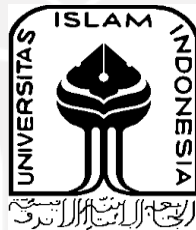


**PENGARUH DIAMETER *HONEYCOMB* RIBS PADA
PRODUK *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE* (ABS) 3D
PRINTING *FUSED FILAMENT FABRICATION* (FFF) YANG
DIPERKUAT KOMPOSIT *CARBON FIBER***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Yolán Aprillio

No. Mahasiswa : 17525028

NIRM : 2017023593

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH DIAMETER *HONEYCOMB* RIBS PADA
PRODUK *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE* (ABS) 3D
PRINTING *FILAMENT FUSED FABRICATION* (FFF) YANG
DIPERKUAT KOMPOSIT CARBON FIBER**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

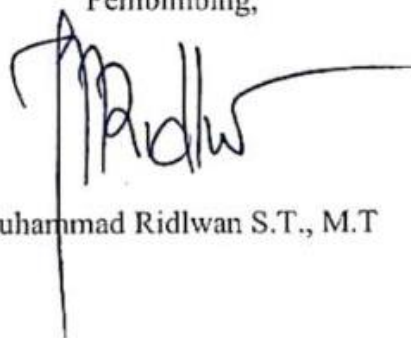
Nama : Yolani Aprillio

No. Mahasiswa : 17525028

NIRM : 2017023593

Yogyakarta, 16 November 2022

Pembimbing,



Muhammad Ridwan S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PENGARUH DIAMETER *HONEYCOMB* RIBS PADA
PRODUK *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS)* 3D
PRINTING *FUSED FILAMENT FABRICATION (FFF)* YANG
DIPERKUAT KOMPOSIT *CARBON FIBER***

TUGAS AKHIR

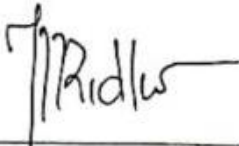
Disusun Oleh :

Nama : Yolán Aprillio
No. Mahasiswa : 17525028
NIRM : 2017023593

Tim Penguji

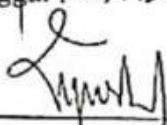
Muhammad Ridwan, S.T., M.T.

Ketua


Tanggal : 07/12/2022

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Anggota I


Tanggal : 29 Nov 22

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.

Anggota II


Tanggal : 1 Desember 2022

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik Mesin



Prof. Dr. Hafidh, S.T., M.T., IPP

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : YOLAN APRILLIO

NIM : 17525028

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknologi Industri

Judul Skripsi : PENGARUH DIAMETER *HONEYCOMB* RIBS PADA PRODUK *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE* (ABS) 3D PRINTING *FUSED FILAMENT FABRICATION* (FFF) YANG DIPERKUAT KOMPOSIT *CARBON FIBER*

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan skripsi ini merupakan hasil plagiasi atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan serta tata tertib yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 8 Desember 2022



Yolan Aprillio

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Orangtua saya Bapak Septiadji Tavipriyanto dan Ibu Sri Purwanti yang selalu memberikan nasihat, dan doa yang tulus tiada henti agar penulisan tugas akhir ini selesai.

Kakak saya Fitri Febriantika yang selalu membantu dan menjadi penyemangat dikala kesusahan mengerjakan tugas akhir ini.



HALAMAN MOTTO

Ketika Anda telah memutuskan untuk menekuni suatu bidang tertentu. Maka sebisa mungkin konsistenlah. Karena itu akan menjadi awal keberhasilan sebenarnya.

(B.J Habibie)

“Sebaik-baiknya manusia adalah yang paling bermanfaat bagi sesama manusia”

(HR. Thabrani dalam Al-Ausath)



KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis haturkan atas ke hadirat Allah SWT. Yang mana berkat rahmat dan ridho serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul penelitian “Pengaruh Diameter *Honeycomb* Ribs Pada Produk *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) 3D Printing Fused Filament Fabrication (FFF)* Yang Diperkuat Komposit *Carbon Fiber*”. Tugas Akhir ini dijalankan untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari dalam kegiatan tugas akhir ini tidak akan terealisasi tanpa adanya bantuan dan dorongan dari semua pihak. Dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, baik secara moral maupun materiil selama Tugas Akhir hingga penyusunan Laporan ini. Ucapan terima kasih ini disampaikan kepada:

1. Allah SWT tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat kepada kita dengan begitu banyak.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan pengarahan, motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kedua orang tuaku bapak dan ibu terima kasih banyak atas doa yang tak pernah berhenti mengiringi setiap langkah, motivasi, dukungan baik secara moral maupun material.
6. Seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin yang telah mendidik, mengajarkan banyak ilmu pengetahuan tentang teknik mesin.

7. Teman saya Muhammad Nur Faizun dan Syahrul Mubarak yang selalu saling support dalam mengerjakan tugas akhir ini.
8. Teruntuk semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih karena telah banyak membantu penulis selama pelaksanaan tugas akhir ini, semoga kebaikan kalian mendapatkan imbalan dari Allah SWT.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 16 November 2022



Yolanda Aprillio

ABSTRAK

Teknologi *additive manufacturing* atau 3D printing memiliki kemampuan untuk mendapatkan geometri produk dengan baik, namun memiliki kekakuan yang rendah. Sehingga muncul ide penggabungan 3D printing dengan material komposit, karena komposit memiliki keunggulan dibanding material lain yaitu kuat, kaku, ringan dan tahan korosi. Pada penelitian ini menggabungkan 3D printing produk tertutup yang didalamnya tidak bisa dilapisi komposit, sehingga diperkuat menggunakan ribs. Ribs yang dibuat berbentuk *honeycomb* dengan variasi diameter ribs 10mm, 20mm, dan 30mm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter ribs terhadap kekakuan bending spesimen 3D printing yang diperkuat dengan ribs *honeycomb* dan 1 lapis *skin carbon fiber*. Core dan ribs dibuat menggunakan mesin 3D Print dengan bahan ABS dengan infill 20% dan fill pattern *geroid*. Penelitian ini menggunakan pengujian bending untuk mengetahui kekuatan pada masing – masing spesimen uji. Berdasarkan pengujian bending yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen dengan nilai kekakuan tertinggi adalah spesimen diameter ribs 10 mm dengan nilai sebesar 7.761.943,88 Nmm² untuk spesimen tanpa skin karbon. Sedangkan spesimen dengan skin karbon dengan nilai sebesar 11.476.782,99 Nmm². Hasil analisis kekakuan bending pada spesimen yang menggunakan skin karbon memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak menggunakan skin karbon.

Kata kunci: 3D Printing, Komposit, *Carbon Fiber*, *Ribs Honeycomb*, Uji Bending

ABSTRACT

Additive manufacturing technology or 3D printing has the ability to get good product geometry, but it has low stiffness. So the idea emerged of combining 3D printing with composite materials, because the composites have advantages over other materials, namely strong, stiff, lightweight and corrosion resistant. In this research, it combined 3D printing of closed products which cannot be coated inside with composite, so they are strengthened using ribs. Ribs made in the form of honeycomb with variations in diameter of 10mm, 20mm and 30mm ribs. The aims of this research are to determine the effect of variations in the diameter of the ribs on the bending stiffness of 3D printing specimens reinforced with honeycomb ribs and 1 layer of skin carbon fiber. Core and ribs are made using a 3D printing machine with ABS material with 20% infill and fill pattern geroid. This research uses bending testing to determine the strength of each test specimen. Based on the bending tests, it shows that the specimen with the highest stiffness value is the rib diameter of 10 mm with a value of 7,761,943.88 Nmm² for the specimen without carbon skin. While the specimen with carbon skin has a value of 11,476,782.99 Nmm². The results of the bending stiffness analysis on specimens using carbon skins have a higher value when compared to specimens that do not use carbon skins.

Keywords: 3D Printing, Composite, Carbon Fiber, Honeycomb Ribs, Bending Test

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi	xvii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Komposit	6
2.3 Komposit <i>Sandwich</i>	6
2.3.1 <i>Core</i>	7
2.3.2 <i>Skin</i>	7
2.3.3 <i>Matrix</i> (Resin)	8
2.4 <i>3D Printing</i>	9
2.5 <i>Vacuum Infusion</i>	9
2.6 Pengujian Bending	10
2.7 Modulus Kegagalan Pengujian Bending Komposit <i>Sandwich</i>	11
Bab 3 Metode Penelitian	13

3.1	Alur Penelitian	13
3.2	Peralatan dan Bahan.....	14
3.3	Pemilihan Dimensi Desain Dengan <i>Finite Element</i>	21
3.4	Proses Pengerjaan	23
3.4.1	Pembuatan Spesimen dengan <i>3D Printing</i>	23
3.4.2	Skema Lapisan <i>Vacuum Infusion</i>	24
3.4.3	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	25
3.4.4	Hasil Proses Pengerjaan	29
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	30
4.1	Proses Pengujian Bending	30
4.2	Hasil Pengujian Bending	30
4.3	Analisis dan Perhitungan	33
4.4.	Perhitungan	38
4.5.	Pembahasan	39
BAB 5	Penutup.....	41
5.1.	Kesimpulan	41
5.2.	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	41
Daftar Pustaka	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Tabel Hasil <i>Finite Element</i>	21
Tabel 3-2 Parameter Proses Pembuatan Spesimen.....	24
Tabel 4-1 Hasil Uji Bending Spesimen Uji Tanpa <i>Skin</i> Karbon	32
Tabel 4-2 Hasil Uji Bending Spesimen Uji Dengan <i>Skin</i> Karbon.....	32
Tabel 4-3 Mode Kegagalan Yang Terjadi Pada Setiap Spesimen.....	37
Tabel 4-4 Hasil Perhitungan Bending Spesimen Tanpa <i>Skin</i> Karbon.....	38
Tabel 4-5 Hasil Perhitungan Bending Spesimen Menggunakan <i>Skin</i> Karbon	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Elemen Penyusun Komposit <i>Sandwich</i>	7
Gambar 2-2 <i>Core</i> Komposit <i>Sandwich</i>	7
Gambar 2-3 Serat <i>Carbon Fiber</i>	8
Gambar 2-4 Mesin <i>3D Printing</i>	9
Gambar 2-5 Skema <i>Vacuum Infusion</i>	10
Gambar 2-6 <i>Universal Testing Machine</i>	10
Gambar 2-7 Jenis-Jenis Kegagalan Pada <i>Skin</i> Komposit <i>Sandwich</i>	11
Gambar 2-8 Jenis-Jenis Kegagalan Pada <i>Core</i> Komposit <i>Sandwich</i>	12
Gambar 3-1 <i>3D Printing</i>	14
Gambar 3-2 Filamen ABS	14
Gambar 3-3 Pompa Vakum	14
Gambar 3-4 Filter Dengan Indikator Udara	15
Gambar 3-5 Selang Pneumatik.....	15
Gambar 3-6 Selang Spiral	15
Gambar 3-7 Plastik	16
Gambar 3-8 Kain <i>Peelply</i>	16
Gambar 3-9 Kain Strimin	16
Gambar 3-10 <i>Sealent Tape</i>	17
Gambar 3-11 Serat Karbon.....	17
Gambar 3-12 Resin <i>Epoxy</i>	17
Gambar 3-13 <i>Hardener</i>	18
Gambar 3-14 Lem Dextone	18
Gambar 3-15 Akrilik	18
Gambar 3-16 Plastisin	19
Gambar 3-17 Timbangan.....	19
Gambar 3-18 Gelas Plastik dan Pengaduk	19
Gambar 3-19 Gunting.....	20
Gambar 3-20 Cutter	20
Gambar 3-21 Jangka Sorong	20
Gambar 3-22 Spesimen A10_1.....	21

Gambar 3-23 Spesimen A20_3.....	22
Gambar 3-24 Spesimen A30_5.....	22
Gambar 3-25 Dimensi Spesimen Uji.....	23
Gambar 3-26 Proses Pembuatan <i>Core & Ribs</i>	23
Gambar 3-27 Skema Lapisan <i>Vacuum Infusion</i>	24
Gambar 3-28 Susunan Plastik, <i>Sealant Tape</i> , Selang Pneumatik Dan Selang Spiral	25
Gambar 3-29 Lapisan Spesimen, Serat Karbon, <i>Peelply</i> Dan Strimin.....	26
Gambar 3-30 Proses Pengecekan Kebocoran.....	26
Gambar 3-31 Resin <i>Epoxy</i> Dan <i>Hardener</i>	27
Gambar 3-32 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	27
Gambar 3-33 Hasil Proses <i>Vacuum Infusion</i>	28
Gambar 3-34 Hasil <i>Vacuum Infusion</i>	28
Gambar 3-35 Spesimen Tanpa <i>Skin</i> Karbon.....	29
Gambar 3-36 Spesimen Dengan <i>Skin</i> Karbon	29
Gambar 4-1 Proses Pengujian Bending Spesimen	30
Gambar 4-2 Spesimen Tanpa <i>Skin</i> Karbon.....	31
Gambar 4-3 Spesimen Dengan <i>Skin</i> Karbon	31
Gambar 4-4 Mode Kegagalan 1	33
Gambar 4-5 Kegagalan Spesimen A10_5	33
Gambar 4-6 Kegagalan Spesimen A30_5	34
Gambar 4-7 Mode Kegagalan 2	34
Gambar 4-8 Kegagalan Spesimen A10_1	34
Gambar 4-9 Kegagalan Spesimen A20_1	35
Gambar 4-10 Mode Kegagalan 3.....	35
Gambar 4-11 Kegagalan Spesimen A20_1	35
Gambar 4-12 Kegagalan Spesimen A30_1	36
Gambar 4-13 Mode Kegagalan 4.....	36
Gambar 4-14 Kegagalan Spesimen A30_3	36
Gambar 4-15 Kegagalan Spesimen CA30_3.....	37
Gambar 4-16 Grafik Kekakuan Bending Spesimen Tanpa <i>Skin</i> dan Spesimen Dengan <i>Skin</i> Karbon.....	39

Gambar 4-17 Grafik Kekakuan Bending Spesifik Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin* Karbon40



DAFTAR NOTASI

E = Modulus Elastisitas Bending (N/mm^2)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak Point (mm)

δ = Defleksi (mm)

I = Momen Inersia (kgm)

D = Kekakuan Bending (Nmm^2)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era saat ini kemajuan teknologi modern sangat berkembang pesat, yang mengakibatkan kebutuhan akan penelitian dalam segala bidang terus meningkat, terutama dalam bidang material. Kebutuhan akan material yang mempunyai sifat tangguh, kaku, kuat dan mudah dibentuk sesuai dengan keinginan yang sangat dibutuhkan oleh produsen. Bersamaan dengan kebutuhan tersebut maka muncul gagasan untuk menciptakan material baru yang ringan, simple dan memiliki sifat ketahanan yang sama atau bahkan lebih kuat dibandingkan dengan material lama yang pembuatannya lebih rumit. Kebutuhan akan material ini mencakup diberbagai bidang kehidupan saat ini, mulai dari industri, konstruksi, teknologi, dan sebagainya.

Teknologi *additive manufacturing* atau *3D printing* merupakan proses manufaktur dengan cara menambahkan ribuan lapisan kecil yang dikombinasikan untuk menghasilkan barang jadi. Dibandingkan dengan proses manufaktur lainnya, teknologi *additive manufacturing* memiliki kemampuan untuk mendapatkan geometri produk dengan baik. *Fused deposition modeling* (FDM) merupakan salah satu teknologi *3D printing* yang paling digunakan karena teknik ini dapat diaplikasikan pada jenis material yang sangat beragam. Banyak jenis material plastik yang bisa digunakan dalam teknik FDM, mulai dari plastik komoditas seperti PLA dan ABS, plastik *engineering* seperti poliamida, TPU, dan PETG, sampai plastik high-performance seperti PEEK dan PEI. Namun teknologi 3D Printing FDM ini memiliki kekurangan pada nilai kekuatan bending yang relatif masih rendah dibanding dengan produk material rekayasa lainnya. Selain itu dimensi produk 3D print memiliki keterbatasan dan kekakuan produk masih rendah.

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang mempunyai sifat mekanik lebih kuat dari material pembentuknya. Keunggulan komposit adalah dapat membuat produk dengan dimensi yang relatif besar (> 1000mm). Material komposit yang banyak digunakan

dalam pembuatan produk-produk modern adalah matriks polimer dengan serat *fiberglass*, *carbon fiber*, dan *carbon kevlar*. Pada produk dengan dimensi besar diperlukan penguat dengan menambahkan lapisan inti atau *core* dengan tujuan untuk menambah kekakuan produk. Komposit dengan penambahan *core* disebut komposit *sandwich*. Namun tidak semua produk dapat diperlakukan komposit *sandwich*, seperti produk tertutup yang bagian dalamnya tidak bisa dilapisi skin.

Dengan adanya kekurangan pada produk tertutup yang tidak bisa dilapisi komposit secara *sandwich* perlu dilakukan inovasi agar mendapatkan material yang tetap memiliki kekakuan tinggi. Ide penambahan ribs pada *core* yang diinspirasi dari struktur bangunan bertingkat yang memiliki keunggulan kekakuan yang baik. Ribs yang dibuat berbentuk *honeycomb* karena saling berkaitan sehingga kekakuan yang dihasilkan baik. Variasi diameter pada *honeycomb* juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh pada kekakuan. Penambahan ribs pada *core* memberikan peluang bahwa geometri dan sifat mekanik produk komposit tertutup dapat lebih unggul. Selain itu dalam pembuatan produk komposit *skin* yang digunakan hanya 1 sisi karena dibagian dalam tidak bisa dilapisi komposit.

Serat karbon (*carbon fiber*) adalah material penguat pada komposit yang memiliki keunggulan pada rasio kekuatan dengan beratnya yang sangat baik (ringan). Struktur *gyroid* dipilih pada *infill* 3D print karena memiliki sifat mekanik yang baik pada arah beban bending. Penelitian dilakukan dengan pengabungan antara kekuatan serat karbon sebagai *skin* dan *core* yang diperkuat dengan ribs *honeycomb* dengan struktur *gyroid* dan diharapkan dapat menghasilkan produk komposit tertutup yang memiliki sifat mekanik lebih tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah pada perancangan ini adalah:

1. Bagaimana cara pembuatan spesimen 3D Print yang diperkuat ribs dan *carbon fiber*
2. Bagaimana pengaruh diameter ribs terhadap kekakuan bending

1.3 Batasan Masalah

Penelitian atau perancangan ini memiliki batasan agar penyusunannya tidak menyimpang dari topik yang dibahas. Maka batasan masalah perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen menggunakan mesin *3D Printing* dengan *infill* 20% dan *fill pattern geroid*.
2. Jenis material *core dan ribs* adalah ABS dengan skin 1 sisi dari bahan serat karbon menggunakan metode *vacuum infusion*.
3. Ribs berbentuk *honeycomb* dengan variasi diameter 10mm, 20mm, dan 30mm.
4. Pengujian yang dilakukan hanya pengujian bending ASTM C-393.
5. Finite element digunakan hanya untuk memilih dimensi desain.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi diameter ribs terhadap kekakuan bending spesimen *3D printing* yang diperkuat dengan ribs *honeycomb* dan 1 lapis skin *carbon fiber* dengan metode *vacuum infusion*.
2. Mengetahui nilai kekakuan bending tertinggi pada spesimen tanpa *skin* karbon dan spesimen dengan *skin* karbon.
3. Membandingkan hasil kekakuan bending pada spesimen tanpa *skin* karbon dan spesimen dengan *skin* karbon.
4. Menganalisis kegagalan yang terjadi pada spesimen akibat pengujian bending.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat yang didapat setelah melakukan pengujian ini, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh penambahan ribs pada core dengan variasi diameter ribs terhadap kekakuan bending.
2. Hasil penelitian dapat digunakan untuk merancang produk *3D printing* FDM yang memerlukan ribs dan diperkuat dengan *carbon fiber*.
3. Dapat diterapkan pada produk-produk tertutup yang memerlukan komposit dengan kekakuan yang baik, seperti produk berbentuk bola.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian atau perancangan, manfaat penelitian atau perancangan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka mengenai dasar teori yang melandasi pembuatan skripsi.

BAB III Metode Penelitian

Pada bab ini berisikan diagram alir penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, dan pengujian spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisikan analisa data, hasil pengujian bending, dan penampilan grafik dan tabel.

BAB V Penutup

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Kajian pustaka pertama yang dijadikan sebagai dasar penelitian ini dari (Adriansyah, 2021) yang membahas tentang pengujian bending pada komposit *sandwich* dengan metode *hand layup* dengan infill pada core 3D Print 10% dan *infill* 20%. Didapatkan hasil bahwa komposit *sandwich* dengan *infill* 20% lebih baik disbanding dengan komposit *sandwich* dengan *infill* 10%.

Kajian pustaka kedua dari (Baraja, 2021) yang membahas tentang penggabungan proses 3D Printing dengan komposit *sandwich* dengan produk helm sepeda, karena memiliki geometri yang kompleks. Helm sepeda hasil cetak 3D Printing dilakukan proses komposit *sandwich* dengan menggunakan proses *Vacuum Infusion*. Kemudian dilakukan proses scanning pada helm sepeda dan hasil scanning dicocokkan dengan desain utama hasil helm sepeda untuk dilihat apakah ada perubahan dimensi pada helm sepeda setelah dilakukan proses komposit *sandwich* metode *vacuum infusion*. Hasil scan menunjukkan adanya perubahan dimensi pada helm sepeda sebesar 6 sampai 7 mm dari desain utamanya.

Kajian pustaka ketiga dari (Mutasiana, 2014) yang meneliti tentang karakteristik lentur dari komposit *sandwich* serat *kantula* menggunakan variasi ketebalan *core* kardus tipe BC-Flute. Spesimen yang telah dilapisi komposit tersebut kemudian dilakukan uji bending yang mengacu pada ASTM C-393. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan mempengaruhi tegangan *bending*, tegangan geser *core*, dan tegangan bending pada permukaan. Nilai tertinggi tegangan bending komposit sebesar 17,47 MPa pada ketebalan *core* 10 mm. Nilai tertinggi tegangan bending face sebesar 16,84 MPa pada ketebalan *core* 10 mm. Nilai tertinggi tegangan geser *core* sebesar 0,75 Mpa pada ketebalan *core* 10 mm.

Kajian pustaka keempat dari (Marsono, 2021) yang meneliti tentang panel *sandwich honeycomb* yang dibuat dari komposit serat karbon dan diuji bending untuk menentukan kekuatan lentur dan kekakuan. Matriks yang digunakan pada penelitian tersebut adalah resin epoksi yang dibuat dengan perlakuan awal yaitu dipanaskan dan tanpa dipanaskan. Hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa

kekuatan lentur tertinggi dimiliki oleh spesimen yang memiliki 2 lapis serat karbon dengan resin epoksi yang dilakukan pemanasan dan kekakuan lentur tertinggi juga dimiliki oleh spesimen yang sama.

Kajian pustaka kelima dari (Sugiyama et al., 2018) yang mencoba membuat komposit dengan core 3D printing berbahan PLA dengan inti berbentuk *honeycomb* dengan menggunakan mesin 3D printing tipe FDM. Dalam komposit sandwich tersebut lapisan *core* dilapisi dengan serat kaca (*fiberglass*) dan diresapi oleh resin di dapat bahwa sifat mekanik komposit sangat bergantung pada bentuk inti.

2.2 Komposit

Material komposit adalah material gabungan dari dua atau lebih material yang terikat secara makroskopis. Material komposit memiliki dua bagian penting sebagai penyusunnya. Yang pertama yaitu matrik sebagai pengikat contohnya yaitu resin *epoxy*, yang kedua yaitu *filler* yang berfungsi sebagai penguat berupa serat maupun partikel, contohnya yaitu *carbon fiber* dan *fiberglass*. Karakteristik dari komposit sendiri ditentukan dari *filler* yang digunakan seperti keuletan, kekakuan, kekuatan, kelenturan maupun sifat mekanik yang lainnya. (Surdia, 1999)

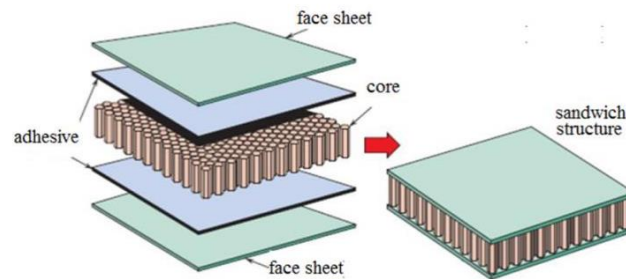
Komposit berpenguat serat memiliki kekuatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan komposit yang berpenguat partikel, komposit serat sendiri terdiri dari serat sebagai *filler* (penguat) dan umumnya menggunakan *polymer* (resin) sebagai matrik pengikatnya. Matrik juga berfungsi sebagai pengisi volume dan sebagai pelindung serat. (Schwarz M.M. 1984)

2.3 Komposit Sandwich

Ada berbagai macam jenis komposit dan salah satunya adalah komposit *sandwich* yang merupakan salah satu dari jenis komposit yang komponennya tersusun dari tiga material atau lebih yang terdiri dari *flat composite* sebagai *skin* dan *core* di bagian tengahnya. (Steeves, 2004)

Komposit *sandwich* adalah suatu material yang terbentuk dari dua lapisan yang tipis (*skin*) dan kaku. Kekuatan *skin* dipisahkan suatu ketebalan bersifat ringan yaitu inti (*core*). Material inti (*core*) dan lapisan tipis *skin* terikat bersama-sama dengan suatu *adhesive* (perekat). *Core* berfungsi mendistribusikan beban

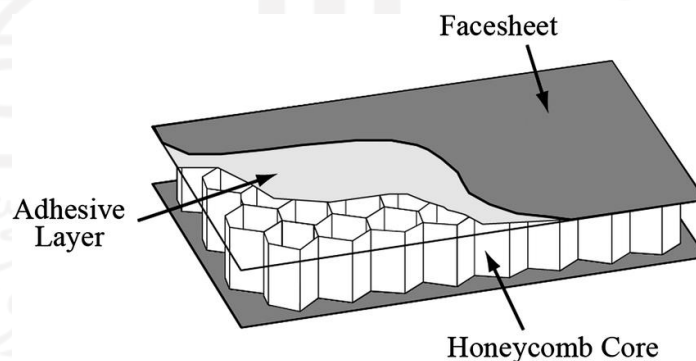
geser, sedangkan lapisan luar (*skin*) sebagai pelindung dan penahan beban bending. Gabungan dari kekuatan dan kekakuan yang tinggi dengan kemampuan menyerap bunyi dan menghambat panas membuat *sandwich* komposit ideal untuk desain struktural (Gdoutos, 2008).



Gambar 2-1 Elemen Penyusun Komposit *Sandwich*

2.3.1 *Core*

Core merupakan inti dari struktur *sandwich* berfungsi untuk menopang dan memisahkan lembaran fiber sehingga kekakuan lentur yang diinginkan tercapai, bahan *core* pada umumnya memiliki kerapatan yang relatif rendah dibandingkan dengan lembaran *fiberglass*. Inti *core* yang digunakan adalah berbentuk *honeycomb* karena selain salah satu bentuk yang paling populer memiliki efisiensi terhadap berat yang lebih tinggi dan *efisiensi structural*.(Marsono et al.,2019)



Gambar 2-2 *Core* Komposit *Sandwich*

2.3.2 *Skin*

Skin merupakan bagian dari struktur komposit *sandwich* dimana *skin* terletak pada bagian terluar atau biasanya bagian yang melapisi *core*. *Skin* berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*.

Beberapa jenis material lainnya dapat dijadikan sebagai bahan untuk *skin* seperti plat logam, baja, aluminium, dan *polymer* yang diperkuat oleh serat. Pemilihan material yang akan digunakan sebagai *skin* juga sangat penting. Kekuatan mekanis struktur *sandwich* sangat bergantung pada material penyusunnya, oleh sebab itu untuk meningkatkan sifat mekanis kekuatan bending struktur *sandwich* salah satunya dapat dilakukan dengan cara pemilihan jenis material *skin* yang tepat.



Gambar 2-3 Serat *Carbon Fiber*

2.3.3 *Matrix (Resin)*

Matrik adalah bagian terbesar dari sebuah bahan komposit yang akan ditingkatkan sifat mekaniknya. Selain bahan utama, matrik diharapkan juga memiliki kemampuan mengikat *reinforcement* dengan baik. Pada umumnya matrik berasal dari bahan sintesis. *Polymer Matrix Composite* merupakan bahan komposit yang paling sering digunakan dalam komposit polimer berpenguat serat. Pada umumnya polimer dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. *Thermoset*

Thermoset adalah polimer yang tidak dapat mengikuti perubahan suhu. Bila polimer telah terjadi pengerasan maka polimer tersebut tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan dengan suhu tinggi akan menyebabkan polimer tersebut rusak membentuk arang dan akan terurai. Contoh dari polimer *thermoset* yaitu resin *epoxy* dan *polyester*.

2. *Thermoplastic*

Thermoplastic secara umum digunakan sebagai bahan penguat plastik. Plastik jenis ini memiliki ikatan linear antara monomer – monomer penyusunannya,

sehingga kestabilan struktur kimianya relatif rendah. *Thermoplastic* merupakan plastik yang dapat mengikuti perubahan suhu. Contoh dari *thermoplastic* yaitu resin polyethylene (PE), resin *polystyrene* (PS), dan resin *polypropylene* (PP).

2.4 3D Printing

3D Printing atau biasa juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* adalah proses membuat objek pada tiga dimensi atau berbagai bentuk apapun dari model digital. *3D printer* ini bisa mencetak, *modelling*, purwarupa / pemodelan, alat-alat peraga untuk pendidikan, model perhiasan, alat-alat penunjang kesehatan, desain produk, mainan anak-anak dan berbagai kebutuhan untuk mencetak bentuk dalam tiga dimensi sehingga teknologi ini menjadi salah satu tren teknologi informasi dan komunikasi masa kini. Hal ini dapat dilihat dari kebutuhan manusia yang semakin lama semakin mutakhir (Putra dan Ranicarfita, 2018).

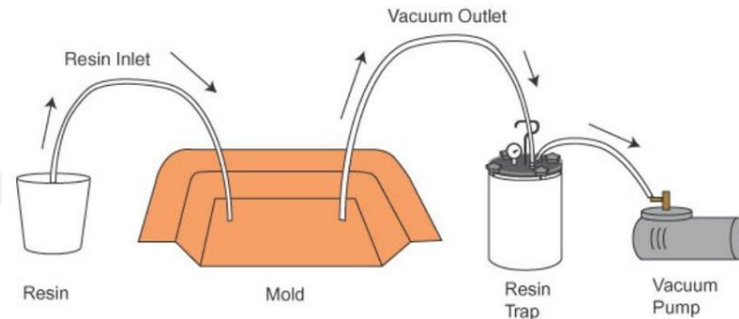


Gambar 2-4 Mesin 3D Printing

2.5 Vacuum Infusion

Vacuum Infusion adalah metode pembuatan material komposit dengan menggunakan tabung vakum yang memiliki menggunakan tabung vakum yang memiliki tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin. Metode *Vacuum Infusion* menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio fiber-resin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* menggunakan cara manual atau resin langsung dioleskan pada lapisan *skin*, sedangkan pada metode *vacuum infusion* resin dialirkan dengan bantuan tabung vakum yang memiliki tekanan konstan. Penggunaan tekanan vakum yang konstan

dapat mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio fiber-resin menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang ringan dan kuat. (Patrick E, 2003) Pada gambar 2.4 menunjukkan gambaran dari skema *vacuum infusion* yang kami lakukan pada penelitian ini.



Gambar 2-5 Skema *Vacuum Infusion*

2.6 Pengujian Bending

Pengujian bending merupakan proses pembebanan terhadap suatu material pada suatu titik ditengah-tengah dari material yang ditahan diatas dua tumpuan kanan dan kiri. Dengan diberikannya beban secara maksimal pada material. Material akan mengalami perubahan bentuk atau biasa disebut deformasi. Yang kemudian dapat diketahui material mana yang baik hasil ujinya.

Besar kekuatan bending tergantung pada jenis material dan pembebanan. Akibat Pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatan tekannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya (Yudha Izma, 2021).



Gambar 2-6 *Universal Testing Machine*

Sumber: Laboraturim Bahan Teknik UGM

Hasil yang didapatkan dari pengujian bending adalah data beban maksimal, defleksi dan tegangan bending. Selanjutnya perhitungan dilakukan untuk mencari nilai kekakuan bending dan kekakuan bending spesifik, dengan rumus sebagai berikut:

- Kekakuan Bending

$$D = E \cdot I_{sandwich} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \delta} \quad (2.1)$$

- Kekakuan Bending Spesifik

$$D. \text{spesifik} = \frac{D}{W} \quad (2.2)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas bending (N/mm²)

P = Beban yang diberikan (N)

L = Jarak point (mm)

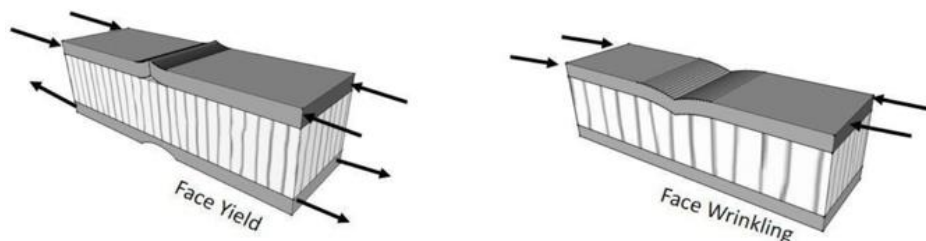
δ = Defleksi (mm)

I = Momen Inersia (kgm)

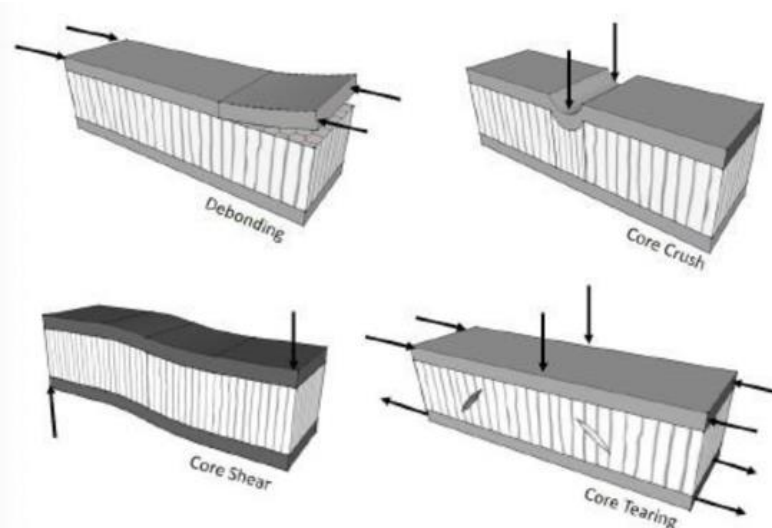
D = Kekakuan Bending (Nmm²)

2.7 Modulus Kegagalan Pengujian Bending Komposit *Sandwich*

Dalam aplikasinya pada bidang rekayasa, komposit *sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tekan, tarik, lentur, geser dan puntir. Terkadang, dalam aplikasinya tidak jarang juga beban yang dialami oleh material ini melebihi beban pada awal perancangan sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan pada material ini. Menurut (Petras, n.d.) berikut kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*:



Gambar 2-7 Jenis-Jenis Kegagalan Pada *Skin* Komposit *Sandwich*



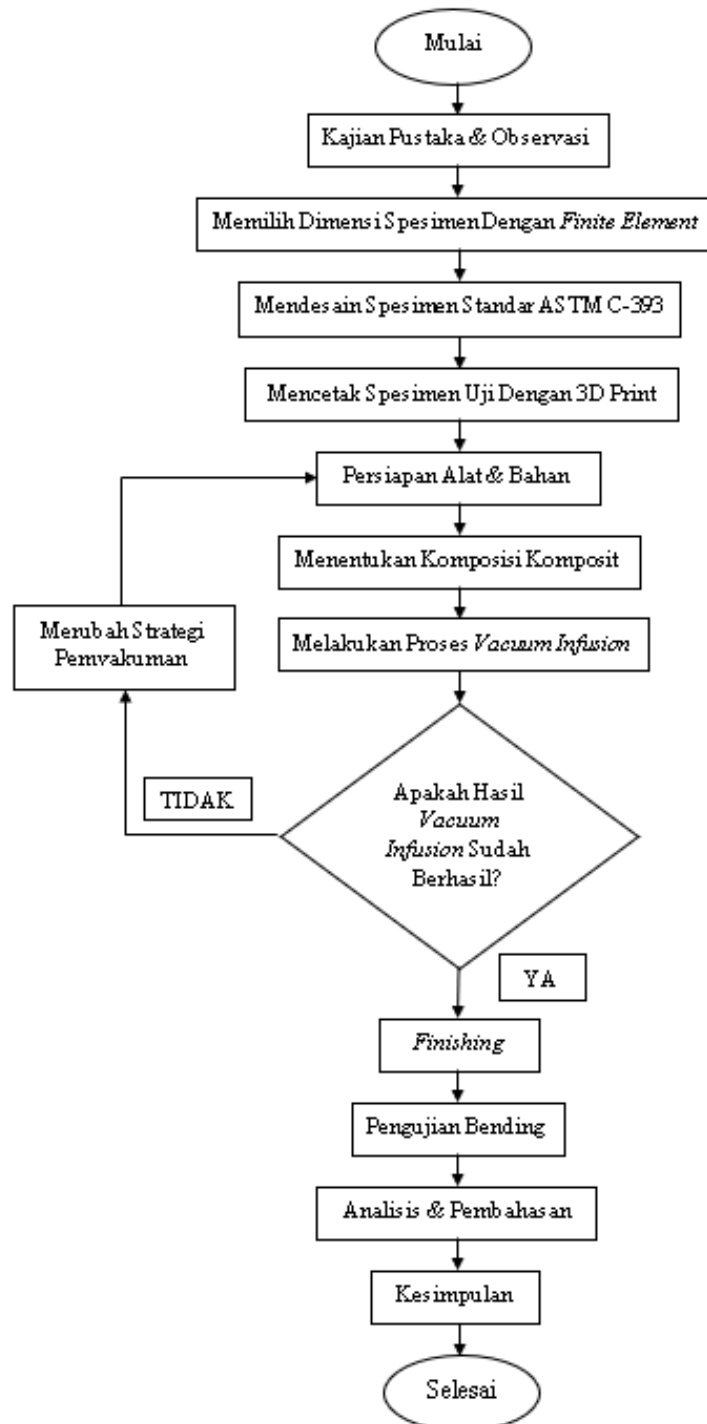
Gambar 2-8 Jenis-Jenis Kegagalan Pada Core Komposit Sandwich

Pada kegagalan skin komposit *sandwich* yang pertama yaitu *face yield* dimana bisa terjadi ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material *skin*. Jika material skin bersifat getas, maka kegagalan *face yield* kemungkinan besar terjadi pada *skin* bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. Kemudian kegagalan *face wrinkling* yaitu fenomena *buckling* yang terjadi pada skin atas akibat tegangan tekan dan kurangnya support dari core karena dimensi struktur *core* yang terlalu besar (densitas rendah).

Pada kegagalan *core* terdapat 4 jenis kegagalan, dimana pada kegagalan *debonding* kegagalan yang terjadi adalah lapisan *skin* terlepas dari bagian *core* spesimen. Untuk *core crush* kegagalan yang terjadi adalah perubahan bentuk pada bagian tengah spesimen. Untuk kegagalan *core shear* bentuk kegagalan yang terjadi adalah spesimen berubah bentuk akibat pembebanan yang diberikan. Sedangkan untuk kegagalan *core tearing* jenis kegagalan yang terjadi adalah pecahnya atau terlepasnya bagian *core* spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen. (Fadhyl, 2022).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



3.2 Peralatan dan Bahan

1. 3D Printing

Pada gambar 3-1 dibawah ini merupakan mesin 3D Printing yang berfungsi sebagai alat dalam membuat *core* yang diperkuat ribs *honeycomb*.



Gambar 3-1 3D Printing

2. ABS

Pada gambar 3-2 dibawah ini merupakan filamen ABS yang berfungsi sebagai bahan dalam membuat *core* yang diperkuat ribs *honeycomb*.



Gambar 3-2 Filamen ABS

3. Pompa Vakum

Pada gambar 3-3 dibawah ini merupakan pompa vakum yang bermerk Krisbow dengan tenaga sebesar $\frac{1}{2}$ HP. Dan berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion* dilakukan.



Gambar 3-3 Pompa Vakum

4. Filter

Pada gambar 3-4 dibawah ini merupakan filter dengan indikator udara. Filter ini berfungsi sebagai penyerap resin agar tidak masuk ke pompa vakum, dan indikator berfungsi sebagai penanda apakah ada kebocoran pada plastik atau tidak.



Gambar 3-4 Filter Dengan Indikator Udara

5. Selang Pneumatik

Pada Gambar 3-5 dibawah ini merupakan selang pneumatik yang berfungsi sebagai jalur udara dari plastik ke pompa vakum, dan jalur masuk resin ke plastik.



Gambar 3-5 Selang Pneumatik

6. Selang Spiral

Pada gambar 3-6 dibawah ini menunjukkan selang yang berongga atau biasa disebut selang spiral yang berfungsi sebagai jalur resin agar menyebar memenuhi bagian yang harus terkena resin.



Gambar 3-6 Selang Spiral

7. Plastik Vakum

Pada gambar 3-7 dibawah ini merupakan plastik yang berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan lapisan komposit dalam proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-7 Plastik

8. Kain *Peelply*

Pada gambar 3-8 dibawah ini merupakan kain *peelply* yang berfungsi sebagai pemisah antara serat karbon dan kain strimin agar ketika membuka hasil vakum kain strimin mudah lepas dari serat karbon.



Gambar 3-8 Kain *Peelply*

9. Kain Strimin

Pada gambar 3-9 dibawah ini merupakan kain strimin yang berfungsi untuk mempercepat penyebaran aliran resin agar segera memenuhi bagian dari spesimen.



Gambar 3-9 Kain Strimin

10. *Sealent Tape*

Pada gambar 3-10 merupakan *sealent tape* yang berfungsi sebagai perekat plastik pada proses *vacuum infusion*. Cara kerja dari *sealent tape* ini sama seperti *double tape*.



Gambar 3-10 *Sealent Tape*

11. Serat Karbon

Pada gambar 3-11 dibawah ini merupakan serat karbon kevlar yang berfungsi sebagai skin pada penelitian ini. Tebal skin yang digunakan yaitu 1 lapisan.



Gambar 3-11 Serat Karbon

12. Resin *Epoxy*

Pada gambar 3-12 dibawah ini merupakan resin *epoxy* yang berfungsi sebagai bahan untuk merekatkan lapisan skin dengan spesimen.



Gambar 3-12 Resin *Epoxy*

13. Hardener

Pada gambar 3-13 dibawah ini merupakan hardener sebagai campuran dengan resin *epoxy* yang berfungsi sebagai pengeras dari resin *epoxy*.



Gambar 3-13 Hardener

14. Lem Dextone

Pada gambar 3-14 dibawah ini merupakan lem merk dextone yang berfungsi sebagai perekat tambahan untuk merekatkan serat karbon dengan spesimen.



Gambar 3-14 Lem Dextone

15. Akrilik

Pada gambar 3-15 dibawah ini merupakan akrilik yang dibuat untuk menutupi celah atau rongga pada ribs agar resin tidak memenuhi rongga ribs pada saat proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-15 Akrilik

16. Plastisin

Pada gambar 3-16 dibawah ini merupakan plastisin yang berfungsi sebagai penutup celah antara akrilik dan spesimen agar resin tidak masuk ke rongga ribs pada saat proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-16 Plastisin

17. Timbangan

Pada gambar 3-17 dibawah ini merupakan timbangan yang berfungsi untuk menakar campuran resin *epoxy* dan *hardener*. Dan sebagai alat untuk menimbang spesimen sebelum dilapisi komposit dan setelah dilapisi komposit.



Gambar 3-17 Timbangan

18. Gelas Plastik dan Pengaduk

Pada gambar 3-18 dibawah ini merupakan gelas plastik dan pengaduk yang berfungsi sebagai tempat mencampurkan antara resin *epoxy* dengan *hardener*.



Gambar 3-18 Gelas Plastik dan Pengaduk

19. Gunting

Pada gambar 3-19 dibawah ini merupakan gunting yang berfungsi untuk membuka spesimen setelah proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-19 Gunting

20. Cutter

Pada gambar 3-20 dibawah ini merupakan cutter yang berfungsi untuk memotong dan merapikan lapisan skin hasil dari proses *vacuum infusion*.



Gambar 3-20 Cutter

21. Jangka Sorong

Pada gambar 3-21 dibawah ini merupakan jangka sorong yang berfungsi untuk mengukur tebal, lebar spesimen sebelum dilapisi *skin* dan setelah dilapisi *skin*.



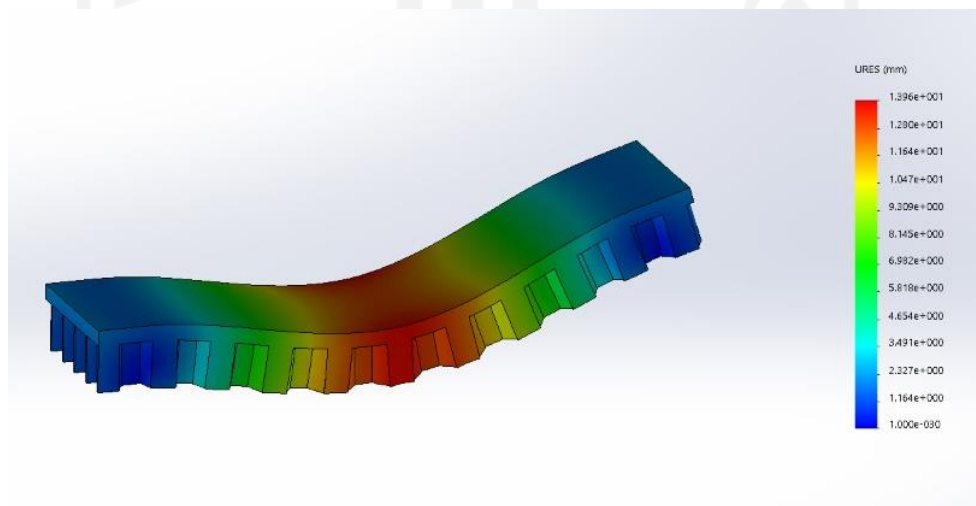
Gambar 3-21 Jangka Sorong

3.3 Pemilihan Dimensi Desain Dengan *Finite Element*

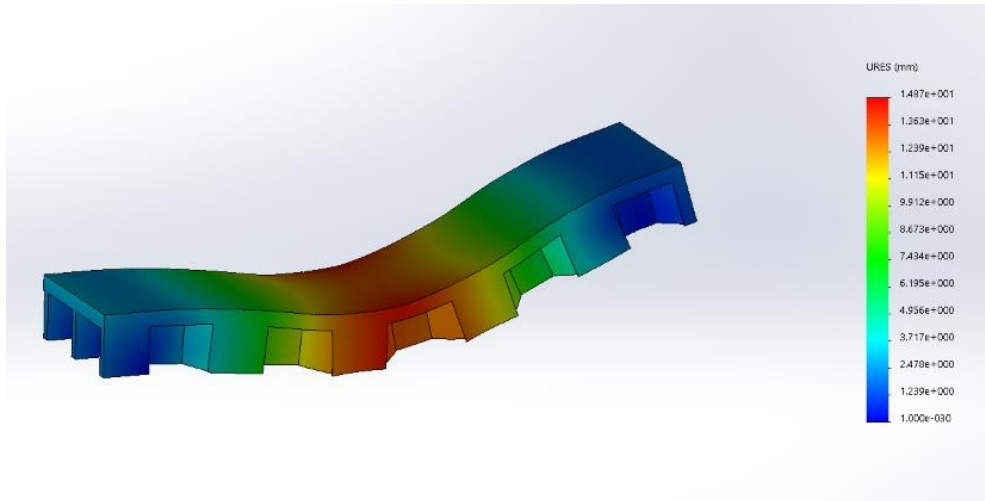
Tabel 3-1 Tabel Hasil *Finite Element*

No	Tebal Core : Tebal Ribs h1 : h2	Diameter Ribs (d)	Tebal Dinding Ribs (t)	Defleksi Vertikal Maksimum	Weight	Kekakuan Bending	Kekakuan Bending Spesifik
				δ	W	D	D/W
				mm	N	N.mm ²	N.mm ²
1	5 : 15	10	1	6,97E-02	94	29,87E04	31,78E02
2	5 : 15	10	3	3,05E-02	108	68,21E04	63,16E02
3	5 : 15	10	5	2,63E-02	106	79,09E04	74,62E02
4	5 : 15	20	1	7,31E-02	75	28,49E04	37,99E02
5	5 : 15	20	3	4,45E-02	86	46,78E04	54,39E02
6	5 : 15	20	5	3,87E-02	88	53,83E04	61,18E02
7	5 : 15	30	1	9,48E-02	68	21,98E04	32,33E02
8	5 : 15	30	3	5,22E-02	77	39,95E04	51,88E02
9	5 : 15	30	5	4,82E-02	78	43,24E04	55,43E02

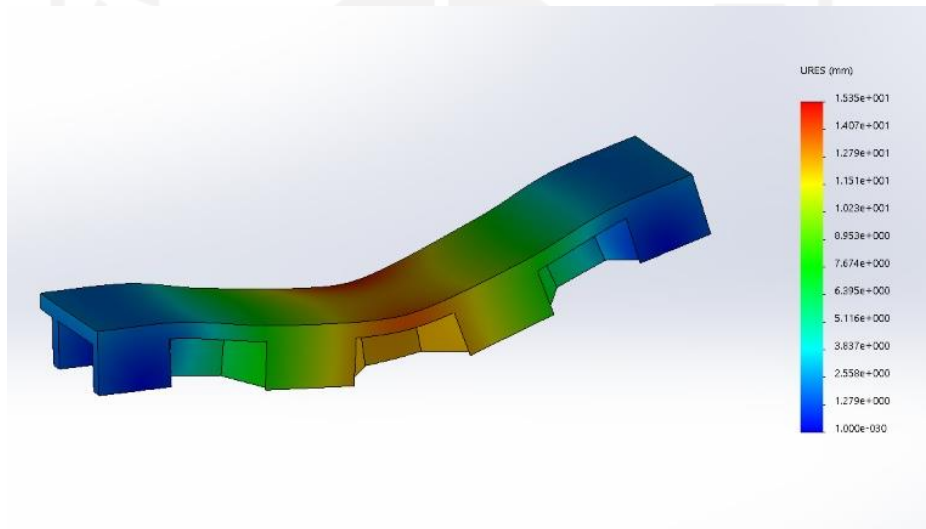
Tabel 3-1 diatas merupakan data hasil *finite element* untuk dimensi desain yang akan digunakan. *Finite element* dilakukan untuk menentukan dimensi yang akan dipilih, data diatas merupakan 9 dimensi spesimen yang akan digunakan. Berikut ini merupakan beberapa gambar dari hasil *finite element*.



Gambar 3-22 Spesimen A10_1

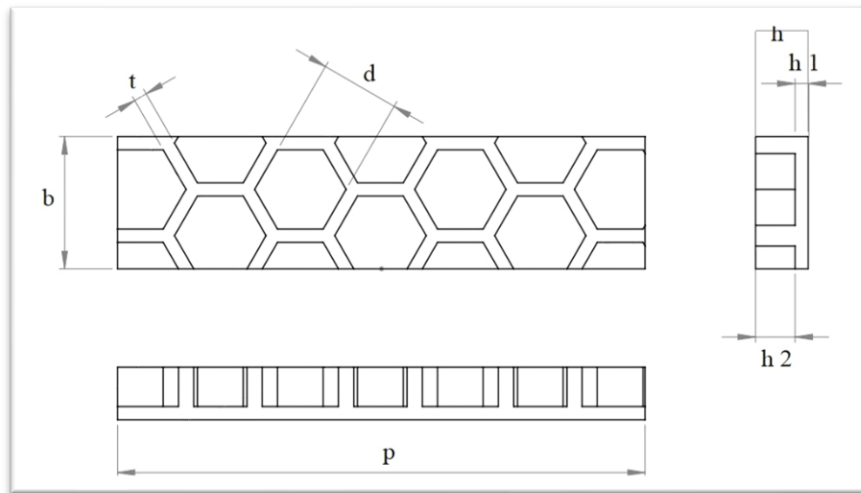


Gambar 3-23 Spesimen A20_3



Gambar 3-24 Spesimen A30_5

Variasi dimensi yang digunakan pertama perbandingan antara tebal *core* dengan tebal ribs yaitu 5:15, karena pada penelitian ini fokus terhadap penambahan ribs sehingga ribs yang dipilih dengan ketebalan paling tinggi dari pada *core*. Selanjutnya dimensi diameter ribs yaitu 10mm, 20mm, dan 30mm karena diambil data terendah, sedang dan tertinggi. Kemudian untuk dimensi tebal ribs yaitu 1mm, 3mm, dan 5mm karena diambil data terendah, sedang dan tertinggi.

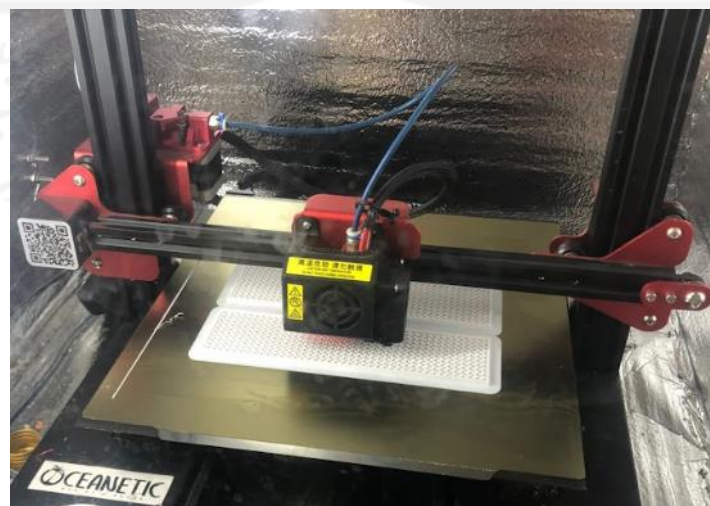


Gambar 3-25 Dimensi Spesimen Uji

Pada Gambar 3-25 diatas menunjukkan dimensi desain spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM C-393. Pada gambar p merupakan panjang spesimen, b lebar spesimen, dan h tebal spesimen. Sedangkan h_1 menunjukan tebal *core* dan h_2 menunjukan tebal ribs. Selanjutnya pada ribs d merupakan diameter ribs, dan t merupakan tebal dinding ribs. Dalam pembuatan spesimen tanpa skin karbon, masing-masing desain dibuat 2 kali dengan total 18 spesimen. Sedangkan untuk spesimen dengan skin karbon dibuat 1 kali dengan total 9 spesimen. Jadi semua total spesimen uji bending ada 27 spesimen.

3.4 Proses Pengerjaan

3.4.1 Pembuatan Spesimen dengan 3D Printing



Gambar 3-26 Proses Pembuatan *Core & Ribs*

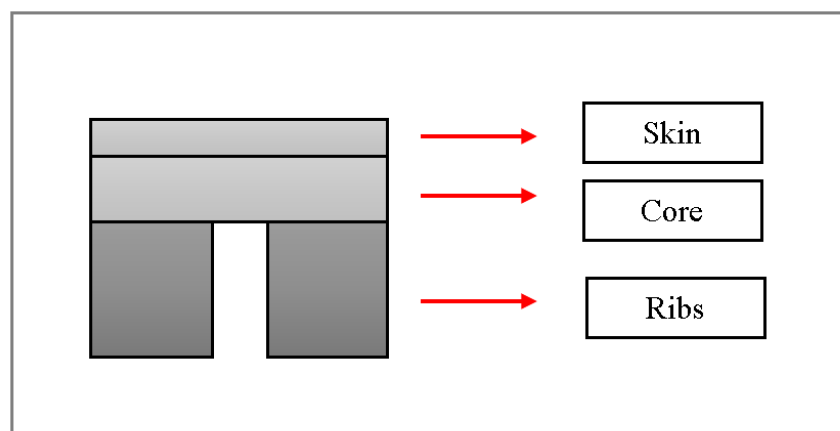
Pada gambar 3-26 menunjukkan proses pembuatan spesimen yang dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan variasi ukuran diameter ribs *honeycomb* 10 mm, 20 mm, 30 mm dan variasi ukuran tebal dinding ribs *honeycomb* 1 mm, 3 mm, dan 5 mm dengan menggunakan mesin *3D printing*.

Tabel 3-2 Parameter Proses Pembuatan Spesimen

Bahan	ABS
<i>Infill</i>	20%
Tebal <i>Layer</i>	0,2 mm
Suhu Meja	65 °C
Suhu <i>Nozzle</i>	235 °C
<i>Speed</i>	50 mm/s
<i>Fill Pattern</i>	<i>Gyroid</i>

Pada Tabel 3-2 di atas menunjukkan parameter yang digunakan dalam proses pengepintan spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), dengan *infill* 20%, *layer thickness* 0,2 mm, suhu *bed* 65 °C, suhu *nozzle* 235 °C, *speed* 80 mm/s dengan menggunakan *gyroid* sebagai *fill patternnya*.

3.4.2 Skema Lapisan *Vacuum Infusion*



Gambar 3-27 Skema Lapisan *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3-27 menunjukkan skema lapisan komposit yang akan dilakukan pada pembuatan spesimen uji. Urutan lapisannya yaitu ribs di atasnya

core dan di atasnya lagi *skin*. Di atas *core* diberikan lem dextone sebagai perekat tambahan agar *skin* dapat menempel dengan baik. Kemudian untuk proses *vacuum infusion* diatas *skin* diberi kain *peelply* untuk memudahkan dalam melepas lapisan diatas *skin*. Kemudian diatas *peelply* diberi strimin sebagai jalannya cairan resin dan agar resin mudah menyebar ketika proses *vacuum infusion*. Selanjutnya semua lapisan dibungkus menggunakan plastik vakum yang ditempelkan menggunakan *sealent tape*.

3.4.3 Proses *Vacuum Infusion*

Langkah – langkah dalam melakukan proses *vacuum infusion* adalah sebagai berikut.

1. Menyusun Plastik Vakum, *Sealent Tape*, Selang Pneumatik Dan Selang Spiral



Gambar 3-28 Susunan Plastik, *Sealent Tape*, Selang Pneumatik Dan Selang Spiral

Pada gambar 3-28 diatas ini menunjukkan persiapan sebelum meletakkan isian dari komposit yaitu memasang *sealent tape* pada plastik dan memasang selang pneumatik dan selang spiral sebagai inlet dan outlet resin pada plastik.

2. Menyusun Spesimen, Serat Karbon, *Peelply* Dan Strimin



Gambar 3-29 Lapisan Spesimen, Serat Karbon, *Peelply* Dan Strimin

Pada gambar 3-29 diatas ini menunjukkan susunan dari komposit yaitu dengan urutan pertama spesimen, kedua serat karbon, ketiga *peelply*, dan keempat strimin. Diatas spesimen diberikan lem dextone sebagai perekat tambahan spesimen dengan serat karbon.

3. Meletakkan Semua Bahan Dalam Plastik Vakum Dan Mengecek Kebocoran Plastik Vakum



Gambar 3-30 Proses Pengecekan Kebocoran

Pada gambar 3-30 diatas ini menunjukkan hasil dari susunan isian komposit pada plastik vakum. Setelah semuanya siap selanjutnya proses pengecekan kebocoran. Kebocoran biasa terjadi karena masih ada celah pada *sealant tape*

dengan plastik maupun dengan selang pneumatik. Selain itu kebocoran bisa berasal dari bekas potongan strimin yang menembus plastik.

4. Proses Pencampuran Resin *Epoxy* Dan *Hardener*



Gambar 3-31 Resin *Epoxy* Dan *Hardener*

Pada gambar 3-31 diatas ini menunjukkan resin *epoxy* dan *hardener* yang digunakan dalam penelitian ini. Perbandingan yang digunakan yaitu 3 resin *epoxy* dan 1 *hardener*, perbandingan tersebut dipilih agar resin tidak cepat kering diatas lem dextone.

5. Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 3-32 Proses *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 3-32 diatas ini menunjukkan proses *vacuum infusion*, dimana selang atas digunakan untuk menyedot resin dan selanjutnya resin menyebar diatas strimin. Selang spiral digunakan agar udara didalam plastik dapat

tersedot secara merata, sehingga resin juga menyebar merata dibantu dengan adanya strimin.

6. Hasil Dari Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 3-33 Hasil Proses *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 3-33 diatas ini menunjukkan hasil dari proses *vacuum infusion* yang selanjutnya akan dilakukan pelepasan plastik, strimin dan kain *peelply*. Disini gunanya kain *peelply* yaitu agar mudah dalam pelepasan.

7. Hasil Dari Proses *Vacuum Infusion*



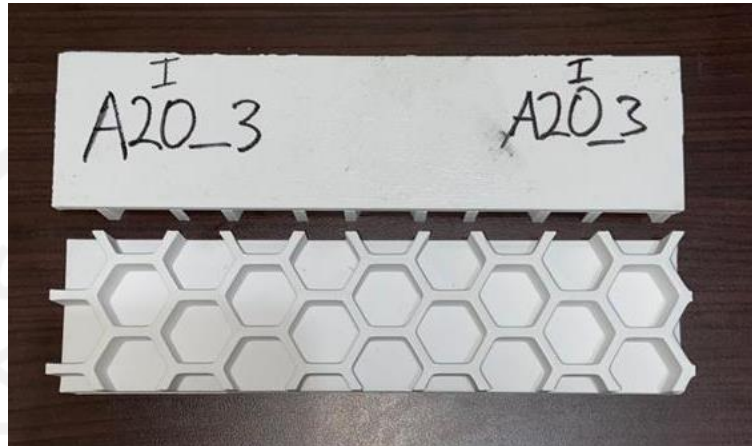
Gambar 3-34 Hasil *Vacuum Infusion*

Pada Gambar 3-34 diatas ini menunjukkan hasil dari *vacuum infusion* yang sudah dilakukan pelepasan plastik, strimin dan kain *peelply*.

3.4.4 Hasil Proses Pengerjaan

Hasil dari proses pembuatan spesimen dengan *3D Printing* dan hasil dari proses *vacuum infusion* adalah sebagai berikut.

1. Spesimen Tanpa *Skin* Karbon



Gambar 3-35 Spesimen Tanpa *Skin* Karbon

Pada Gambar 3-35 diatas menunjukkan specimen tanpa *skin* karbon. Spesimen hanya berupa hasil dari *3D printing* tanpa dilapisi komposit karbon. Setiap desain spesimen di cetak 2 kali.

2. Spesimen Dengan *Skin* Karbon



Gambar 3-36 Spesimen Dengan *Skin* Karbon

Pada Gambar 3-36 diatas menunjukan spesimen dengan *skin* karbon yang sudah difinishing dengan cara memotong kelebihan dari *skin* hasil *vacuum infusion* menggunakan cutter. Setiap desain spesimen dicetak 1 kali.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengujian Bending

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian bending, dengan tujuan untuk mengetahui nilai kekakuan maksimal dari 18 spesimen yang tidak dilapisi *skin* karbon dan 9 spesimen yang telah dilapisi *skin* karbon. Pada pengujian bending ini menggunakan standar uji ASTM C-393 dan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik UGM. Pada gambar ini menunjukkan gambar proses pengujian bending dilakukan.



Gambar 4-1 Proses Pengujian Bending Spesimen

Pada gambar 4-1 menunjukkan gambaran spesimen uji yang telah diletakkan pada mesin *universal testing machine*, dan menggunakan metode *three point bending*.

4.2 Hasil Pengujian Bending

Spesimen tanpa *skin* karbon dan spesimen yang sudah dilapisi komposit karbon fiber setelah dilakukan pengujian bending dapat dilihat pada gambar 4-2 dan gambar 4-3 dibawah ini:



Gambar 4-2 Spesimen Tanpa *Skin* Karbon



Gambar 4-3 Spesimen Dengan *Skin* Karbon

Pada gambar 4-2 diatas spesimen dengan tanda kode A10–A30 merupakan spesimen tanpa *skin* karbon. Sedangkan gambar 4-3 dengan tanda kode CA10–CA30 merupakan spesimen yang sudah dilapisi komposit karbon fiber. Kode tersebut digunakan untuk memudahkan dalam membedakan setiap spesimen dan memudahkan urutan dalam melakukan pengujian bending.

4.2.1. Hasil Uji Bending Spesimen Uji Tanpa *Skin* Karbon

Tabel 4-1 Hasil Uji Bending Spesimen Uji Tanpa *Skin* Karbon

No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending
				W	P max	δ	
		(mm)	(mm)	(g)	(N)	(mm)	(Mpa)
1	A10-1	19,755	49,72	52,835	355	14,78	4,67
2	A10-3	19,82	49,94	84,905	620	13,295	8,06
3	A10-5	19,755	50,1	84,435	375	4,945	4,88
4	A20-1	19,725	49,91	39,985	215	22,26	2,69
5	A20-3	20,01	49,785	60,94	300	16,735	3,84
6	A20-5	20,01	49,97	63,1	260	10,76	3,29
7	A30-1	19,945	49,92	34,765	140	23,02	1,80
8	A30-3	20,05	49,83	51,11	255	18,295	3,25
9	A30-5	19,7	49,86	56,945	180	8,57	2,37

Dari Tabel 4-1 dapat dilihat bahwa nilai tegangan terbesar terjadi pada kode A10-3 dengan nilai 8.06 Mpa, Sedangkan untuk nilai beban maksimal pada spesimen uji terjadi pada kode A10-3 dengan nilai 620 N.

4.2.2. Hasil Uji Bending Spesimen Uji Dengan *Skin* Karbon

Tabel 4-2 Hasil Uji Bending Spesimen Uji Dengan *Skin* Karbon

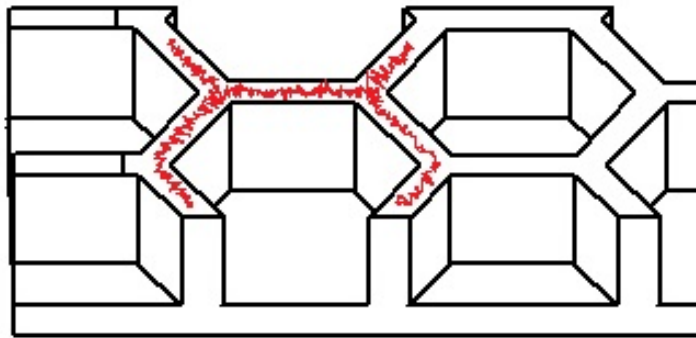
No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending
				W	P max	δ	
		(mm)	(mm)	(g)	(N)	(mm)	(Mpa)
1	CA10-1	20	50,1	59,2	420	11,12	5,34
2	CA10-3	20,01	50,3	91,61	650	7,37	8,23
3	CA10-5	20,02	49,9	91,25	490	4,37	6,25
4	CA20-1	20,02	49,6	46	250	13,39	3,21
5	CA20-3	20	49,9	68,18	340	7,33	4,34
6	CA20-5	20,02	49,7	70,63	340	6,18	4,35
7	CA30-1	20,02	49,8	42,58	180	11,52	2,3
8	CA30-3	20,01	49,7	58,57	320	12,77	4,1
9	CA30-5	20,01	50	60,91	240	8,94	3,06

Dari Tabel 4.-2 dapat dilihat bahwa nilai tegangan terbesar terjadi pada kode CA10-3 dengan nilai 8.23 Mpa, Sedangkan untuk nilai beban maksimal pada spesimen uji terjadi pada kode CA10-3 dengan nilai 650 N.

4.3 Analisis dan Perhitungan

4.3.1. Analisis Kegagalan Pada Spesimen

1. Mode Kegagalan 1



Gambar 4-4 Mode Kegagalan 1

Gambar 4-4 merupakan mode kegagalan 1. Fenomena yang terjadi yaitu retak pada bagian tengah atas dari ribs. Berikut ini merupakan contoh spesimen yang mengalami mode kegagalan 1.

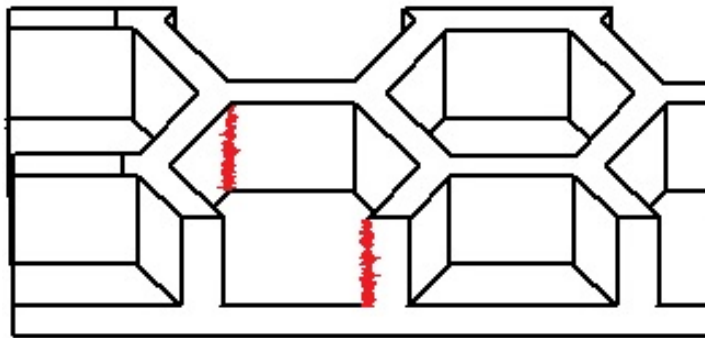


Gambar 4-5 Kegagalan Spesimen A10_5



Gambar 4-6 Kegagalan Spesimen A30_5

2. Mode Kegagalan 2



Gambar 4-7 Mode Kegagalan 2

Gambar 4-7 merupakan mode kegagalan 2. Fenomena yang terjadi yaitu retak pada bagian dinding dari ribs. Berikut ini merupakan contoh spesimen yang mengalami mode kegagalan 2.

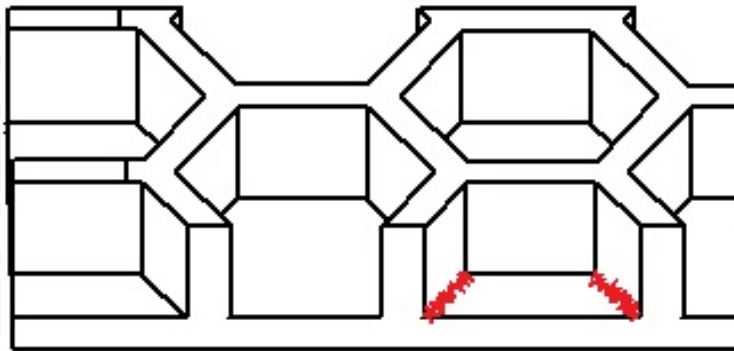


Gambar 4-8 Kegagalan Spesimen A10_1



Gambar 4-9 Kegagalan Spesimen A20_1

3. Mode Kegagalan 3



Gambar 4-10 Mode Kegagalan 3

Gambar 4-10 merupakan mode kegagalan 3. Fenomena yang terjadi yaitu retak pada bagian bawah antara ribs dengan core. Berikut ini merupakan contoh spesimen yang mengalami mode kegagalan 3.

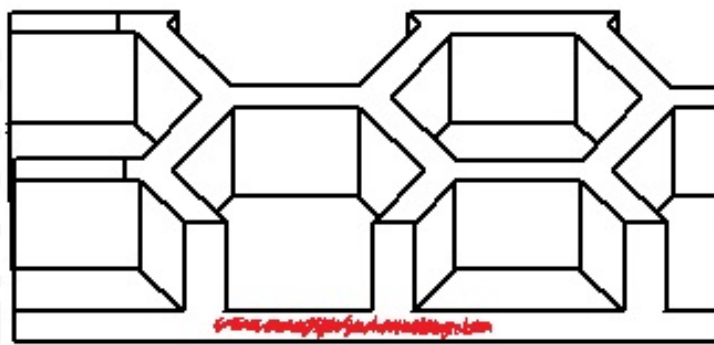


Gambar 4-11 Kegagalan Spesimen A20_1



Gambar 4-12 Kegagalan Spesimen A30_1

4. Mode Kegagalan 4

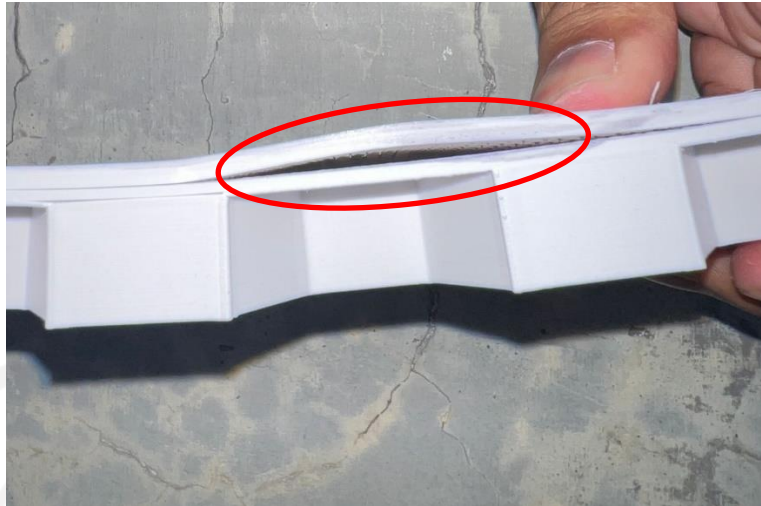


Gambar 4-13 Mode Kegagalan 4

Gambar 4-13 merupakan mode kegagalan 4. Fenomena yang terjadi yaitu retak maupun mengelupas pada bagian core. Berikut ini merupakan contoh spesimen yang mengalami mode kegagalan 4.



Gambar 4-14 Kegagalan Spesimen A30_3



Gambar 4-15 Kegagalan Spesimen CA30_3

Tabel 4-3 Mode Kegagalan Yang Terjadi Pada Setiap Spesimen

No	Kode Spesimen	Mode Kegagalan			
		1	2	3	4
1	A10_1		√		
2	A10_3	√			
3	A10_5	√			
4	A20_1		√		√
5	A20_3	√		√	√
6	A20_5	√			
7	A30_1			√	√
8	A30_3			√	√
9	A30_5	√			
10	CA10_1				√
11	CA10_3	√			√
12	CA10_5	√			
13	CA20_1			√	√
14	CA20_3	√			√
15	CA20_5	√	√		√
16	CA30_1				√
17	CA30_3	√			√
18	CA30_5	√			

Tabel 4-3 diatas merupakan mode kegagalan yang terjadi pada setiap spesimen yang ditandai dengan tanda centang. Berdasarkan tabel diatas kegagalan yang banyak terjadi adalah kegagalan mode 1, yaitu fenomena yang terjadi retak pada bagian tengah atas dari ribs.

4.4. Perhitungan

Pada tabel 4-3 dan 4-4 merupakan data hasil pengujian bending dengan mesin *universal testing machine* dengan metode *three point bending*. Dimana selanjutnya yaitu mencari nilai kekakuan bending dan kekakuan bending spesifik dengan menggunakan rumus pada bab 2 dengan persamaan 2.1, dan 2.2.

Tabel 4-4 Hasil Perhitungan Bending Spesimen Tanpa *Skin* Karbon

No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending	Kekakuan Bending	Kekakuan Bending Spesifik
				W	P max	δ		D	D/W
		(mm)	(mm)	(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	N.mm ²	mm ²
1	A10-1	19,755	49,72	52,835	355	14,78	4,67	2.458.439,05	46.530,50
2	A10-3	19,82	49,94	84,905	620	13,295	8,06	4.773.191,68	56.218,03
3	A10-5	19,755	50,1	84,435	375	4,945	4,88	7.761.943,88	91.928,04
4	A20-1	19,725	49,91	39,985	215	22,26	2,69	988.595,95	24.724,17
5	A20-3	20,01	49,785	60,94	300	16,735	3,84	1.834.852,11	30.109,16
6	A20-5	20,01	49,97	63,1	260	10,76	3,29	2.473.241,95	39.195,59
7	A30-1	19,945	49,92	34,765	140	23,02	1,80	622.484,07	17.905,48
8	A30-3	20,05	49,83	51,11	255	18,295	3,25	1.426.636,38	27.913,06
9	A30-5	19,7	49,86	56,945	180	8,57	2,37	2.149.795,80	37.752,14

Dari tabel 4-3 diatas menunjukkan hasil perhitungan kekakuan bending dan kekakuan bending spesifik tiap kode spesimen tanpa skin karbo n. Dimana nilai tertinggi didapatkan pada kode CA10–5 dengan nilai kekakuan bendingnya mencapai 7.761.943,88 N.mm² dan nilai kekakuan bending spesifik mencapai 91.928,04 N.mm².

Tabel 4-5 Hasil Perhitungan Bending Spesimen Menggunakan *Skin* Karbon

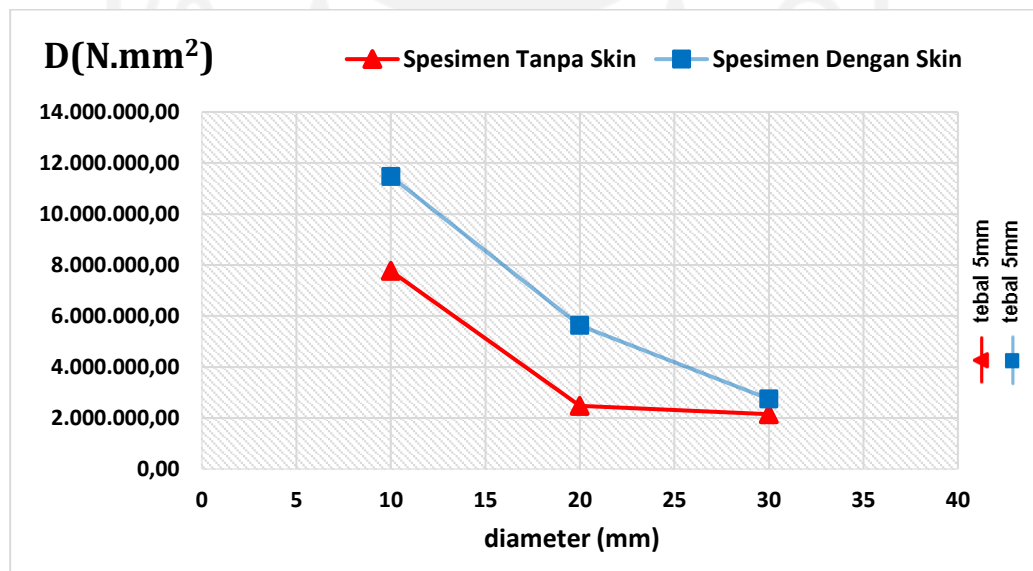
No	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Berat	Beban	Defleksi	Tegangan Bending	Kekakuan Bending	Kekakuan Bending Spesifik
				W	P max	δ		D	D/W
		(mm)	(mm)	(g)	(N)	(mm)	(Mpa)	N.mm ²	mm ²
1	CA10-1	20	50,1	59,2	420	11,12	5,34	3.865.894,78	65.302,28
2	CA10-3	20,01	50,3	91,61	650	7,37	8,23	9.027.165,31	98.539,08
3	CA10-5	20,02	49,9	91,25	490	4,37	6,25	11.476.782,99	125.772,96
4	CA20-1	20,02	49,6	46	250	13,39	3,21	1.911.018,80	41.543,89
5	CA20-3	20	49,9	68,18	340	7,33	4,34	4.747.669,40	69.634,34
6	CA20-5	20,02	49,7	70,63	340	6,18	4,35	5.631.135,38	79.727,25
7	CA30-1	20,02	49,8	42,58	180	11,52	2,3	1.599.283,85	37.559,51
8	CA30-3	20,01	49,7	58,57	320	12,77	4,1	2.564.865,57	43.791,46
9	CA30-5	20,01	50	60,91	240	8,94	3,06	2.747.762,86	45.111,85

Dari tabel 4-4 diatas menunjukkan nilai kekakuan bending dan kekakuan bending spesifik tiap kode spesimen dengan *skin* karbon. Dimana nilai tertinggi didapatkan pada kode CA10-5 dengan nilai kekakuan bendingnya mencapai 11.476.782,99 N.mm² dan nilai kekakuan bending spesifik mencapai 125.772,96 N.mm².

4.5. Pembahasan

4.5.1. Kekakuan Bending

Grafik kekakuan bending ditunjukkan pada gambar 4.16 dibawah, dimana pada grafik garis berwarna merah menunjukan spesimen tanpa *skin* karbon, sedangkan garis berwarna biru menunjukan spesimen dengan *skin* karbon. Dari grafik dapat dibaca diameter ribs 30mm memiliki kekuan bending paling rendah, dan diameter ribs 10mm memiliki nilai kakuan bending paling tinggi.

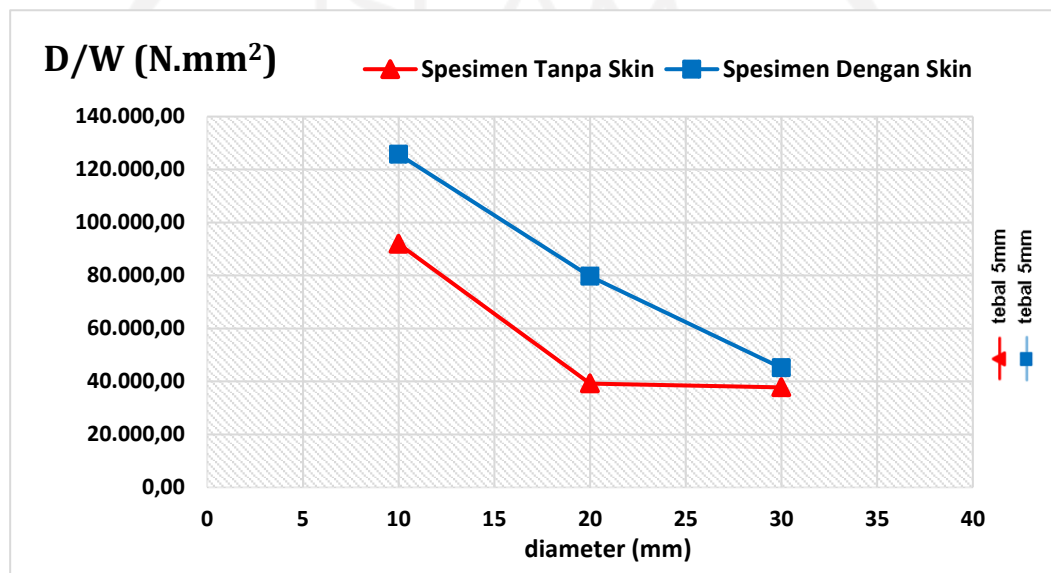


Gambar 4-16 Grafik Kekakuan Bending Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin* Karbon

Pada gambar 4-16 diatas juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin* karbon dengan metode *vacuum infussion* memiliki nilai kekakuan bending yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan *skin* karbon.

4.5.2. Kekakuan Bending Spesifik

Grafik kekakuan bending spesifik ditunjukkan pada gambar 4.17 dibawah, dimana pada grafik garis berwarna merah menunjukan spesimen tanpa *skin* karbon, sedangkan garis berwarna biru menunjukan spesimen dengan *skin* karbon. Pada grafik juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang diberikan *skin* karbon dengan metode *vacuum infussion* memiliki nilai kekakuan bending yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan *skin* karbon.



Gambar 4-17 Grafik Kekakuan Bending Spesifik Spesimen Tanpa *Skin* dan Spesimen Dengan *Skin* Karbon

Pada grafik gambar 4-17 dapat dibaca bahwa diameter ribs 10mm memiliki kekakuan bending spesifik paling tinggi, dan diameter ribs 30mm memiliki nilai kekakuan bending spesifik paling rendah.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh diameter ribs terhadap pengujian bending terbaik yaitu pada spesimen dengan ribs diameter 10mm dengan tebal 5mm
2. Nilai rata-rata kekakuan bending tertinggi pada spesimen tanpa *skin* karbon yaitu pada variasi diameter ribs 10mm dengan nilai 7.761.943,88 Nmm². Sedangkan pada spesimen dengan *skin* karbon yaitu pada variasi diameter ribs 10mm dengan nilai 11.476.782,99 Nmm².
3. Hasil analisis kekakuan bending pada spesimen yang menggunakan *skin* karbon memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesimen yang tidak menggunakan *skin* karbon.
4. Analisis kegagalan yang banyak terjadi yaitu mode kegagalan 1, dimana fenomena yang terjadi yaitu retak pada bagian tengah atas dari ribs.

5.2. Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Dalam proses penempelan serat karbon ke spesimen, sebaiknya spesimen di bersihkan dan diampelas sedikit agar serat karbon dapat menempel dengan baik.
2. Dalam proses *vacuum infusion* sebelum memasukan resin, sebaiknya dicek dahulu apa ada kebocoran atau tidak. Jika tidak ada kebocoran jangan gemboskan angin didalam plastik *vacuum*, tetapi langsung saja dimasukkan resinnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C393-00, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United State.
- Adriansyah I Yudha, (2021). Analisis Uji Komposit *Sandwich* yang digabungkan 3D Printing. Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- Ashfan M, (2022). Pengaruh Ketebalan Core (3D Print) Dengan Bahan PLA (Polyactic-Acid) Terhadap Uji Bending Spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion. Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- Baraja D Ahmad, (2021). Pengaruh Proses Komposit *Sandwich* Metode *Vacuum Infusion* Terhadap *3d Printed Core* Geometri Kompleks (Studi Kasus Helm Sepeda) Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- Gdoutos E, (2008) *Failure Mechanisms Of Composite Sandwich Structure*.
- Marsono, M., Ali, A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel *Honeycomb Sandwich* Berbahan Komposit *Fiberglass* dengan Dimensi *Cell-Pitch* 40mm dan *Cell-Height* 30mm. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 3(2). <https://doi.org/10.26760/jrh.v3i2.3144>
- Marsono dkk, (2021). Kaji Eksperimental Sifat Mekanik *Honeycomb Sandwich* Komposit Serat Karbon dengan Uji Bending. Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung.
- Mutasiana R Hasbu, (2014). Pengaruh Variasi Ketebalan *Core* Terhadap Karakteristik Bending Komposit *Sandwich* Serat Cantula Dengan *Core Honeycomb* Kardus Tipe A-flute” Prodi. Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik Kejuruan, FKIP, UNS.
- Oliviandes F, (2022). Analisis Pengaruh Jumlah Lapisan Skin Pada Komposit Sandwich Terhadap Uji Bending Menggunakan Metode Vacuum Infusion. Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- Patrick E. Mack, CCT and Mitchell D. Smitch. (2003). *Verdant Technologies, Inc, Rhode Island, Advanced in Vacuum Infusion Processing Using Spacer Fabrics as Enginered Renforcing Interlaminar Infusion Media*.

- Sugiyama, K., Matsuzaki, R., Ueda, M., Todoroki, A., & Hirano, Y. (2018). *3D Printing Of Composite Sandwich Structures Using Continuous Carbon Fiber And Fiber Tension. Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 113, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.07.029>
- Surdia T. dan Saito S., (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Schawardz M.M., (1984) *Composite Material Handbook*, Mc Graw-Hill, Singapura.



LAMPIRAN



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	A10-1-I	19.88	49.59	0.36	15.16	4.68
2	A10-1-II	19.63	49.85	0.35	14.40	4.65
3	A10-3-I	19.73	49.90	0.62	13.99	8.14
4	A10-3-II	19.91	49.98	0.62	12.60	7.98
5	A10-5-I	19.50	50.17	0.37	5.28	4.95
6	A10-5-II	20.05	50.03	0.38	4.61	4.82
7	A20-1-I	19.75	49.88	0.21	22.31	2.75
8	A20-1-II	19.70	49.94	0.20	22.21	2.63
9	A20-3-I	20.05	49.60	0.29	15.17	3.71
10	A20-3-II	19.97	49.97	0.31	18.30	3.97
11	A20-5-I	19.84	49.70	0.25	12.75	3.26
12	A20-5-II	20.01	49.97	0.26	10.76	3.31
13	A30-1-I	19.97	49.91	0.14	22.46	1.79
14	A30-1-II	19.92	49.93	0.14	23.58	1.80
15	A30-3-I	20.08	49.74	0.25	16.79	3.18
16	A30-3-II	20.02	49.92	0.26	19.80	3.31
17	A30-5-I	19.70	49.82	0.18	9.82	2.37
18	A30-5-II	19.70	49.90	0.18	7.32	2.37

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 28 Mei 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 28 Mei 2022

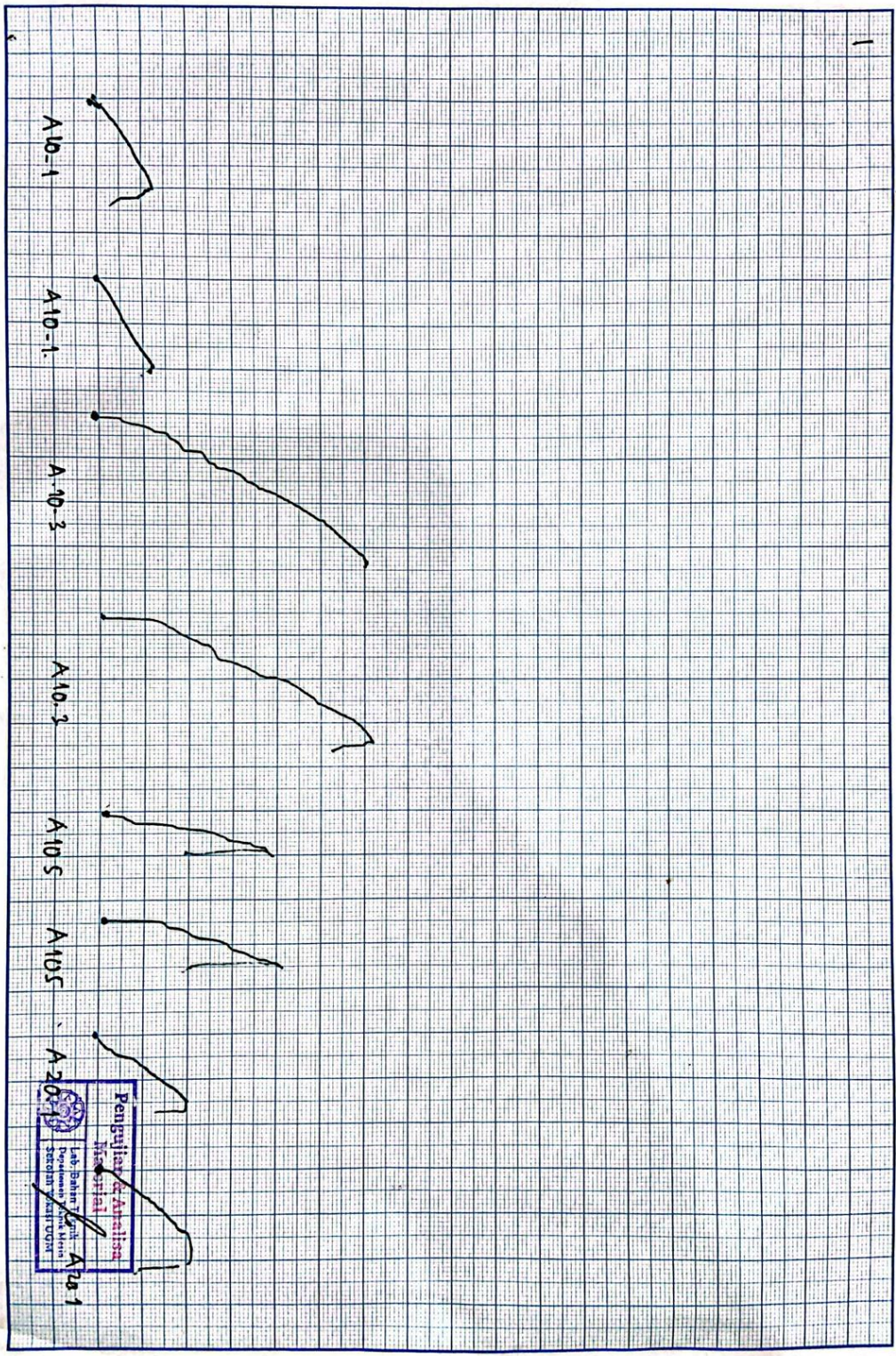
Staf Laboratorium Bahan Teknik

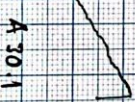
Pengujian & Analisa
Material

Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
D. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T

NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281





A 305



A 305





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Pmax	Defleksi	Tegangan Bending
		(mm)	(mm)	(KN)	(mm)	(MPa)
1	CA10-1	20.00	50.10	0.42	11.12	5.34
2	CA10-3	20.01	50.30	0.65	7.37	8.23
3	CA10-5	20.02	49.90	0.49	4.37	6.25
4	CA20-1	20.02	49.60	0.25	13.39	3.21
5	CA20-3	20.00	49.90	0.34	13.14	4.34
6	CA20-5	20.02	49.70	0.34	6.18	4.35
7	CA30-1	20.02	49.80	0.18	11.52	2.30
8	CA30-3	20.01	49.70	0.32	12.77	4.10
9	CA30-5	20.01	50.00	0.24	8.94	3.06

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 15 Juli 2022
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar Spesimen menggunakan ASTM C393

Yogyakarta, 15 Juli 2022

Staf Laboratorium Bahan Teknik



NIP. 197703612002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

