&= \frac{1170,45}{27} \\
&= \mathbf{43,350 \text{ mm}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,05 \cdot (152)^2}{6 \cdot (4,5)} \\
&= \frac{0,05 \cdot (23104)}{27} \\
&= \frac{1155,2}{27} \\
&= \mathbf{42,785 \text{ mm}}
\end{aligned}$$

e. Spesimen CGC II

Diketahui:

r : 0,05

L : 152 mm

d : 4,5 mm

Ditanya: defleksi (δ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}
\delta &= \frac{r \cdot L^2}{6 \cdot d} \\
&= \frac{0,05 \cdot (152)^2}{6 \cdot (4,5)} \\
&= \frac{0,05 \cdot (23104)}{27} \\
&= \frac{1155,2}{27} \\
&= \mathbf{42,785 \text{ mm}}
\end{aligned}$$

f. Spesimen CGC II

Diketahui:

r : 0,05

L : 152 mm

d : 4,5 mm

Ditanya: defleksi (δ)?

Dijawab:

$$\delta = \frac{r \cdot L^2}{6 \cdot d}$$

Lampiran 8. Perhitungan Regangan

a. Spesimen KGK I

Diketahui:

$$\delta : 32,089 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

Ditanya: regangan (ϵ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{6 \cdot \delta \cdot d}{L^2} \\ &= \frac{6 \cdot (32,089) \cdot (6)}{(152)^2} \\ &= \frac{6 \cdot (32,089) \cdot (6)}{23104} \\ &= \frac{1155,204}{23104} \\ &= \mathbf{0,05}\end{aligned}$$

b. Spesimen KGK II

Diketahui:

$$\delta : 32,089 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

Ditanya: regangan (ϵ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{6 \cdot \delta \cdot d}{L^2} \\ &= \frac{6 \cdot (32,089) \cdot (6)}{(152)^2} \\ &= \frac{6 \cdot (32,089) \cdot (6)}{23104} \\ &= \frac{1155,204}{23104}\end{aligned}$$

$$= \mathbf{0,05}$$

c. Spesimen KGK III

Diketahui:

$$\delta : 32,089 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

Ditanya: regangan (ϵ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{6 \cdot \delta \cdot d}{L^2} \\ &= \frac{6 \cdot (32,089) \cdot (6)}{(152)^2} \\ &= \frac{6 \cdot (32,089) \cdot (6)}{23104} \\ &= \frac{1155,204}{23104} \\ &= \mathbf{0,05}\end{aligned}$$

d. Spesimen CGC I

Diketahui:

$$\delta : 43,350 \text{ mm}$$

$$d : 4,5 \text{ mm}$$

$$L : 153 \text{ mm}$$

Ditanya: regangan (ϵ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{6 \cdot \delta \cdot d}{L^2} \\ &= \frac{6 \cdot (43,350) \cdot (4,5)}{(153)^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{6. (43,350). (4,5)}{23409} \\
&= \frac{1170,45}{23409} \\
&= \mathbf{0,05}
\end{aligned}$$

e. Spesimen CGC II

Diketahui:

$$\delta : 42,785 \text{ mm}$$

$$d : 4,5 \text{ mm}$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

Ditanya: regangan (ϵ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}
\epsilon &= \frac{6. \delta. d}{L^2} \\
&= \frac{6. (42,785). (4,5)}{(152)^2} \\
&= \frac{6. (42,785). (4,5)}{23104} \\
&= \frac{1155,195}{23104} \\
&= \mathbf{0,05}
\end{aligned}$$

f. Spesimen CGC III

Diketahui:

$$\delta : 42,785 \text{ mm}$$

$$d : 4,5 \text{ mm}$$

$$L : 152 \text{ mm}$$

Ditanya: regangan (ϵ)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}
\epsilon &= \frac{6. \delta. d}{L^2} \\
&= \frac{6. (42,785). (4,5)}{(152)^2} \\
&= \frac{6. (42,785). (4,5)}{23104} \\
&= \frac{1155,195}{23104} \\
&= \mathbf{0,05}
\end{aligned}$$

Lampiran 9. Perhitungan Modulus Elastisitas

a. Spesimen KGK I

Diketahui:

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$m : 1,25 \text{ N/mm}$$

$$b : 25,4 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

Ditanya: modulus elastisitas (E)?

Dijawab:

$$\begin{aligned} E &= \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3} \\ &= \frac{(152)^3 \cdot (1,25)}{4 \cdot (25,4) \cdot (6)^3} \\ &= \frac{(3511808) \cdot (1,25)}{(101,6) \cdot (216)} \\ &= \frac{4389760}{21945,6} \\ &= \mathbf{200,029 \text{ MPa}} \\ &= \mathbf{0,2 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

b. Spesimen KGK II

Diketahui:

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$m : 1,25 \text{ N/mm}$$

$$b : 25,4 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

Ditanya: modulus elastisitas (E)?

Dijawab:

$$E = \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(152)^3 \cdot (1,25)}{4 \cdot (25,4) \cdot (6)^3} \\ &= \frac{(3511808) \cdot (1,25)}{(101,6) \cdot (216)} \\ &= \frac{4389760}{21945,6} \\ &= \mathbf{200,029 \text{ MPa}} \\ &= \mathbf{0,2 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

c. Spesimen KGK III

Diketahui:

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$m : 1,25 \text{ N/mm}$$

$$b : 25,4 \text{ mm}$$

$$d : 6 \text{ mm}$$

Ditanya: modulus elastisitas

(E)?

Dijawab:

$$\begin{aligned} E &= \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3} \\ &= \frac{(152)^3 \cdot (1,25)}{4 \cdot (25,4) \cdot (6)^3} \\ &= \frac{(3511808) \cdot (1,25)}{(101,6) \cdot (216)} \\ &= \frac{4389760}{21945,6} \\ &= \mathbf{200,029 \text{ MPa}} \\ &= \mathbf{0,2 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

d. Spesimen CGC I

Diketahui:

$$L : 153 \text{ mm}$$

$$m : 9,92 \text{ N/mm}$$

$$b : 25 \text{ mm}$$

$$d : 4,5 \text{ mm}$$

Ditanya: modulus elastisitas

(E)?

Dijawab:

$$\begin{aligned} E &= \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3} \\ &= \frac{(153)^3 \cdot (9,92)}{4 \cdot (25) \cdot (4,5)^3} \\ &= \frac{(3581577) \cdot (9,92)}{(100) \cdot (91,125)} \\ &= \frac{35529243,8}{9112,5} \\ &= \mathbf{3899 \text{ MPa}} \\ &= \mathbf{3,9 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

e. Spesimen CGC II

Diketahui:

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$m : 9,23 \text{ N/mm}$$

$$b : 25,4 \text{ mm}$$

$$d : 4,5 \text{ mm}$$

Ditanya: modulus elastisitas (E)?

Dijawab:

$$E = \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(152)^3 \cdot (9,23)}{4 \cdot (25,4) \cdot (4,5)^3} \\ &= \frac{(3511808) \cdot (9,23)}{(101,6) \cdot (91,125)} \\ &= \frac{32413987,8}{9112,5} \\ &= \mathbf{3557 \text{ MPa}} \\ &= \mathbf{3,5 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

f. Spesimen CGC III

Diketahui:

$$L : 152 \text{ mm}$$

$$m : 13,71 \text{ N/mm}$$

$$b : 25,4 \text{ mm}$$

$$d : 4,5 \text{ mm}$$

Ditanya: modulus elastisitas (E)?

Dijawab:

$$\begin{aligned} E &= \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3} \\ &= \frac{(152)^3 \cdot (13,71)}{4 \cdot (25,4) \cdot (4,5)^3} \\ &= \frac{(3511808) \cdot (13,71)}{(101,6) \cdot (91,125)} \\ &= \frac{48146887,7}{9112,5} \\ &= \mathbf{5283 \text{ MPa}} \\ &= \mathbf{5,2 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

Lampiran 10. Perhitungan Kekuatan *Impact*

a. Spesimen KGK I

Diketahui:

$$E_p : 1,93 \text{ J}$$

$$b : 12,5 \text{ mm}$$

$$d_1 : 2,54 \text{ mm}$$

$$d_2 : 12 \text{ mm}$$

Ditanya: harga *impact* (*HI*)?

Dijawab:

$$\begin{array}{l} \Delta d = d_2 - d_1 \\ \quad = 12 - 2,54 \\ \quad = 9,46 \text{ mm} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} HI = \frac{E_p}{A} \\ \quad = \frac{E_p}{b \cdot \Delta d} \\ \quad = \frac{1,93}{12,5 \cdot (9,46)} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} = \frac{1,93}{118,25} \\ = \mathbf{0,016 \text{ J/mm}^2} \end{array} \right.$$

b. Spesimen KGK II

Diketahui:

$$E_p : 1,84 \text{ J}$$

$$b : 12,5 \text{ mm}$$

$$d_1 : 2,54 \text{ mm}$$

$$d_2 : 12 \text{ mm}$$

Ditanya: harga *impact* (*HI*)?

Dijawab:

$$\begin{array}{l} \Delta d = d_2 - d_1 \\ \quad = 12 - 2,54 \\ \quad = 9,46 \text{ mm} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} HI = \frac{E_p}{A} \\ \quad = \frac{E_p}{b \cdot \Delta d} \\ \quad = \frac{1,84}{12,5 \cdot (9,46)} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} = \frac{1,84}{118,25} \\ = \mathbf{0,016 \text{ J/mm}^2} \end{array} \right.$$

c. Spesimen KGK III

Diketahui:

$$E_p : 2,24 \text{ J}$$

$$b : 12,5 \text{ mm}$$

$$d_1 : 2,54 \text{ mm}$$

$$d_2 : 12 \text{ mm}$$

Ditanya: harga *impact* (*HI*)?

Dijawab:

$$\begin{array}{l} \Delta d = d_2 - d_1 \\ \quad = 12 - 2,54 \\ \quad = 9,46 \text{ mm} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} HI = \frac{E_p}{A} \\ \quad = \frac{E_p}{b \cdot \Delta d} \\ \quad = \frac{2,24}{12,5 \cdot (9,46)} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} = \frac{2,24}{118,25} \\ = \mathbf{0,019 \text{ J/mm}^2} \end{array} \right.$$

d. Spesimen CGC I

Diketahui:

$$E_p : 13,32 \text{ J}$$

$$b : 12,5 \text{ mm}$$

$$d_1 : 2,54 \text{ mm}$$

$$d_2 : 12 \text{ mm}$$

Ditanya: harga *impact* (*HI*)?

Dijawab:

$$\begin{array}{l} \Delta d = d_2 - d_1 \\ \quad = 12 - 2,54 \\ \quad = 9,46 \text{ mm} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} HI = \frac{E_p}{A} \\ \quad = \frac{E_p}{b \cdot \Delta d} \\ \quad = \frac{13,32}{12,5 \cdot (9,46)} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} = \frac{13,32}{118,25} \\ = \mathbf{0,113 \text{ J/mm}^2} \end{array} \right.$$

e. Spesimen CGC II

Diketahui:

$$E_p : 15,36 \text{ J}$$

$$b : 12,5 \text{ mm}$$

$$d_1 : 2,54 \text{ mm}$$

$$d_2 : 12 \text{ mm}$$

Ditanya: harga *impact* (*HI*)?

Dijawab:

$$\begin{array}{l} \Delta d = d_2 - d_1 \\ = 12 - 2,54 \\ = 9,46 \text{ mm} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} HI = \frac{E_p}{A} \\ = \frac{E_p}{b \cdot \Delta d} \\ = \frac{15,36}{12,5 \cdot (9,46)} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} = \frac{15,36}{118,25} \\ = \mathbf{0,130 \text{ J/mm}^2} \end{array} \right.$$

f. Spesimen CGC III

Diketahui:

$$E_p : 12,85 \text{ J}$$

$$b : 12,5 \text{ mm}$$

$$d_1 : 2,54 \text{ mm}$$

$$d_2 : 12 \text{ mm}$$

Ditanya: harga *impact* (*HI*)?

Dijawab:

$$\begin{array}{l} \Delta d = d_2 - d_1 \\ = 12 - 2,54 \\ = 9,46 \text{ mm} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} HI = \frac{E_p}{A} \\ = \frac{E_p}{b \cdot \Delta d} \\ = \frac{12,85}{12,5 \cdot (9,46)} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} = \frac{12,85}{118,25} \\ = \mathbf{0,109 \text{ J/mm}^2} \end{array} \right.$$

Lampiran 11. Perhitungan Densitas

a. Spesimen KGK I

Diketahui:

$$m_u : 1,942 \text{ g}$$

$$m_f : 0,396 \text{ g}$$

$$\rho_f : 1 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya: nilai densitas (ρ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\rho_c &= \frac{m_u}{(m_u - m_f)} \times \rho_f \\ &= \frac{1,942}{(1,942 - 0,396)} \times 1 \\ &= \frac{1,942}{1,546} \\ &= \mathbf{1,256 \text{ g/cm}^3}\end{aligned}$$

b. Spesimen KGK II

Diketahui:

$$m_u : 1,942 \text{ g}$$

$$m_f : 0,396 \text{ g}$$

$$\rho_f : 1 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya: nilai densitas (ρ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\rho_c &= \frac{m_u}{(m_u - m_f)} \times \rho_f \\ &= \frac{1,942}{(1,942 - 0,396)} \times 1 \\ &= \frac{1,942}{1,546} \\ &= \mathbf{1,256 \text{ g/cm}^3}\end{aligned}$$

c. Spesimen KGK III

Diketahui:

$$m_u : 1,942 \text{ g}$$

$$m_f : 0,396 \text{ g}$$

$$\rho_f : 1 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya: nilai densitas (ρ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\rho_c &= \frac{m_u}{(m_u - m_f)} \times \rho_f \\ &= \frac{1,942}{(1,942 - 0,396)} \times 1 \\ &= \frac{1,942}{1,546} \\ &= \mathbf{1,256 \text{ g/cm}^3}\end{aligned}$$

d. Spesimen CGC I

Diketahui:

$$m_u : 1,908 \text{ g}$$

$$m_f : 0,443 \text{ g}$$

$$\rho_f : 1 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya: nilai densitas (ρ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\rho_c &= \frac{m_u}{(m_u - m_f)} \times \rho_f \\ &= \frac{1,908}{(1,908 - 0,443)} \times 1 \\ &= \frac{1,908}{1,465} \\ &= \mathbf{1,302 \text{ g/cm}^3}\end{aligned}$$

e. Spesimen CGC II

Diketahui:

$$m_u : 1,877 \text{ g}$$

$$m_f : 0,398 \text{ g}$$

$$\rho_f : 1 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya: nilai densitas (ρ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\rho_c &= \frac{m_u}{(m_u - m_f)} \times \rho_f \\ &= \frac{1,877}{(1,877 - 0,398)} \times 1 \\ &= \frac{1,877}{1,479} \\ &= \mathbf{1,269 \text{ g/cm}^3}\end{aligned}$$

f. Spesimen CGC III

Diketahui:

$$m_u : 1,983 \text{ g}$$

$$m_f : 0,441 \text{ g}$$

$$\rho_f : 1 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya: nilai densitas (ρ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\rho_c &= \frac{m_u}{(m_u - m_f)} \times \rho_f \\ &= \frac{1,983}{(1,983 - 0,441)} \times 1 \\ &= \frac{1,983}{1,542} \\ &= \mathbf{1,286 \text{ g/cm}^3}\end{aligned}$$

Lampiran 12. Perhitungan Porositas

a. Spesimen KGK I

Diketahui:

$$m_u : 1,792 \text{ g}$$

$$m_f : 0,365 \text{ g}$$

$$m_b : 1,836 \text{ g}$$

Ditanya: nilai porositas (θ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\theta_c &= \frac{(m_b - m_u)}{(m_b - m_f)} \times 100\% \\ &= \frac{(1,836 - 1,792)}{(1,836 - 0,365)} \times 100\% \\ &= \frac{0,044}{1,371} \times 100\% \\ &= 0,02991 \times 100\% \\ &= \mathbf{2,991\%}\end{aligned}$$

b. Spesimen KGK II

Diketahui:

$$m_u : 1,942 \text{ g}$$

$$m_f : 0,396 \text{ g}$$

$$m_b : 1,964 \text{ g}$$

Ditanya: nilai porositas (θ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\theta_c &= \frac{(m_b - m_u)}{(m_b - m_f)} \times 100\% \\ &= \frac{(1,964 - 1,942)}{(1,964 - 0,396)} \times 100\% \\ &= \frac{0,022}{1,568} \times 100\% \\ &= 0,01403 \times 100\% \\ &= \mathbf{1,403\%}\end{aligned}$$

$$= \mathbf{1,403\%}$$

c. Spesimen KGK III

Diketahui:

$$m_u : 1,882 \text{ g}$$

$$m_f : 0,383 \text{ g}$$

$$m_b : 1,939 \text{ g}$$

Ditanya: nilai porositas (θ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\theta_c &= \frac{(m_b - m_u)}{(m_b - m_f)} \times 100\% \\ &= \frac{(1,939 - 1,882)}{(1,939 - 0,383)} \times 100\% \\ &= \frac{0,057}{1,556} \times 100\% \\ &= 0,03663 \times 100\% \\ &= \mathbf{3,663\%}\end{aligned}$$

d. Spesimen CGC I

Diketahui:

$$m_u : 1,908 \text{ g}$$

$$m_f : 0,443 \text{ g}$$

$$m_b : 1,917 \text{ g}$$

Ditanya: nilai porositas (θ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}\theta_c &= \frac{(m_b - m_u)}{(m_b - m_f)} \times 100\% \\ &= \frac{(1,917 - 1,908)}{(1,917 - 0,443)} \times 100\% \\ &= \mathbf{1,403\%}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,009}{1,474} \times 100\% \\
&= 0,00611 \times 100\% \\
&= \mathbf{0,611\%}
\end{aligned}$$

e. Spesimen CGC II

Diketahui:

$$m_u : 1,877 \text{ g}$$

$$m_f : 0,398 \text{ g}$$

$$m_b : 1,899 \text{ g}$$

Ditanya: nilai porositas (θ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}
\theta_c &= \frac{(m_b - m_u)}{(m_b - m_f)} \times 100\% \\
&= \frac{(1,899 - 1,877)}{(1,899 - 0,398)} \times 100\% \\
&= \frac{0,022}{1,501} \times 100\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,01466 \times 100\% \\
&= \mathbf{1,466\%}
\end{aligned}$$

f. Spesimen CGC III

Diketahui:

$$m_u : 1,983 \text{ g}$$

$$m_f : 0,441 \text{ g}$$

$$m_b : 2,007 \text{ g}$$

Ditanya: nilai porositas (θ_c)?

Dijawab:

$$\begin{aligned}
\theta_c &= \frac{(m_b - m_u)}{(m_b - m_f)} \times 100\% \\
&= \frac{(2,007 - 1,983)}{(2,007 - 0,441)} \times 100\% \\
&= \frac{0,024}{1,566} \times 100\% \\
&= 0,01533 \times 100\% \\
&= \mathbf{1,533\%}
\end{aligned}$$

Lampiran 13. Karakteristik Komposit KGK dan CGC

Karakteristik Komposit KGK

Karakteristik	Nilai
Kekuatan <i>bending</i>	107,550 MPa
Defleksi	32,089 mm
Regangan	0,05
Modulus elastisitas	0,2 GPa
Kekuatan <i>impact</i>	0,017 J/mm ²
Densitas	1,256 g/cm ³
Porositas	2,686%

Karakteristik Komposit CGC

Karakteristik	Nilai
Kekuatan <i>bending</i>	189,446 MPa
Defleksi	42,973 mm
Regangan	0,05
Modulus elastisitas	4,2 GPa
Kekuatan <i>impact</i>	0,117 J/mm ²
Densitas	1,286 g/cm ³
Porositas	1,203%