PENGARUH KETEBALAN DAN JENIS 3D *PRINTED CORE* TERHADAP KEKAKUAN *BENDING* KOMPOSIT *SANDWICH SKIN* SERAT KARBON

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun Oleh :

Nama : Abdi Haritz Pratama

No. Mahasiswa : 18525058

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya Dengan ini saya yang bertanda tangan dibawah ini, Abdi Haritz Pratama selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Ketebalan dan Jenis 3D *Printed Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Skin* Serat Karbon" menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 30 September 2022



Abdi Haritz Pratama

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH KETEBALAN DAN JENIS 3D *PRINTED CORE* TERHADAP TERHADAP KEKAKUAN BENDING KOMPOSIT *SANDWICH SKIN* SERAT KARBON

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Abdi Haritz Pratama

No. Mahasiswa : 18525058

NIRM :

Yogyakarta, 9 September 2022

Pembimbing I,

Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH KETEBALAN DAN JENIS 3D *PRINTED CORE* TERHADAP TERHADAP KEKAKUAN BENDING KOMPOSIT *SANDWICH SKIN* SERAT KARBON

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Abdi Haritz Pratama

No. Mahasiswa : 18525058

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.

Ketua

Tanggal : 05/10/2022

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

Anggota I

Tanggal : 03/10/2022

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc. IPP

Anggota II

Tanggal : 03/10/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Orang tua saya Bapak Bambang Devinora dan Ibu Yettelmita yang telah memberikan nasehat dan doa yang tulus kepada saya sampai penulisan tugas akhir ini selesai.

Adik saya Mutiara Qatrunada, yang selalu memberi semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini

HALAMAN MOTTO

“Orang yang hebat adalah orang yang memiliki kemampuan menyembunyikan kesusahan, sehingga orang lain mengira bahwa ia selalu senang.”
(Imam Asy-Syafi'i)

“Dua hal yang mendeskripsikanmu: kesabaranmu saat tidak memiliki apa-apa dan sikapmu ketika mempunyai segalanya.”
(Ali bin Abi Thalib)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis haturkan atas ke hadirat Allah SWT. Yang mana berkat rahmat dan Ridho serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelasaikan skripsi ini dengan judul penelitian "Pengaruh Ketebalan dan Jensin 3D *Printed Core* Terhadap Kekakuan *Bending* Komposit *Sandwich Skin* Serat Karbon".

Selama pembuatan dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, dukungan, kritik, saran dan pengarahan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan skripsi ini. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat kepada kita dengan begitu banyak.
2. Bapak Hari Purnomo, Prof., Dr., Ir., M.T., IPU, ASEAN.Engselaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr.Eng. Risdiyono, S.T, M.Eng 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. Bapak Bambang Devinora dan Ibu Yettelmita selaku orang tua serta Mutiara Qatrunada selaku saudara saya yang telah memberikan doa, semangat, perhatian, motivasi dan dukungan baik secara moral maupun material.

6. Seluruh Dosen Prodi Teknik Mesin yang telah mendidik, mengajarkan banyak ilmu pengetahuan tentang teknik mesin.
7. Teman seperjuangan Ahsanul Zikri “bro joks”, Gufran Rahardi “dekpur”, David Yade Hinanda Putra “dekpid”, Rio Ari Sandika “dekmet”, Reezcky Noer Alamsyah “dekle”, Kemal Ali “ngab Skrilex” yang sudah mau membantu dalam pengerjaan skripsi.
8. Teman-teman Kontrakan saya, teman-teman ksp, dan teman-teman dari kota asal saya atas canda dan tawa serta semangatnya selama perkuliahan ini berlangsung.
9. Teruntuk semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terimakasih 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 banyak terdapat kesalahan, maka dari itu penulis mengharap kritik dan saran yang membangun dalam penulisan skripsi ini. Senoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 15 September 2022



Abdi Haritz Pratama

18525058

ABSTRACT

Composite is a material composed of two or more materials that have mechanical properties between different materials produced by a mixing process. Based on the structure, composites can be divided into two, namely the layer structure and the sandwich structure. In principle, sandwich composites are composites composed of 2 parts, namely the middle as the core and the bottom and top as the skin. In this study, carbon fiber (skin) was used, with ABS and Nylon cores glued together using an epoxy resin using the vacuum infusion method. This study aims to make sandwich composites combined with ABS and Nylon materials using the vacuum infusion method to compare the stiffness values of each specimen. The core is made using a 3D Print machine with ABS and Nylon materials with 20% infill and Honeycomb pattern fill. This study uses bending testing to determine the strength of each test specimen. Based on the bending test that has been carried out, it shows that the specimen with the highest stiffness value is a 10 mm core specimen made of Nylon with a value of 10,069,021.81 N.mm2, and the highest bending stress value is 99.57 MPa on a 5mm sandwich core composite specimen made of ABS. The results of the comparison of bending stiffness in the ABS + sandwich composite specimen with a 5 mm core were 15.09 x higher than the 5 mm core without sandwich composite and the ABS + Sandwich composite specimen with a 10mm core was 4.2 x higher than the 10 mm core without sandwich composite. Meanwhile, the Nylon + sandwich composite with 5 mm core is 5.19 x higher than Nylon with 5 mm core without sandwich composite and Nylon + sandwich composite with 10mm core is 2.51 x higher than Nylon 10 mm without sandwich composite.

Keywords: Sandwich Composite, Carbon Fiber , Vacuum Infussion, ABS, Nylon, Bending Testing

ABSTRAK

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur lapisan dan struktur sandwich. Pada prinsipnya komposit sandwich merupakan komposit yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian tengah sebagai core dan dibagian bawah serta atas sebagai *skin*. Pada penelitian ini menggunakan *carbon fibre* (*skin*), dengan *core* ABS dan Nylon yang direkatkan menggunakan epoxy resin dengan metode *vacuum infusion*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit sandwich yang digabungkan dengan material ABS dan Nylon dengan metode *vacuum infusion* untuk mengetahui perbandingan nilai kekakuan masing-masing spesimen. *Core* dibuat menggunakan mesin 3D Print dengan bahan ABS dan Nylon dengan infill 20% dan fill pattern *Honeycomb*. 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 *core* 10 mm berbahan Nylon dengan nilai sebesar 10.069.021,81 N.mm2, dan nilai tegangan *bending* tertinggi 99,57 MPa pada spesimen komposit sandwich *core* 5mm berbahan ABS. Hasil perbandingan kekakuan *bending* pada spesimen ABS + komposit *sandwich* dengan *core* 5 mm adalah lebih tinggi 15,09 x jika dibandingkan dengan *core* 5 mm tanpa komposit sandwich dan specimen ABS + Komposit sandwich dengan *core* 10 mm adalah lebih tinggi 4,2 x dibandingkan dengan *core* 10 mm tanpa komposit *sandwich*. Sedangkan untuk hasil spesimen Nylon + komposit *sandwich* dengan *core* 5 mm adalah lebih tinggi 5,19 x dari Nylon dengan *core* 5 mm tanpa komposit sandwich dan Nylon + komposit *sandwich* dengan *core* 10 mm adalah lebih tinggi 2,51 x dari Nylon 10 mm tanpa komposit *sandwich*.

Kata kunci: Komposit *sandwich, Carbon Fiber , Vacuum Infussion*, ABS, Nylon, Pengujian *Bending*

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji iv
Halaman Persembahan v
Halaman Motto vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih vii
ABSTRACT ix
ABSTRAK x
Daftar Isi xi
Daftar Tabel xiii
Daftar Gambar xiv
Daftar Notasi xvi
Bab 1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
Bab 2 Tinjauan Pustaka 5
2.1 Kajian Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 6
2.2.1 Komposit 6
2.2.2 Komposit *Sandwich* 7
2.2.3 *3D Print* 10
2.2.4 *Vacuum Infusion* 10
2.2.5 Pengujian *Bending* 11
2.2.6 Modus Kegagalan Uji *Bending* Komposit *Sandwich* 15
Bab 3 Metode Penelitian 17
3.1 Alur Penelitian 17

3.2 Peralatan dan Bahan 18
3.3 Dimensi Spesimen *Bending* 26
3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich* 28
3.5 Proses Pengerjaan 28
3.5.1 Pembuatan *Core* Dengan Mesin 3D *Printing* 28
3.5.2 Proses *Vacuum Infusion* 30
3.5.3 Hasil Setelah *Vacuum Infusion* 33
Bab 4 Hasil dan Pembahasan 34
4.1 Pengujian *Bending* 34
4.2 Hasil Pengujian *Bending* 35
4.3 Analisis dan Perhitungan 36
4.3.1 Analisis Modus Kegagalan *Core* ABS 5 mm 37
4.3.2 Analisis Modus Kegagalan *Core* ABS 10 mm 38
4.3.3 Analisis Modus Kegagalan *Core* Nylon 5 mm 39
4.3.4 Analisis Modus Kegagalan *Core* Nylon 10 mm 40
4.3.5 Analisis Modus Kegagalan *Core* ABS Tanpa *Skin* 41
4.3.6 Analisis Modus Kegagalan *Core* Nylon Tanpa *Skin* 42
4.4 Perhitungan 44
4.5 Pembahasan 46
4.5.1 Beban *Bending* 46
4.5.2 Luas Penampang 47
4.5.3 Tegangan *Bending* 48
4.5.4 Modulus Elastisitas 49
4.5.5 Kekakuan *Bending* Dan Kekakuan *Bending* Spesifik 50
Bab 5 Penutup 53
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya 54
Daftar Pustaka 55
LAMPIRAN 58

DAFTAR TABEL

Tabel 3- 1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen sebelum dilakukan proses *vacuum infusion* 27
Tabel 3- 2 Parameter Proses Pembuatan *Core* 29
Tabel 4- 1 Data Hasil Pengujian *Bending* 35
Tabel 4- 2 Perbandingan Berat, Lebar, dan Tebal setelah *Vacuum* 36
Tabel 4- 3 Hasil Perhitungan Luas Penampang Dan Momen Inersia Spesimen 44
Tabel 4- 4 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan *Bending* Spesimen 45
Tabel 4- 5 Perbandingan Beban *Bending* Maksimal Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit 46
Tabel 4- 6 Perbandingan Luas Penampang Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit dan Tanpa Lapisan Komposit 47
Tabel 4- 7 Perbandingan Beban *Bending* Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit 48
Tabel 4- 8 Perbandingan Modulus Elastisitas Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit 49
Tabel 4- 9 Perbandingan Kekakuan *Bending* antara spesimen dengan lapisan komposit dengan spesimen tanpa lapisan komposit 50
Tabel 4- 10 Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik antara spesimen dengan lapisan komposit dengan spesimen tanpa lapisan komposit 51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Struktur Komposit *Sandwich* 7
Gambar 2- 2 Struktur *Honeycomb* 8
Gambar 2- 3 Serat Karbon 9
Gambar 2- 4 Mesin 3D *Print* 10
Gambar 2- 5 Skema Proses *Vacuum Infusion* 11
Gambar 2- 6 Skema Pembebanan pada Three Point *Bending* 11
Gambar 2- 7 Universal Testing Machine 12
Gambar 2- 8 Rumus Luas Penampang *Core* 12
Gambar 2- 9 Rumus Perhitungan Momen Inersia *Core* 13
Gambar 2- 10 Rumus Perhitungan Luas Penampang Komposit *Sandwich* 13
Gambar 2- 11 Rumus Perhitungan Momen Inersia Komposit *Sandwich* 14
Gambar 2- 12 Jenis Kegagalan Pada *Skin* Komposit *Sandwich* 15
Gambar 2- 13 Jenis Kegagalan Pada *Core* Komposit *Sandwich* 15
Gambar 3- 1 *Vacuum Pump* 18
Gambar 3- 2 *Catch Pot* 18
Gambar 3- 3 Timbangan 19
Gambar 3- 4 Katup Bensin 19
Gambar 3- 5 *Vacuum Bag* 20
Gambar 3- 6 *Infusion Mesh* 20
Gambar 3- 7 *Peel Ply* 21
Gambar 3- 8 Selang 21
Gambar 3- 9 Selang Spiral 22
Gambar 3- 10 Epoksi 22
Gambar 3- 11 *Hardener* 23
Gambar 3- 12 *Butyl Tape* 23
Gambar 3- 13 Lem Dextone 24
Gambar 3- 14 *Filament* ABS 24
Gambar 3- 15 *Filament Nylon* 25
Gambar 3- 16 Serat Karbon 25
Gambar 3- 17 Dimensi spesimen uji *bending core* 10mm 26

Gambar 3- 18 Dimensi spesimen uji *bending core* 5mm 26
Gambar 3- 19 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich* 28
Gambar 3- 20 Proses Pembuatan *Core* ABS 28
Gambar 3- 21 Proses Pembuatan *Core* Nylon 29
Gambar 3- 22 Susunan Komposit *Sandwich* 30
Gambar 3- 23 Pemasangan Selang Spiral 30
Gambar 3- 24 Pelapisan Dextone 31
Gambar 3- 25 Memasukkan Bahan Kedalam *Vacuum Bag* 31
Gambar 3- 26 Pencampuran Epoksi dan Hardener 32
Gambar 3- 27 Proses *Vacuum Infusion* 32
Gambar 3- 28 Hasil *Core* ABS Setelah *Vacuum Infusion* 33
Gambar 3- 29 Hasil *Core* Nylon Setelah *Vacuum Infusion* 33
Gambar 4- 1 Proses Pengujian *Three Point Bending* 34
Gambar 4- 2 Hasil Pengujian *Bending* 35
Gambar 4- 3 Spesimen Komposit *Sandwich* ABS 5 mm 37
Gambar 4- 4 Spesimen Komposit *Sandwich* ABS 10 mm 38
Gambar 4- 5 Spesimen Komposit *Sandwich* Nylon 5 mm 39
Gambar 4- 6 Spesimen Komposit *Sandwich* Nylon 10 mm 40
Gambar 4- 7 Spesimen Core ABS Tanpa *Skin* 41
Gambar 4- 8 Spesimen *Core* Nylon 5 mm Tanpa Skin 42
Gambar 4- 9 Spesimen *Core* Nylon 10 mm Tanpa Skin 43
Gambar 4- 10 Grafik Beban *Bending* 46
Gambar 4- 11 Grafik Perbandingan Luas Penampang 47
Gambar 4- 12 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending* 48
Gambar 4- 13 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit 49
Gambar 4- 14 Grafik kekakuan *bending* 51
Gambar 4- 15 Grafik Kekakuan *Bending* Spesifik 52

DAFTAR NOTASI

σ = Tegangan *bending* maksimal (MPa)

E = Modulus elastisitas *bending* (N/mm^2)

P = Beban yang diberikan (N)

L = jarak point (mm)

b = lebar benda uji (mm)

h = ketebalan benda uji (mm)

δ = Defleksi (mm)

I = Momen Inersia (kgm)

A = Luas Penampang (m^2)

D = Kekakuan *Bending* (Nmm^2)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang sangat pesat pada saat ini mengakibatkan banyaknya penelitian yang dilakukan dalam berbagai bidang, tanpa terkecuali dalam bidang material. Kebutuhan akan material yang memiliki beberapa sifat umum seperti kuat, kaku, dan ringan sangat dibutuhkan pada saat ini. Kebutuhan akan material ini mencakup dalam berbagai bidang kehidupan saat ini seperti industri, teknologi, otomotif, konstruksi, dan sebagainya. Dengan meningkatnya permintaan akan kebutuhan tersebut maka muncul gagasan untuk mencari material alternatif yang dapat memenuhi kriteria tersebut, salah satunya dengan material komposit.

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Material komposit memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan material yang biasa digunakan seperti kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan berat yang lebih ringan (Prayoga, 2018).

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur lapisan dan struktur *sandwich*. Pada prinsipnya komposit sandwich merupakan komposit yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian tengah sebagai *core* dan dibagian bawah serta atas sebagai *skin.* Banyak variasi definisi dari komposit *sandwich,* tetapi yang paling utama pada komposit *sandwich* adalah *core* yang ringan sehingga memperkecil berat jenis dari material tersebut dan kekakuan pada *skin* yang memberikan kekuatan pada komposit *sandwich* (Setiyawan et al., 2020).

Pemanfaatan material dengan struktur berlapis (*sandwich structure*) semakin meningkat karena material dengan struktur berlapis ini memiliki kelebihan dalam hal perbandingan kekuatan terhadap berat (strength-to-weight ratio) yang tinggi. Sandwich structure ini juga memiliki kekakuan geser dan *bending* (*shear*/*bending stiffness*) yang tinggi persatuan beratnya. Hal ini membuat

material dengan struktur berlapis banyak digunakan pada banyak sektor seperti teknologi ruang angkasa, penerbangan dan automotif (Marsono dkk, 2021).

3D Printing atau biasa juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* adalah proses membuat objek pada tiga dimensi atau berbagai bentuk apapun dari model digital. Pada umumnya material dari 3D *print* sendiri biasanya menggunakan *filament* PLA. PLA sendiri memeliki kelebihan dan kekurangan dimana kelebihan dari PLA adalah bahan yang banyak dijumpai di pasaran. Namun PLA memiliki kelemahan yaitu daya tahan terhadap suhu tinggi yang buruk. Pada penelitian ini peneliti ingin meneliti salah satu material yang unggul yang memiliki daya tahan yang lebih tinggi dari PLA yaitu ABS dan Nylon hal ini disebabkan kedua material tersebut memiliki daya tahan panas yang tinggi dikarenakan pada saat proses *vacuum infusion* terjadinya reaksi kimia yang menimbulkan panas pada media. Sehingga dibutuhkan material *core* yang memiliki daya tahan panas yang tinggi.

Core digunakan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya dapat lebih kaku, kuat, dan tangguh bila dibandingkan dengan tidak menggunakan *core*. Pada penelitian ini menggunakan *core* dengan jenis *Honeycomb*, dengan menggunakan alat 3D *Print* sesuai dengan standar uji ASTM C393. Pengujian *bending* dilakukan guna mengetahui perubahan bentuk dan kekakuan pada masing-masing ketebalan dan jenis material *core*. Maka dari itu perlu penelitian tentang pembuatan komposit sandwich dengan masing-masing ketebalan dan jenis material *core* yang berbeda dengan menggunakan *infill honeycomb* 20% untuk mengetahui pengaruhnya setelah dilakukan pengujian *bending*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana melakukan proses *vacuum infusion* yang tepat pada spesimen uji?
2. Bagaimana pengaruh ketebalan dan jenis material spesimen terhadap kekakuan *bending* pada komposit *sandwich* dengan serat karbon?
3. Bagaimana mengetahui nilai kekakuan dari spesimen penggabungan material ABS + komposit sandwich, Nylon + komposit *sandwich* dan tanpa komposit *sandwich*?

1.3 Batasan Masalah

1. Jenis material *core* yang diteliti adalah ABS dan Nylon dengan *skin* serat karbon menggunakan metode *vacuum infusion.*
2. Pembuatan spesimen menggunakan mesin *3D Print* dengan *infill* 20% dan *fill pattern Honeycomb*.
3. Proses *Vacuum Infussion* hanya menggunakan alat-alat yang ada di Laboratorium Proses Produksi UII.
4. Tebal *core* ABS *dan* Nylon yang digunakan yaitu 10 mm dan 5 mm dengan satu lapis *skin* Serat Karbon.
5. Spesimen yang diuji menggunakan standar ASTM C393
6. Pengujian yang dilakukan hanya menggunakan pengujian *bending* di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh ketebalan dan jenis material *core* terhadap kekakuan *bending* dengan menggunakan komposit sandwich dan *skin* serat karbon
2. Untuk mengetahui pengaruh ketebalan dan jenis material *core* terhadap kekakuan *bending* spesifik dengan menggunakan komposit sandwich dan *skin* serat karbon.
3. Untuk mengetahui pengaruh ketebalan dan jenis material *core* terhadap beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan *bending*, modulus elastisitas dengan menggunakan komposit sandwich dan *skin* serat karbon.
4. Untuk Mengetahui Perubahan dimensi setelah dan sebelum *vacuum infusion*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat setelah melakukan pengujian ini, yaitu :

1. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit *sandwich* menggunakan metode *vacuum infusion.*
2. Mengetahui perbedaan nilai kekauan masing-masing material.

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 berjudul "Pengaruh variasi ketebalan *core* terhadap karakteristik *bending* komposit *sandwich* serat *cantula* dengan *core honeycomb* kardus tipe A-*flute"*oleh (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 yang kedua dari penelitian yang berjudul "Studi Sifat Mekanik Komposit *Sandwich Divinycell Foam* dengan Metode *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI) untuk Float Pesawat Amfibi" oleh (Nurul Lailatul et al., 2021). Dimana dalam penelitian ini meneliti tentang sifat mekanik dari komposit *sandwich* dengan jumlah *layer-core-layer*, 4:1:2. Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan pada spesimen yang telah dilakukan proses *post curing* nilai *flatwise compressive ultimate strenght* lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen tanpa proses *post curing.* Untuk nilai *edgewise compressive ultimate strenght post curing* juga lebih tinggi dibandingkan *non curing.*

Kajian pustaka yang ketiga berasal dari penelitian berjudul "Pengaruh Ketebalan *Core (3D Print)* Terhadap Uji *Bending* Spesimen Komposit *Sandwich* Menggunakan Metode *Vacuum Infusion.* Oleh (Ashfan Farahma, 2022). Pada penelitian tersebut meneliti tentang pengaruh ketebalan *core* komposit *Sandwich terhadap* kekakuan *bending* menggunakan metode *vacuum infusion.* Penelitian tersebut menggunakan variasi *core* dengan ketebalan 5mm, 10mm, dan 15mm dan

menggunakan standar ASTM D790. Berdasarkan hasil penelitian didaptkan bahwa nilai kekakuan yang paling tinggi dimiliki oleh spesimen dengan tebal *core* 15mm. selain itu beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan lentur, modulus elastisitas, dan kekakuan spesimen yang dilapisi komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan spesimen yang tidak dilapisi dengan komposit.

Kajian pustaka keempat yang berjudul "Analisis uji *bending* komposit *sandwich* yang digabungkan 3D *Printing"* oleh (Adriansyah, 2021). Penelitian tersebut 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 kelima yang berjudul "Kaji Eksperimental Sifat Mekanik *Honeycomb Sandwich* komposit Serat Karbon dengan Uji *Bending*" oleh (Marsono et al., 2021). Dalam penelitian tersebut 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.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Pencampuran material komposit biasanya merupakan pencampuran antara pengisi dan matrik yang terdiri dari bermacam-macam kombinasi. Pengisi dapat berupa partikel kecil atau berbentuk serat. Saat ini bahan komposit yang diperkuat dengan serat merupakan bahan teknik yang banyak digunakan karena

kekuatan dan kekakuan spesifik yang jauh di atas bahan teknik pada umumnya (M.yani et al., 2019)

Material komposit memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan material yang biasa digunakan seperti kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan berat yang lebih ringan.

2.2.2 Komposit *Sandwich*

Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur lapisan dan struktur sandwich. Pada prinsipnya komposit sandwich merupakan komposit yang tersusun dari 2 bagian yaitu bagian tengah sebagai *core* dan dibagian bawah serta atas sebagai *skin*. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi (Hidayat et al., 2016).



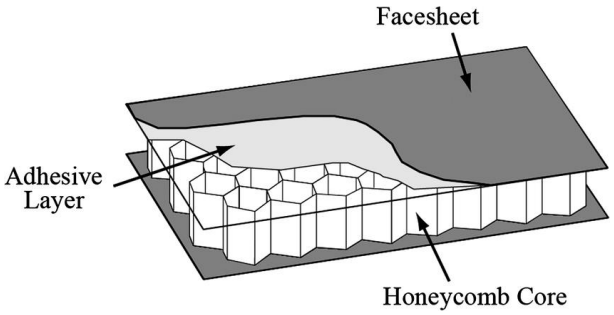
Gambar 2- 1 Struktur Komposit *Sandwich*

Core digunakan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya dapaat lebih kaku, kuat, dan tangguh bila dibandingkan dengan tidak menggunakan *core*.

Skin merupakan struktur sandwich yang berfungsi sebagai pelapis *core* pada saat melakukan komposit sandwich. Untuk melakukan metode ini *skin* harus direkatkan secara rapat ke *core* dengan menggunakan resin dan katalis untuk perekatannya.

2.2.2.1 Core

Salah satu bagian yang penting dari komposit *sandwich* adalah *Core,* dimana bagian ini harus cukup kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Dengan kekakuannya *core* diharapkan harus mampu menahan geseran agar tidak terjadi *slide* antar permukaan. Material dengan kekakuan yang rendah tidak cocok untuk dijadikan sebagai *core,* dikarenakan kekuatan pada lapisan *sandwich* nya akan berkurang.



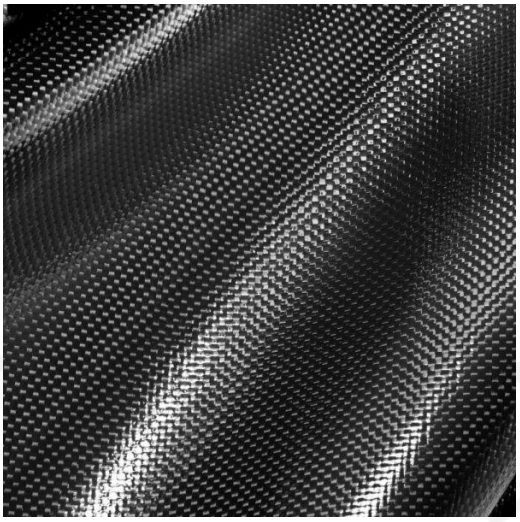
Gambar 2- 2 Struktur *Honeycomb*

Berbagai jenis bentuk *core* telah banyak diterapkan pada struktur *sandwich.* Salah satu bentuk *core* yang paling banyak digunakan pada struktur *sandwich* yaitu bentuk sarang lebah (*honeycomb)* (Marsono et al., 2019). Struktur *honeycomb* memiliki ketahanan kompresi dan gaya geser yang lebih besar jika dibandingkan dengan struktur lainnya.

2.2.2.2 *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 Karbon

2.2.2.3 Matrik

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 sintetis. *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).

2.2.3 *3D Print*

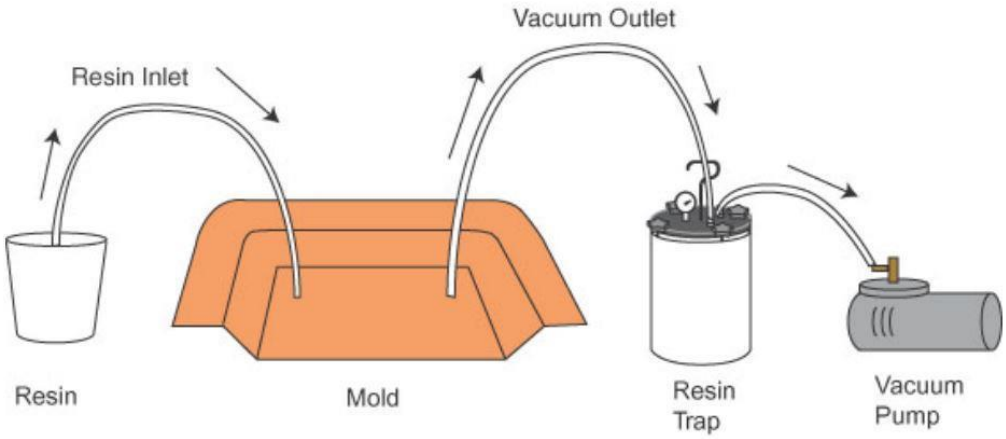
3D Printing atau biasa juga dikenal dengan *additive layer manufacturing* adalah proses membuat objek pada tiga dimensi atau berbagai bentuk apapun dari model digital. *3D printer* ini bisa mencetak, *modelling*, purwarupa / pemodelan, alat-alat peraga untuk pendidikan, model perhiasan, alat-alat penunjang 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 & Sari, 2018).



Gambar 2- 4 Mesin 3D *Print*

2.2.4 *Vacuum Infusion*

Untuk membuat material komposit terdapat banyak metode seperti *vacuum bagging*, *hand lay up*, dan *vacuum infusion*. *Vacuum Infusion* adalah salah satu metode manufaktur untuk membuat material komposit dimana metode ini memanfaatkan kevakuman udara atau biasa disebut juga proses cetakan tertutup karena cetakan ini nanti ditutup oleh plastik *bag* yang diberi perekat (*Sealing-tape*) agar udara dalam cetakan tervakum, yang nantinya aliran dari resin akan mengalir masuk dan mengisi cetakan tersebut.

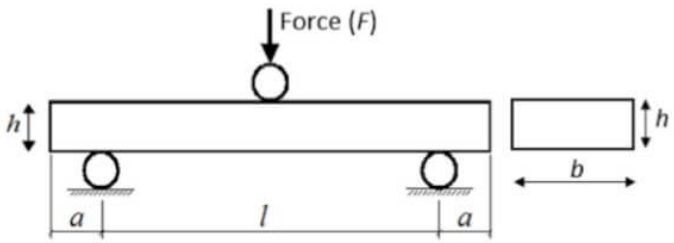


Gambar 2- 5 Skema Proses *Vacuum Infusion*

Penggunaan metode *Vacuum Infusion* ini menjadi popular belakangan ini karena memiliki manfaat dan keunggulan karena dalam proses pembuatannya. Contohnya pada proses *vacuum infusion* dapat menghasilkan *part* dengan desain sulit dan menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dan juga *waste* yang lebih sedikit (Utomo & Drastiawati, N. S, 2021).

2.2.5 Pengujian *Bending*

Uji lengkung (*Bending Test)* merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan pada suatu titik ditengah-tengah spesimen yang ditahan diatas dua tumpuan. Pada pengujian *bending* spesimen bagian atas mengalami gaya tekan, sedangkan bagian bawah mengalami tegangan tarik. Proses pengujian *bending* memiliki 2 macam pengujian, yaitu *three point bending* dan four *point bending* (Beliu et al., 2016).



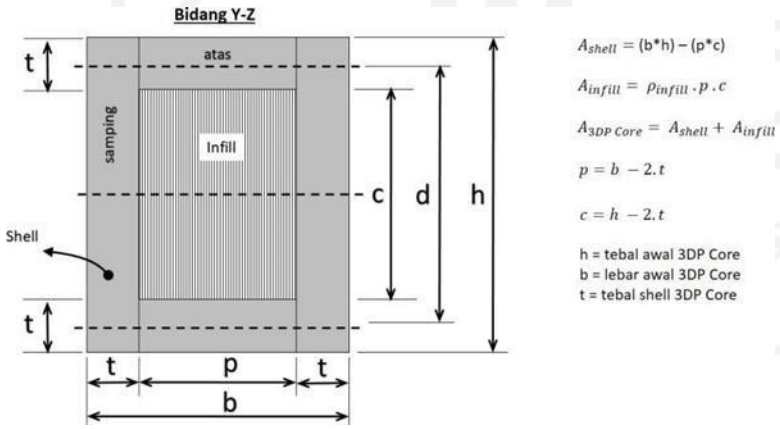
Gambar 2- 6 Skema Pembebanan pada Three Point *Bending*



Gambar 2- 7 Universal Testing Machine

Perhitungan pada komposit *sandwich* berbeda dengan perhitungan spesimen pejal. Hal ini dikarenakan pada bagian dalam *core* komposit sandwich tidak berbentuk pejal melainkan *infill* berbentuk *honeycomb.* Perhitungan untuk luas penampang dan momen inersia komposit *sandwich* dapat dilihat pada gambar dibawah.

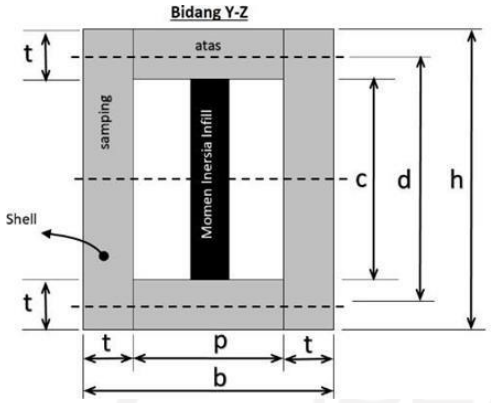
1. Luas Penampang spesimen *3D Printing*



Gambar 2- 8 Rumus Luas Penampang *Core*

(Sumber : Ashfan Farahma, 2022)

2. Momen Inersia spesimen *3D Printing*



$$I_{3DP\,Core} = 2.I_{atas} + 2.I_{samping} + I_{infill}$$

$$I_{atas} = \frac{p.t^3}{12} + \frac{p.t.d^2}{4}$$

$$I_{samping} = \frac{t.h^3}{12}$$

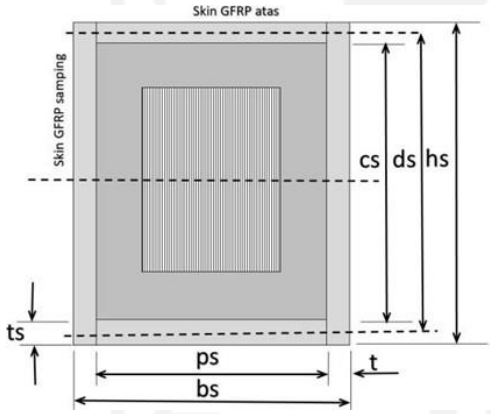
$$I_{infill} = \frac{\rho_{infill}.\ p.c^3}{12}$$

$$p = b - 2.t$$
$$c = h - 2.t$$
$$d = h - t$$

Gambar 2- 9 Rumus Perhitungan Momen Inersia *Core*

(Sumber : Ashfan Farahma, 2022)

3. Luas Penampang Spesimen Komposit *Sandwich*



$$A_{sandwich} = A_{skin} + A_{3DP\,Core}$$

$$A_{skin} = (bs*hs) - (ps*cs)$$

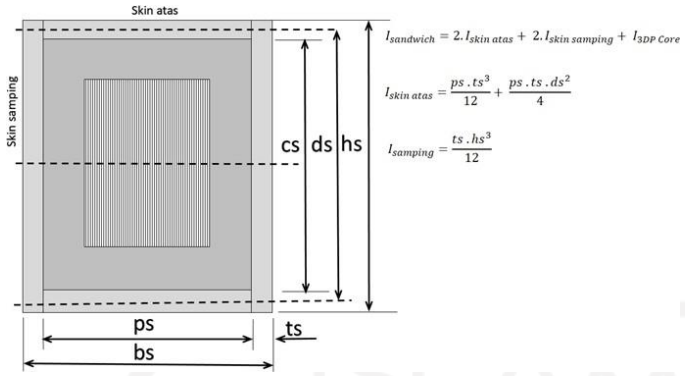
$$ps = bs - 2.ts$$
$$cs = hs - 2.ts$$
$$ds = hs - ts$$

hs = tebal akhir komposit sandwich
bs = lebar akhir komposit sandwich
ts = tebal skin = $(hs - h_{3DPCore})/2$

Gambar 2- 10 Rumus Perhitungan Luas Penampang Komposit *Sandwich*

(Sumber : Ashfan Farahma, 2022)

4. Momen Inersia Spesimen Komposit *Sanwich*



Gambar 2- 11 Rumus Perhitungan Momen Inersia Komposit *Sandwich*

(Sumber : Ashfan Farahma, 2022)

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan *bending* sebagai berikut:

1. Besar Tegangan Maksimal

$$\sigma = \frac{3\ .\ P\ .\ L}{2\ .\ b\ .\ h^2}$$

2. Persamaan Defleksi Maksimal

$$\delta = \frac{p\ .\ L^{3\cdot}}{48\ .\ E\ .\ I_{Sandwich}}$$

3. Modulus Elastisitas

$$E = \frac{p\ .\ L^{3\cdot}}{48\ .\ \delta.\ I_{Sandwich}}$$

4. Kekakuan *Bending*

$$D = E.Isandwich = \frac{p\ .\ L^{3\cdot}}{48\ .\ \delta}$$

Keterangan:

σ = Tegangan *bending* maksimal (MPa)

E = Modulus elastisitas *bending* (N/mm^2)

P = Beban yang diberikan (N)

L = jarak point (mm)

b = lebar benda uji (mm)

h = ketebalan benda uji (mm)

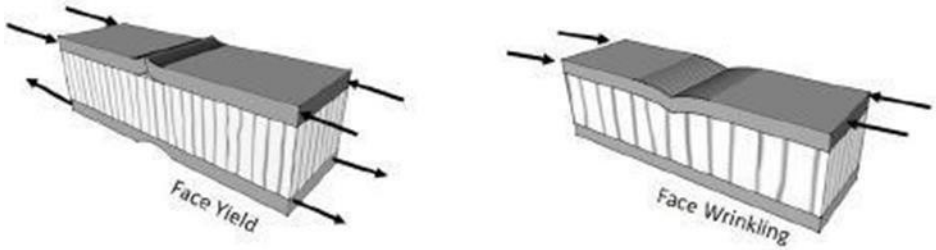
δ = Defleksi (mm)

I = Momen Inersia (kgm)

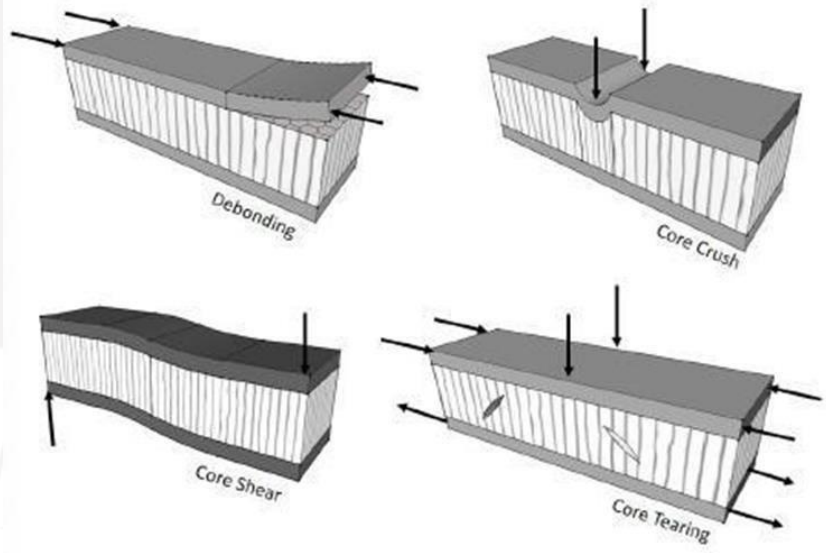
A = Luas Penampang (m^2)

2.2.6 Modus Kegagalan Uji *Bending* Komposit *Sandwich*

Dalam pengaplikasiannya pada bidang rekayasa, komposit *Sandwich* mengalami berbagai macam beban mekanik, seperti misalnya beban tarik, tekan, lentur, geser dan puntir. Tidak jarang pula pada keadaan dilapangan terkadang beban yang diterima oleh material ini melebihi beban pada saat perancangan sehingga mengakibatkan terjadinya kegagalan pada material ini. Menurut (Petras, n.d.) berikut kegagalan yang terjadi pada komposit *sandwich*:



Gambar 2- 12 Jenis Kegagalan Pada *Skin* Komposit *Sandwich*



Gambar 2- 13 Jenis Kegagalan Pada *Core* Komposit *Sandwich*

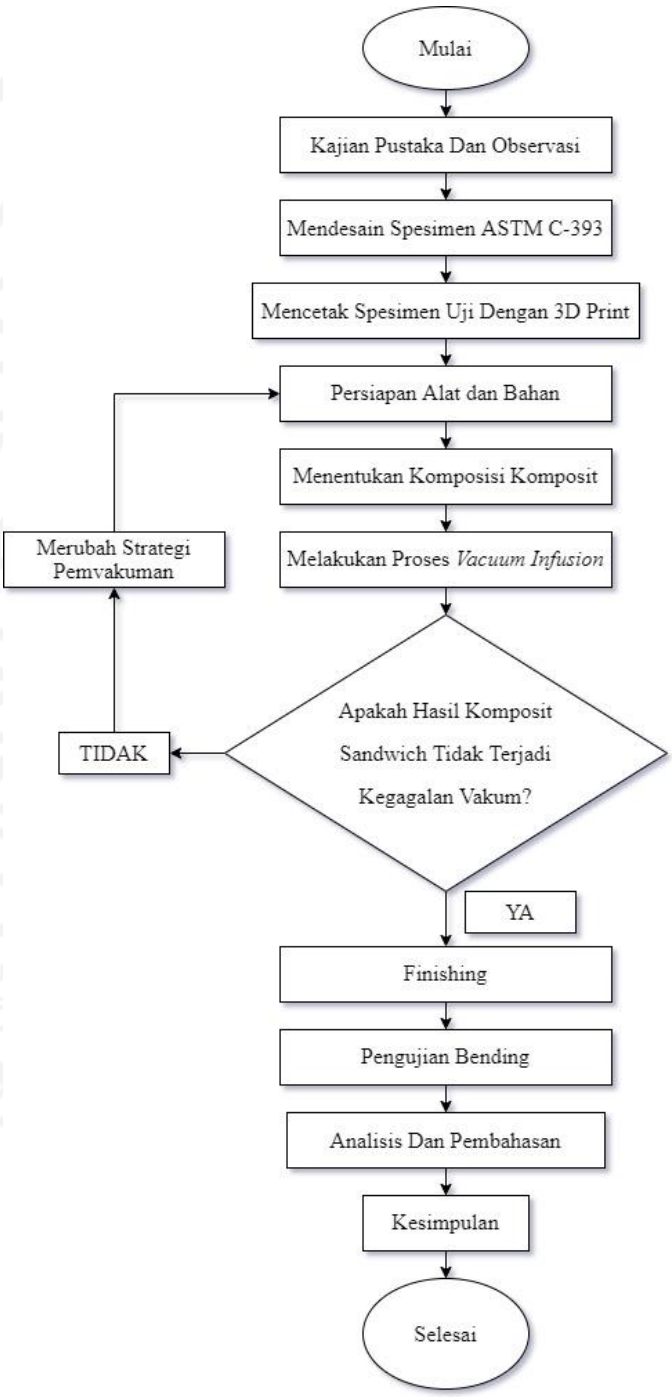
Pada kegagalan skin komposit sandwich yang pertama yaitu face yield dimana bisa terjadi Ketika tegangan normal melebihi tegangan luluh material skin. Jika material skin bersifat getas, maka kegagalan face yield kemungkinan besar terjadi pada skin bagian atas karena lebih kritis terhadap tegangan tekan. 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 terlapasnya bagian core spesimen akibat gaya gesek pada bagian tengah spesimen.

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



3.2 Peralatan dan Bahan

1. *Vacuum Pump*

Pada gambar 3-1 dibawah ini menunjukkan pompa *vacuum* dengan tenaga sebesar ½ HP yang berfungsi sebagai penghisap udara pada saat proses *vacuum infusion*.



Gambar 3- 1 *Vacuum Pump*

2. Tabung Reservoir (*Catch Pot)*



Gambar 3- 2 *Catch Pot*

Tabung Reservoir (*Catch pot*) adalah tabung yang memiliki 2 input yang berfungsi untuk menampung sisa dari resin saat resin mengisi cetakan yang sudah di vakumkan dan juga untuk mencegah sisa resin memasuki pompa yang bisa menyebabkan kerusakan pada pompa, serta untuk membaca tekanan saat melakukan proses *vacuum*, seperti terlihat pada Gambar 3.2

3. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menakar campuran epoksi dan *hardener*. Dan juga diperlukan untuk menimbang berat spesimen sebelum dilapisi dan sesudah dilapisi.



Gambar 3- 3 Timbangan

4. Katup Bensin

Katup bensin berfungsi sebagai pembuka dan penutup untuk saluran udara dari cetakan.



Gambar 3- 4 Katup Bensin

5. *Vacuum Bag*

Vacuum Bag berfungsi sebagai tempat diletakkannya spesimen komposit yang akan dilakukan proses *vacuum infusion*. *Vacuum bag* juga berfungsi untuk mencegah adanya udara yang masuk pada saat proses pemvakuman.



Gambar 3- 5 *Vacuum Bag*

6. *Infusion Mesh*

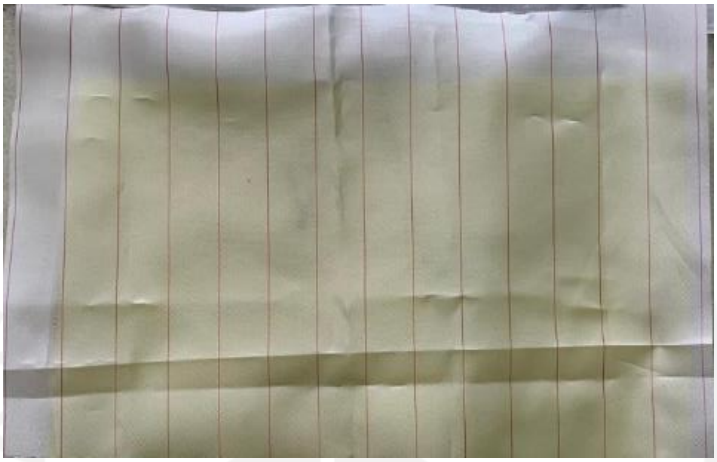
Infusion Mesh berfungsi sebagai media penyebaran campuran epoksi dan *hardener* agar dapat berjalan dengan lancar.



Gambar 3- 6 *Infusion Mesh*

7. *Peel Ply*

Peel Ply berfungsi sebagai pembatas antara *Infusion Mesh* dengan serat karbon agar pada saat pelepasan spesimen dapat dilepas lebih mudah.



Gambar 3- 7 *Peel Ply*

8. Selang

Selang berfungsi untuk mengalirkan resin dari wadah kedalam plastic *vacuum* dan sebagai saluran *vacuum* pada *vacuum* pump ke reservoir trap. Selang yang digunakan berdiamter 10mm dan 8mm.



Gambar 3- 8 Selang

9. Selang Spiral

Selang spiral berfungsi untuk mengalirkan resin ke semua bagian dalam cetakan dan menyalurkan aliran tekanan dari *vacuum pump.*



Gambar 3- 9 Selang Spiral

10. Epoksi

Epoksi merupakan senyawa kimiawi yang didapatkan dari proses polimerisasi epoksida. Epoksi berfungsi sebagai perekat antara *core* 3D *printing* dan serat karbon.



Gambar 3- 10 Epoksi

11. *Hardener*

Hardener merupakan senyawa kimia yang dapat membantu mempercepat proses pengerasan pada epoksi.



Gambar 3- 11 *Hardener*

12. *Butyl Tape*

Butyl Tape berfungsi untuk merekatkan plastik *vacuum* di setiap sisi agar tidak terjadi kebocoran yang dapat menyebabkan udara dari luar masuk kedalam plastik *vacuum*.



Gambar 3- 12 *Butyl Tape*

13. Lem Dextone

Lem dextone berfungsi sebagai perekat antara *core* 3D *Printing* dan serat karbon sebelum dilakukan *vacuum infusion* agar serat karbon lebih menempel pada *core.*



Gambar 3- 13 Lem Dextone

14. *Filament ABS*

Filament ABS yang digunakan pada penelitian ini yaitu merk esun dengan tebal filament 1.75 mm dengan suhu nozzle 235 ºC, suhu bed 70 ºC dan speed 60%. *Filament* ABS yang digunakan pada penelitian ini memiliki sifat mekanik seperti *tensile strength* 43 MPa, *elongation at Break* 22 *%, flexural strength 66* MPa, dan *flexural modulus* 1177 MPa.



Gambar 3- 14 *Filament* ABS

15. *Filament Nylon*

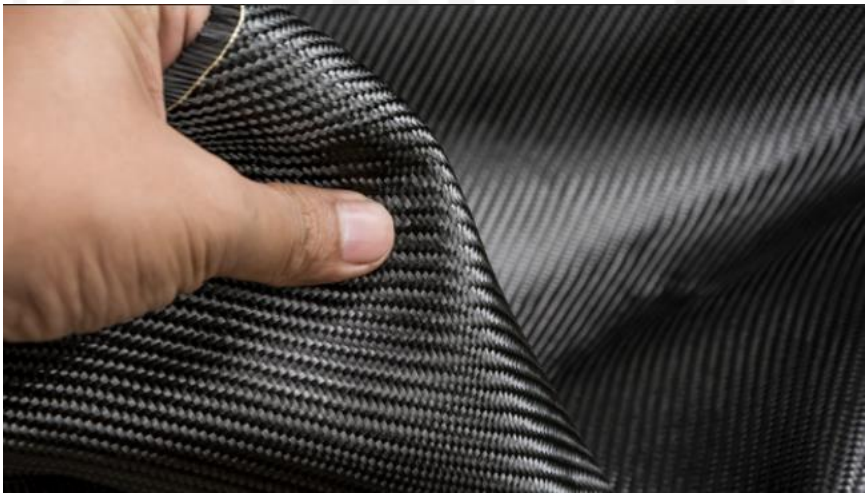
Filament Nylon yang digunakan pada penelitian ini yaitu sunlu dengan tebal filament 1.75 mm dengan suhu nozzle 265 ºC, speed 43% dengan suhu bed 95 ºC. Filament yang digunakan pada penelitian ini memiliki sifat mekanik seperti *tensile strength* 52,45 MPa, *elongation at break* 175,32 %, *flexural strength* 58 MPa, dan *flexural modulus* 1370 MPa.



Gambar 3- 15 *Filament Nylon*

16. Serat Karbon

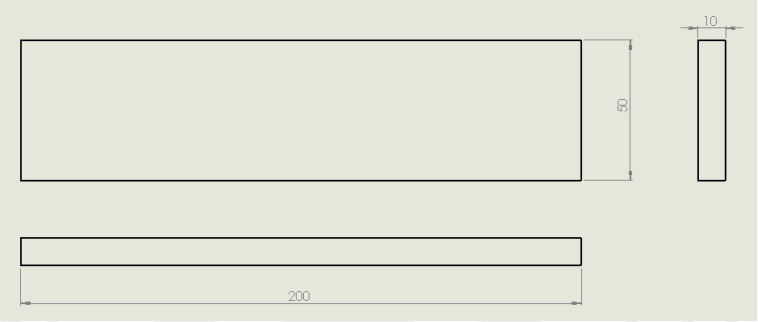
Serat karbon yang digunakan pada penelitian ini menggunakan serat karbon kevlar fiber fabric 3k 2x2 200gsm plain & twill. Serat fiber yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada gambar 3- 16.



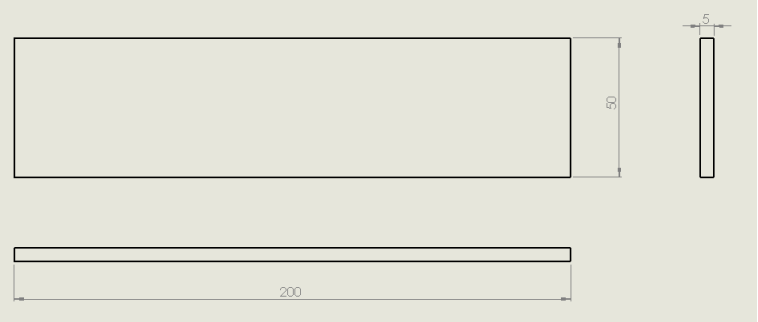
Gambar 3- 16 Serat Karbon

3.3 Dimensi Spesimen *Bending*

Spesimen komposit *sandwich* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan standar ASTM C393, dengan bahan *core* ABS dan Nylon serta *infill* 20% dengan *fill pattern honeycomb.*



Gambar 3- 17 Dimensi spesimen uji *bending core* 10mm



Gambar 3- 18 Dimensi spesimen uji *bending core* 5mm

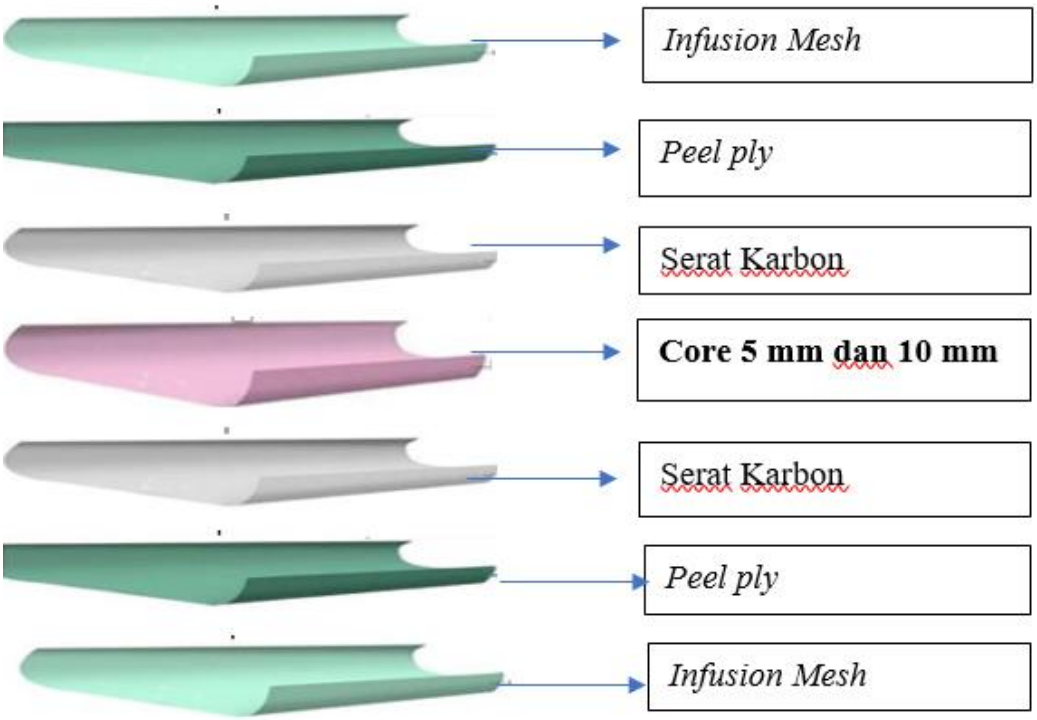
Pada gambar 3- 17 dan 3- 18 menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM C393. Pada penelitian ini dibuat ini *core* dibuat dari dua bahan yang berbeda yaitu ABS dan Nylon dengan rincian antara lain *core* ABS dengan ketebalan 5mm dan 10mm dan *core* nylon dengan ketebalan 5mm dan 10mm, serta desain 3D print tanpa dilapisi komposit sebagai nilai pembanding sebelum dilakukan *vacuum insufion* dan sesudah *vacuum infusion.*

Tabel 3- 1 Hasil Perhitungan Dimensi Awal Spesimen sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*

Kode Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (g)	Material *core*	Material *skin*
A5_1	50	4,8	19,45	ABS	Serat Karbon
A5_2	50,02	4,7	19,46	ABS	
A5_3	50,02	4,99	19,46	ABS	
A10_1	50	9,95	30,45	ABS	
A10_2	49,9	9,92	30,45	ABS	
A10_3	49,6	9,92	30,46	ABS	
N5_1	50,5	5,47	29,75	Nylon	
N5_2	50	5,45	29,74	Nylon	
N5_3	50,4	5,45	29,74	Nylon	
N10_1	50,6	10,57	47,57	Nylon	
N10_2	50,6	10,55	47,57	Nylon	
N10_3	50,65	10,55	47,58	Nylon	
A5_0	50,04	4,99	19,46	ABS	Tanpa Skin
A10_0	49,82	9,91	30,47	ABS	
N5_0	29,74	50,54	5,47	Nylon	
N10_0	47,59	50,68	10,57	Nylon	

Pada tabel 3- 1 diatas menunjukkan perhitungan dimensi awal spesimen sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*. Dapat dilihat pada sepsimen A5_1 memiliki lebar 50 mm, tebal 4,8 mm dan berat 19,45 gr sebelum spesimen dilakukan proses komposit *sandwich.* Pada tiap variasi ketebalan dan jenis *core* dibuat sebanyak 3 spesimen, maka jumlah spesimen yang akan dibuat adalah 16 spesimen.

3.4 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

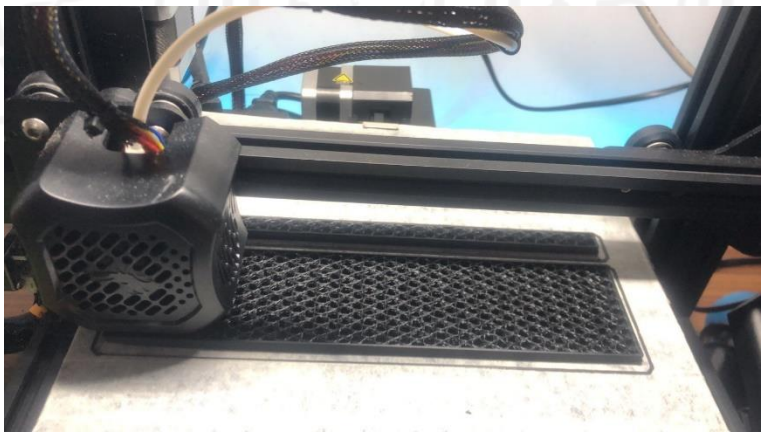


Gambar 3- 19 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

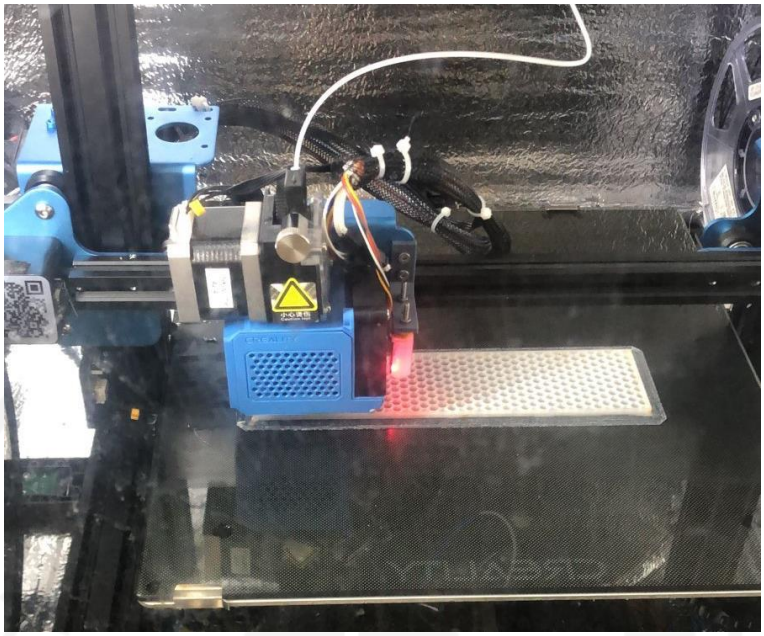
Pada gambar 3- 19 diatas menunjukkan susunan lapisan komposit *sandwich* dengan ketebalan *core* 5mm dan 10mm dimana lapisan serat karbon sebanyak 1 lapis dan selanjutnya akan dilakukan proses *vacuum infusion.*

3.5 Proses Pengerjaan

3.5.1 Pembuatan *Core* Dengan Mesin 3D *Printing*



Gambar 3- 20 Proses Pembuatan *Core* ABS



Gambar 3- 21 Proses Pembuatan *Core* Nylon

Pada gambar ini menunjukkan proses pembuatan *core* yang dimensinya mengikuti standar ASTM C393 dengan menggunakan mesin 3D *printing*.

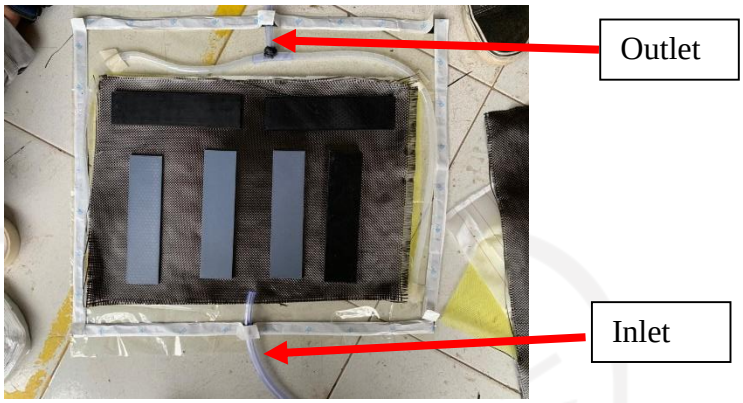
Tabel 3- 2 Parameter Proses Pembuatan *Core*

Kode	Infill (%)	Suhu bed (ºC)	Suhu nozzle (ºC)	Speed (%)
ABS	20	95	265	43
Nylon	20	70	235	60

Pada tabel 3- 2 diatas menunjukkan parameter proses pengeprintan Spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), dengan infill 20%, layer thickness 0,2 mm, suhu bed 95 ºC, suhu nozzle 265 ºC, speed 43% dan bahan Nylon dengan infill 20%, layer thickness 0,2 mm, suhu bed 70 ºC, suhu *nozzle* 235 ºC, *speed* 60%, dengan menggunakan *Honeycomb* sebagai *fill patternnya*.

3.5.2 Proses *Vacuum Infusion*

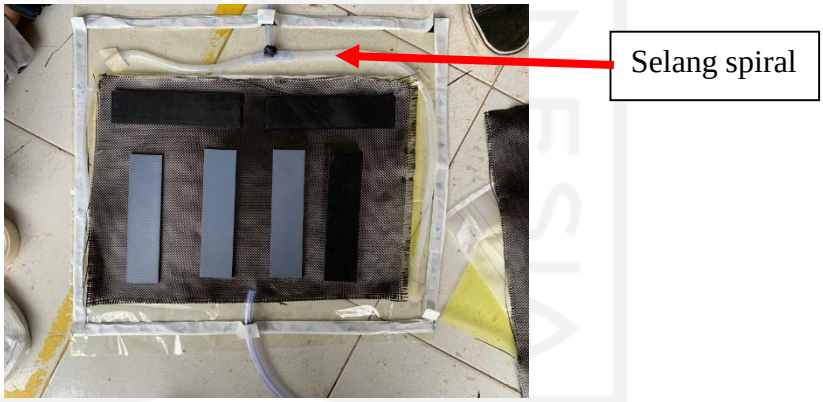
1. Menyusun serat karbon, *infusion mesh*, *butyl tape*, dan *peel ply*



Gambar 3- 22 Susunan Komposit *Sandwich*

Pada gabar 3- 22 diatas menunjukkan susunan komposit *sandwich* sesuai dengan 3- 19 dengan menggunakan satu lapisan serat karbon dibagian atas dan bawah.

2. Pemasangan selang spiral



Gambar 3- 23 Pemasangan Selang Spiral

Pemasangan selang spiral berbentuk huruf U bertujuan agar saat proses pemvakuman resin dapat menyebar ke semua media yang akan dilapisi komposit *sandwich.*

3. Pelapisan dextone



Gambar 3- 24 Pelapisan Dextone

Proses ini dilakukan sebelum memasukkan semua bahan kedalam *vacuum bag* yang bertujuan agar *core* dengan serat karbon menempel lebih kuat. Takaran dari dextone yang digunakan pada penelitian ini yaitu 12:0,1 dimana 12 gram epoksi dextone dan 0,1 gram *hardener* dextone.

4. Menyusun Bahan Kedalam Plastik *Vacuum*



Gambar 3- 25 Memasukkan Bahan Kedalam *Vacuum Bag*

Pada proses ini menyusun seluruh bahan yang digunakan untuk proses pemvakuman kedalam plastic *vacuum* sesuai urutan pada gambar 3-17.

5. Proses Pencampuran Epoksi dan *Hardener*



Gambar 3- 26 Pencampuran Epoksi dan Hardener

Pada gambar 3- 26 menunjukkan proses mencampurkan epoksi dengan *hardener* dengan perbandingan 100:30.

6. Proses *Vacuum Infusion*



Gambar 3- 27 Proses *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3- 27 dapat dilihat bahwa proses *vacuum infusion* menggunakan satu inlet dan satu outlet.

3.5.3 Hasil Setelah *Vacuum Infusion*



Gambar 3- 28 Hasil *Core* ABS Setelah *Vacuum Infusion*



Gambar 3- 29 Hasil *Core* Nylon Setelah *Vacuum Infusion*

Pada gambar 3- 28 dan 3- 29 menunjukkan gambar spesimen uji yang telah dilakukan proses *vacuum infusion* dan telah dilakukan proses pemotongan pada tiap spesimen. Pada gambar 3- 26 dengan kode A5.1 memiliki pengertian *core* ABS dengan tebal 5 mm. Kode A10. 1 memiliki pengertian *core* ABS dengan tebal 10 mm. Pada gambar 3- 27 dengan kode N5.1 memiliki pengertian *core* nylon dengan tebal 5 mm. Kode N10. 1 memiliki pengertian *core* nylon dengan tebal 10 mm.

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Bending*

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah pengujian *bending*, dimana tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mencari nilai kekakuan dari spesimen. Pengujian *bending* ini mengacu pada standar ASTM C393 yang dilakukan di Lab Bahan Teknik UGM. Pada gambar 4- 1 menunjukkan proses pengujian *three point bending*.



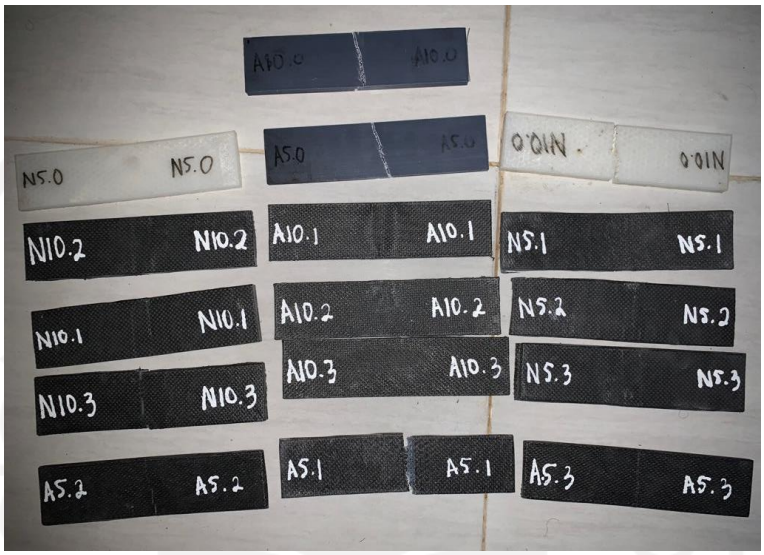
Gambar 4- 1 Proses Pengujian *Three Point Bending*

Adapun langkah-langkah pada ada proses pengujian *three point bending* yaitu:

1. Pastikan spesimen yang sudah dirapikan dan sesuai dengan standar ASTM C393 dikumpulkan menurut variasi nya masing-masing.
2. Letakkan spesimen uji yang sudah dibuat pada alat uji *bending* dengan jarak antar titik tumpuan 170 mm dengan panjang spesimen 200mm.
3. Mesin uji *bending* akan memberikan beban maksimal secara perlahan hingga spesimen patah.
4. Hasil pengujian akan otomatis tercatat pada kertas yang tersedia di panel mesin uji.

4.2 Hasil Pengujian *Bending*

Dari proses pengujian *three point bending* pada spesimen uji yang dilakukan pada Laboratorium Bahan Teknik UGM mendapatkan hasil seperti pada gambar 4- 2 dibawah ini.



Gambar 4- 2 Hasil Pengujian *Bending*

Pada gambar 4- 2 diatas menunjukkan spesimen setelah dilakukan pengujian *bending*. Jika dilihat pada masing-masing spesimen yang telah dilakukan pengujian, terjadi beberapa modus kegagalan yang berbeda.

Tabel 4- 1 Data Hasil Pengujian *Bending*

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	A5_0	4,99	50,04	0,08	23,67	16,37
2	A5_1	5,60	52,10	0,55	22,27	85,84
3	A5_2	5,50	52,50	0,65	10,20	104,37
4	A5_3	5,60	50,60	0,59	14,11	94,81
5	A10_0	9,91	49,82	0,25	12,83	13,03
6	A10_1	10,80	51,10	0,88	10,67	37,65
7	A10_2	11,08	50,40	1,40	7,31	57,70
8	A10_3	10,40	52,88	1,47	8,88	65,54
9	N5_0	5,47	50,54	0,19	47,72	32,04
10	N5_1	6,70	53,30	0,86	16,86	91,66
11	N5_2	5,70	55,10	0,46	21,36	65,52
12	N5_3	5,80	53,20	0,44	22,21	62,69
13	N10_0	10,57	50,68	0,57	14,56	25,67
14	N10_1	11,10	57,16	1,12	11,41	40,55
15	N10_2	11,10	56,20	1,19	15,97	43,82
16	N10_3	10,50	56,10	1,24	12,58	51,12

Pada tabel 4-1 menunjukkan data yang didapat setelah melakukan pengujian *bending*. Dapat dilihat bahwa beban maksimal tertinggi yang diterima oleh spesimen pada kode A10_3 yaitu 1,47 kN, untuk defleksi maksimal tertinggi pada spesimen dengan kode N5_0 yaitu 47,72 mm, dan tegangan *bending* tertinggi pada spesimen dengan kode A5_2 sebesar 104,37 Mpa.

Tabel 4- 2 Perbandingan Berat, Lebar, dan Tebal setelah *Vacuum*

No	Kode Spesimen	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Lebar Awal (mm)	Lebar Akhir (mm)	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)
1	A5_1	19,45	49,1	50	52,1	4,8	5,6
2	A5_2	19,46	42,52	50,02	52,5	4,7	5,5
3	A5_3	19,46	39,91	50,02	50,6	4,99	5,6
4	A10_1	30,45	48,88	50	51,1	9,95	10,8
5	A10_2	30,45	87,99	49,9	50,4	9,92	11,08
6	A10_3	30,46	82,03	49,6	52,88	9,92	10,4
7	N5_1	29,75	59,6	50,5	53,3	5,47	6,7
8	N5_2	29,74	45,8	50	55,1	5,45	5,7
9	N5_3	29,74	44,36	50,4	53,2	5,45	5,8
10	N10_1	47,57	59,91	50,6	57,16	10,57	11,1
11	N10_2	47,57	63,29	50,6	56,2	10,55	11,1
12	N10_3	47,58	59,59	50,65	56,1	10,55	10,5

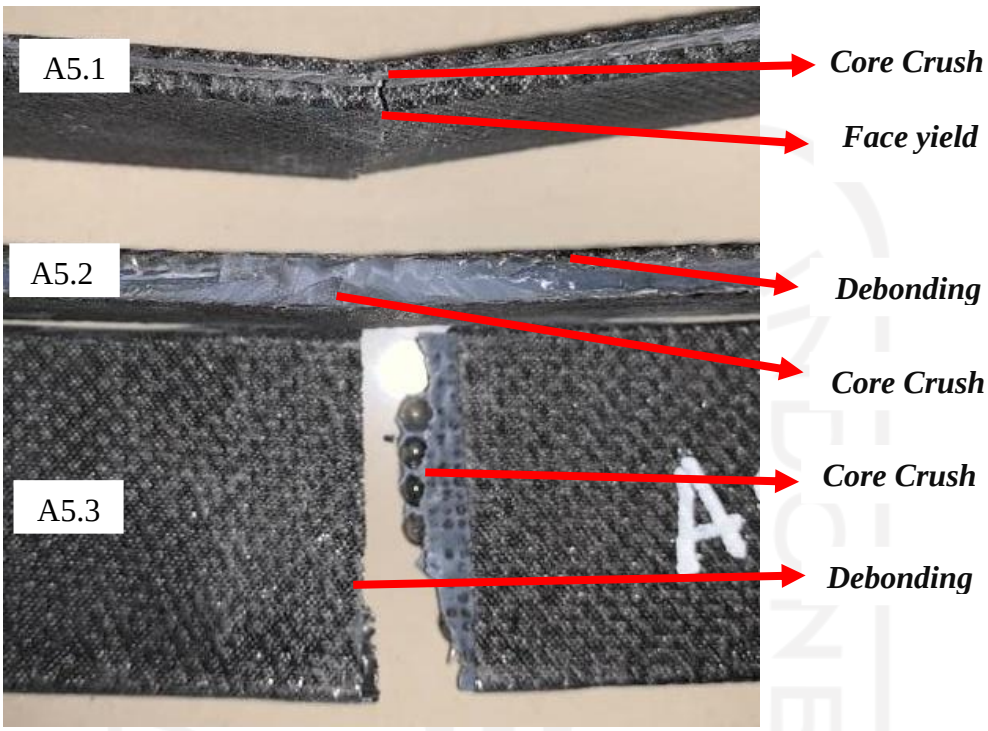
Pada tabel 4-2 diatas dapat dilihat perubahan dimensi dan juga berat dari spesimen sebelum dan sesudah dilapisi oleh komposit *sandwich* dengan metode *vacuum infusion*. Terlihat pada tabel 4- 2 diatas pada kode spesimen A5_1 berat awal sebelum *vacuum infusion* sebesar 19,45 gr dan setelah dilakukan proses *vacuum infusion* menjadi 49,1 gr. Terlihat juga pada tabel 4- 2 beberapa spesimen mengalami kenaikan berat yang sangat signifikan seperti pada spesimen A10_2 dimana berat awal sebesar 30,45 gr dan berat akhir setelah dilakukan *vacuum infusion* sebesar 87,99 gr. Hal ini disebabkan oleh masuknya epoksi kedalam rongga *infiil core* pada saat proses *vacuum infusion* yang menyebabkan kenaikan berat yang sangat signifikan dari berat awal dan juga membuat spesimen menjadi getas.

4.3 Analisis dan Perhitungan

Kegagalan komposit sandwich adalah kerusakan yang terjadi pada komposit *sandwich* pada saat dikenai beban yang melampaui kekuatannya. Berdasarkan hasil pengujian dari 16 spesimen komposit sandwich yang diuji, umumnya spesimen mengalami kegagalan *face yield* dimana kegagalan ini terjadi

pada *skin* komposit *sandwich* yang relatif tipis terhadap tebal *core.* Kegagalan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan *bending* secara drastis.

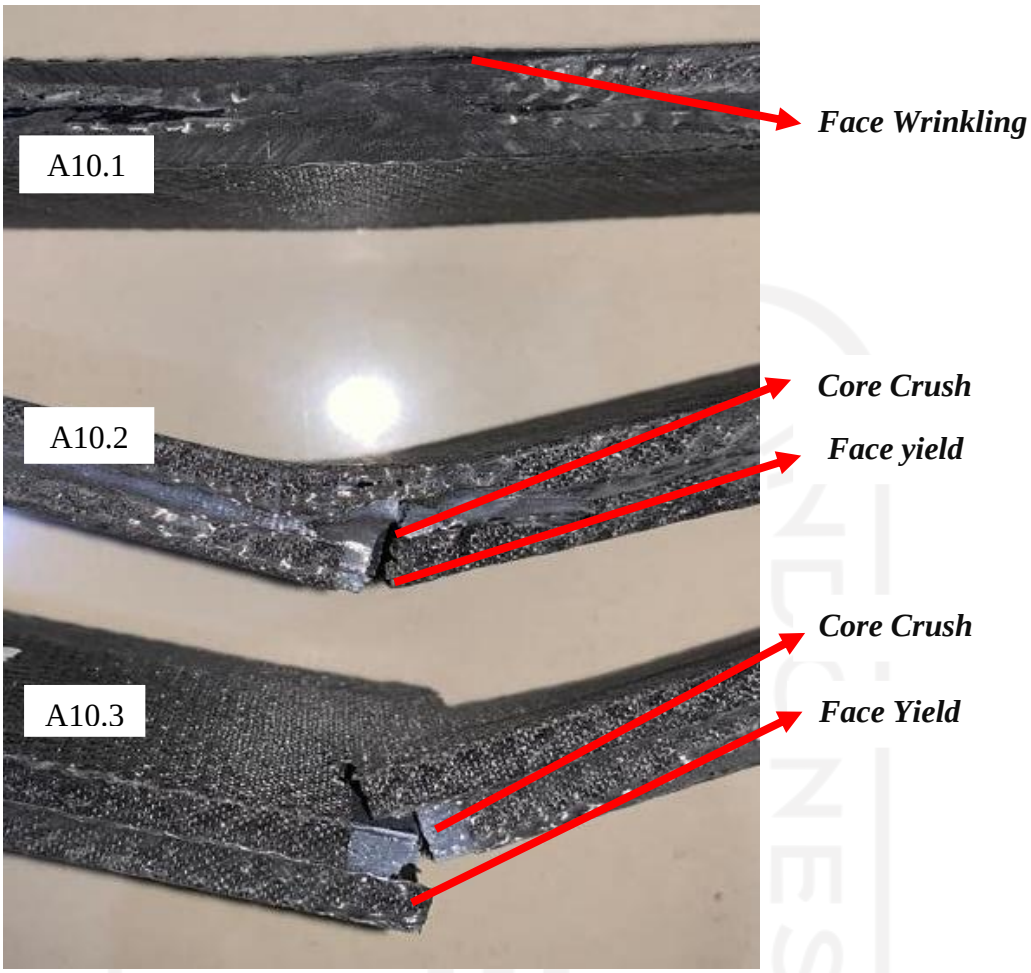
4.3.1 Analisis Modus Kegagalan *Core* ABS 5 mm



Gambar 4- 3 Spesimen Komposit *Sandwich* ABS 5 mm

Pada gambar 4- 3 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* ABS 5 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen A5.1 mengalami kegagalan *core crush* yang diikuti dengan kegagalan *face yield.* Pada kegagalan spesimen A5.1 mengalami kegagalan *face yield* dimana kegagalan ini terjadi pada *skin* komposit *sandwich* yang relatif tipis terhadap tebal *core.* Kegagalan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan *bending* secara drastis. Pada spesimen A5.2 mengalami kegagalan *debonding* yang diikuti dengan kegagalan *core crush* dimana pada *core* terjadi retakan tetapi tidak sampai patah. Sedangkan spesimen A5.3 mengalami kegagalan *core crush* yang diikuti dengan kegagalan *debonding.* Pada spesimen A5.3 *core* terbelah menjadi dua bagian hal ini dikarenakan epoksi yang masuk pada saat proses *vacuum infusion* menyebabkan spesimen menjadi getas dan patah.

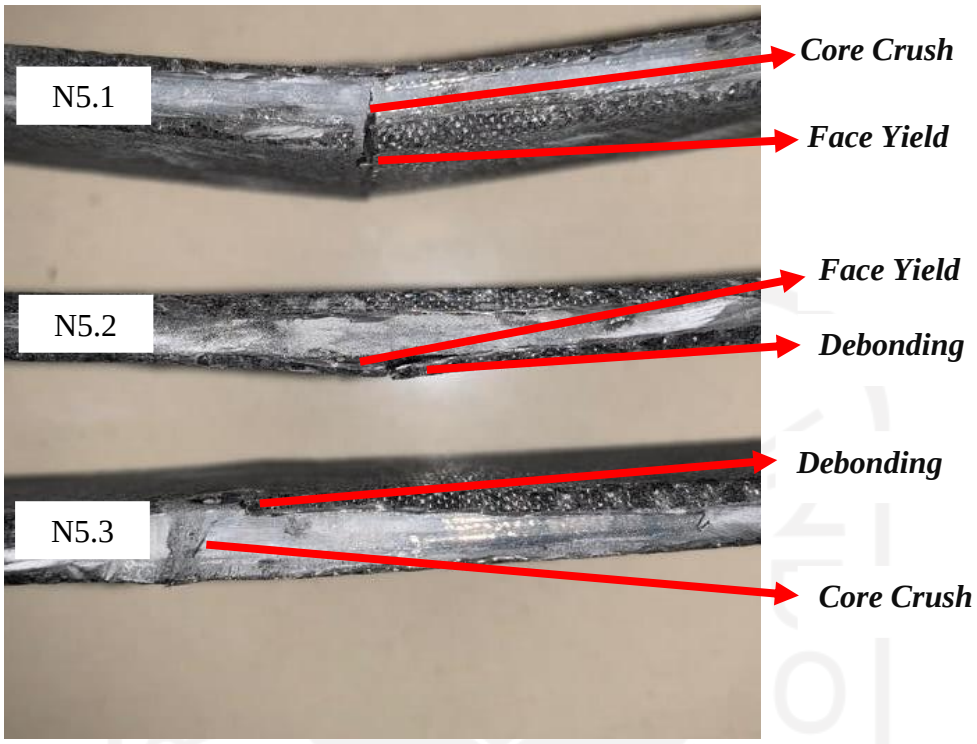
4.3.2 Analisis Modus Kegagalan *Core* ABS 10 mm



Gambar 4- 4 Spesimen Komposit *Sandwich* ABS 10 mm

Pada gambar 4- 4 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* ABS 10 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen A10.1 mengalami kegagalan *face wrinkling* dimana 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. Pada spesimen A10.2 mengalami kegagalan *core crush* yang diikuti dengan kegagalan *face yield* dimana *core* sudah patah tetapi tidak sampai terbelah dan skin bagian bawah yang sudah putus menyebebakan penurunan kekuakatan *bending*. Sedangkan spesimen A10.3 mengalami kegagalan *core crush* yang diikuti dengan kegagalan *face yield.* Pada spesimen A10.2 dan 10.3 terdapat epoksi yang masuk hal ini dapat menyebabkan *core* menjadi getas.

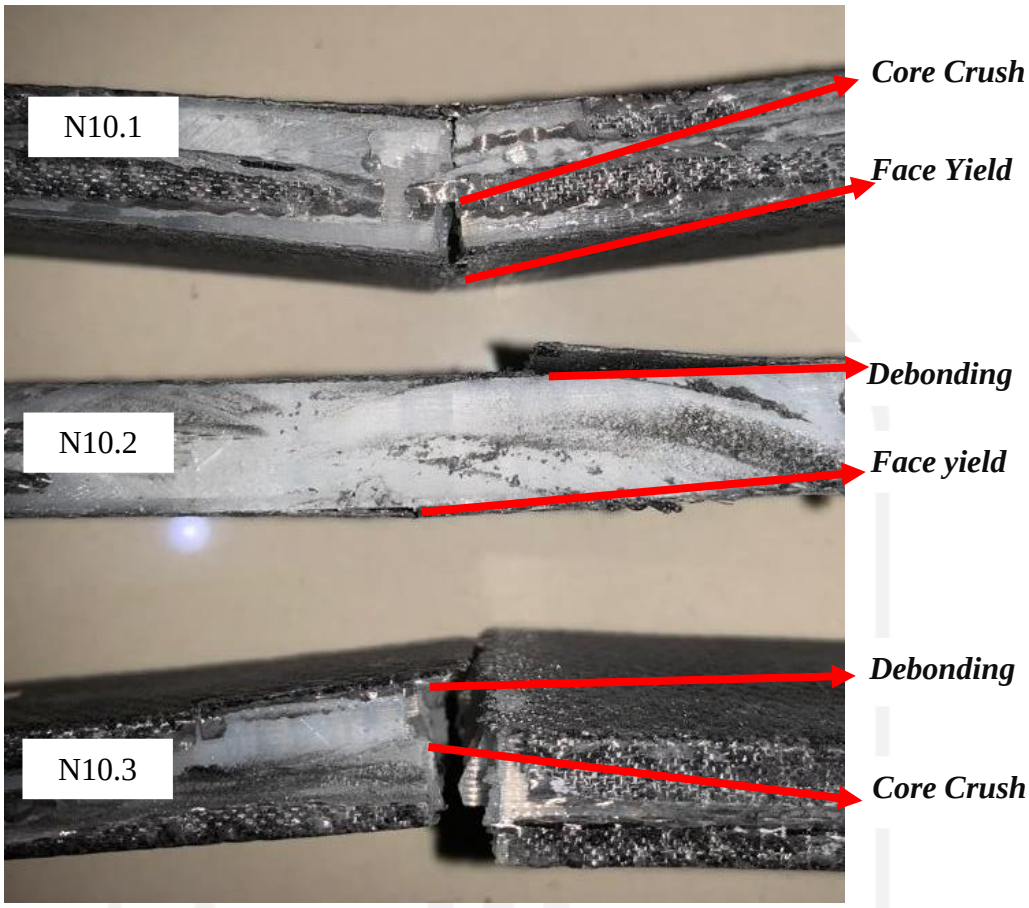
4.3.3 Analisis Modus Kegagalan *Core* Nylon 5 mm



Gambar 4- 5 Spesimen Komposit *Sandwich* Nylon 5 mm

Pada gambar 4- 5 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* nylon 5 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen N5.1 mengalami kegagalan *core crush* yang diikuti kegagalan *face yield.* Pada spesimen N5.1 *core* mengalami patah tetapi tidak sampai terbelah menjadi dua bagian dan *skin* bagian bawah mengalami kegagalan *face yield* dimana *skin* bagian bawah mengalami gagal akibat tegangan tarik sehingga menjadi putus. Pada spesimen N5.2 mengalami kegagalan *face yield* dimana *skin* bagian bawah putus akibat tidak mampu menahan beban tarik kemudian diikuti dengan kegagalan *debonding* dimana ikatan antar *skin* dan *core* yang tidak terlalu kuat. Sedangkan spesimen N5.3 mengalami kegagalan *core crush* yang diikuti dengan kegagalan *debonding*.

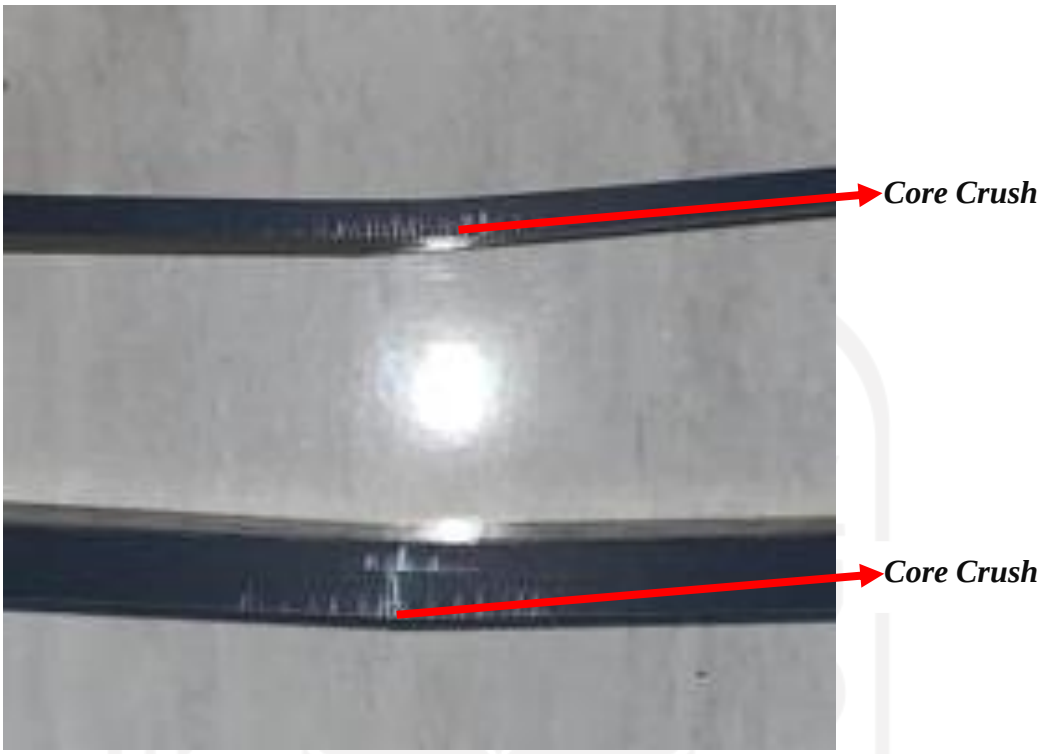
4.3.4 Analisis Modus Kegagalan *Core* Nylon 10 mm



Gambar 4- 6 Spesimen Komposit *Sandwich* Nylon 10 mm

Pada gambar 4- 6 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen komposit *sandwich* dengan *core* nylon 10 mm mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen N10.1 mengalami kegagalan *core crush* dimana *core* patah dan hampir terbelah menjadi dua bagian kemudian diikuti kegagalan *face yield* pada *skin* bawah yang putus. Pada spesimen N10.2 mengalami kegagalan *debonding* pada *skin* atas yang sedikit terlepas dari *core* karena ikatan antara *core* dan *skin* tidak kuat kemudian diikuti dengan kegagalan *face yield* pada skin bawah yang putus. Sedangkan spesimen N10.3 mengalami kegagalan *debonding* yang diikuti dengan kegagalan *core crush* dimana *core* terbelah menjadi dua bagian. Hal ini disebabkan karena *core* bersifat getas akibat epoksi yang masuk kedalam *infill core*

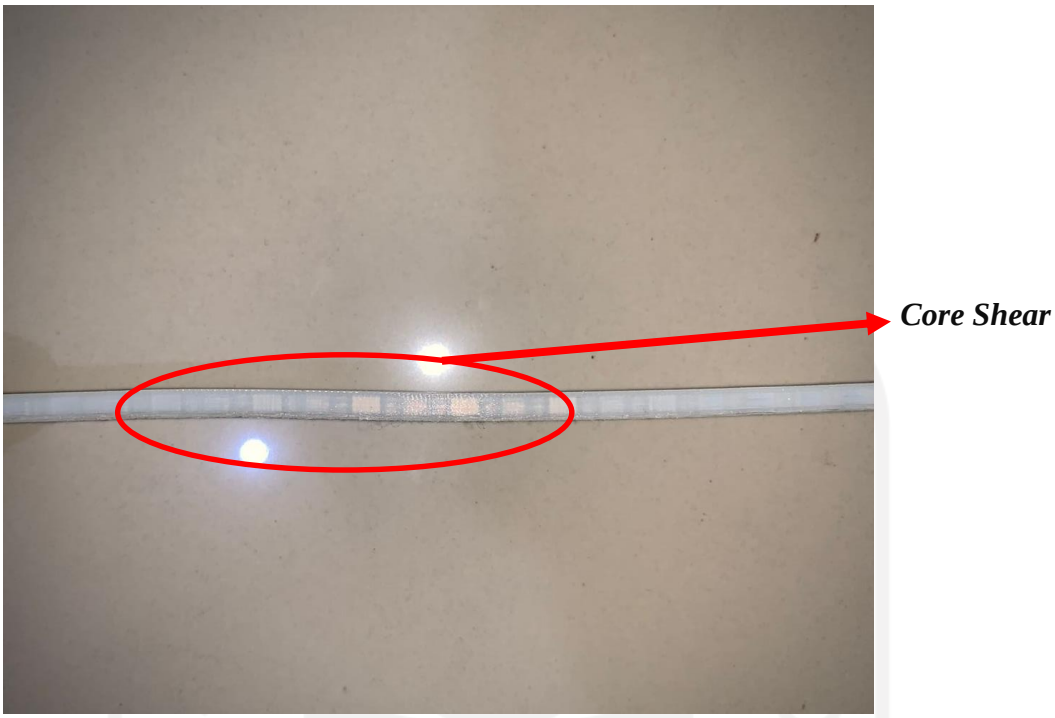
4.3.5 Analisis Modus Kegagalan *Core* ABS Tanpa *Skin*



Gambar 4- 7 Spesimen Core ABS Tanpa *Skin*

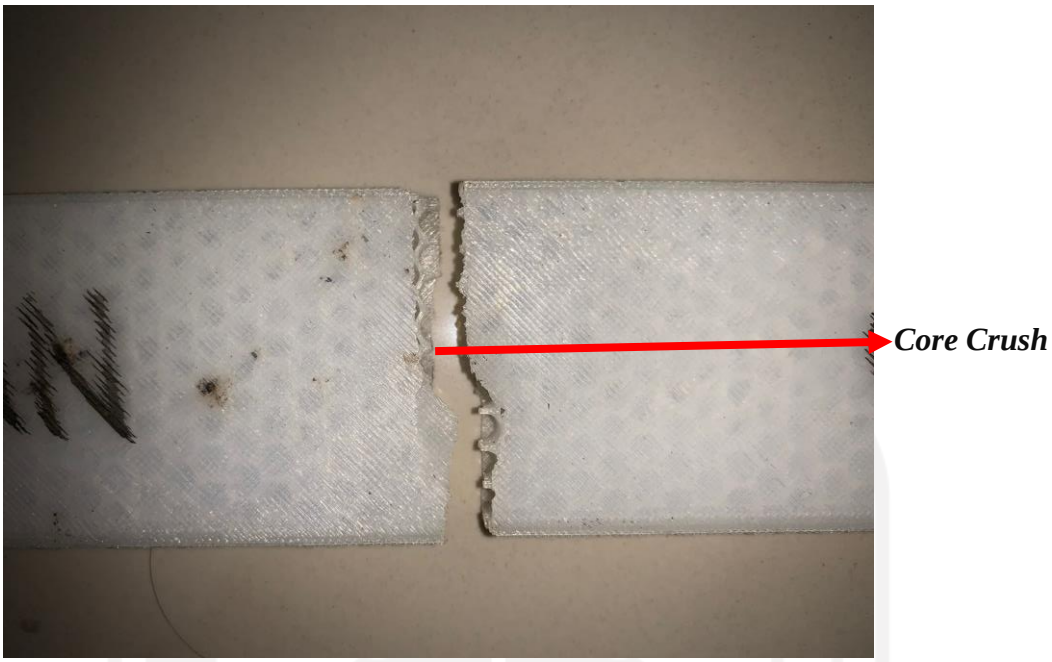
Pada gambar 4- 7 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen *core* ABS tanpa komposit mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen core 5 mm mengalami kegagalan *core crush.* Pada spesimen *core* 10 mm mengalami kegagalan *core crush.* Kegagalan *core crush* diakibatkan oleh *core* yang tidak mampu menahan beban yang diberikan sehingga *core* menjadi patah.

4.3.6 Analisis Modus Kegagalan *Core* Nylon Tanpa *Skin*



Gambar 4- 8 Spesimen *Core* Nylon 5 mm Tanpa Skin

Pada gambar 4- 8 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen *core* Nylon tanpa komposit mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen core 5 mm mengalami kegagalan *core shear*. Pada kegagalan ini *core* tidak mengalami patah tetapi mengalami perubahan bentuk yang bisa dilihat pada gambar 4- 8 diatas.



Gambar 4- 9 Spesimen *Core* Nylon 10 mm Tanpa Skin

Pada gambar 4- 9 dapat dilihat modus kegagalan dari spesimen *core* Nylon tanpa komposit mengalami kegagalan akibat beban *bending*. Pada spesimen core 10 mm mengalami kegagalan *core crush.* Pada kegagalan ini *core* patah dan terbelah menjadi dua bagian diakibatkan core tidak mampu menahan beban yang diberikan sehingga spesimen sampai patah.

4.4 Perhitungan

Dari data yang didapat melalui pengujian *bending*, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai luas penampang, momen inersia, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik dari tiap kode spesimen dengan menggunakan rumus pada bab 2.

Tabel 4- 3 Hasil Perhitungan Luas Penampang Dan Momen Inersia Spesimen

Kode	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Asandwich (mm^2)	Isandwich (mm^4)
A5	5,55	51,55	111,58	555,90
A10	10,80	51,10	129,84	2652,85
N5	5,75	54,15	122,28	568,70
N10	10,80	56,63	170,42	2.367,94
A5_0	4,99	50,04	67,82	307,34
A10_0	9,91	49,82	73,80	1.423,11
N5_0	5,47	50,54	85,06	445,61
N10_0	10,57	50,68	93,33	1.996,32

Dari tabel 4- 3 diatas dapat dilihat bahwa luas penampang spesimen komposit *sandwich* tertinggi berada pada spesimen dengan kode N10 yaitu 170,42 mm^2. Untuk momen inersia tertinggi berada pada spesimen A10 yaitu 2652,85 mm^4. Sedangkan untuk luas penampang spesimen tanpa komposit *sandwich* tertinggi berada pada spesimen N10_0 yaitu 1.996,32 mm^2.

Tabel 4- 4 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dan Kekakuan *Bending* Spesimen

Kode	Beban *Bending* (N)	Tegangan *Bending* (MPa)	Modulus Elastisitas *Bending* (MPa)	Kekakuan *Bending* (Nmm^2)	Kekakuan *Bending* Spesifik (Nmm^2/gr)
A5	620,00	99,57	9.391,66	5.220.862,47	119.079,96
A10	880,00	37,65	3.182,08	8.441.580,76	172.700,10
N5	450,00	64,09	3.717,72	2.114.270,14	46.900,40
N10	1180,00	45,55	4.252,23	10.069.021,81	168.519,19
A5_0	80,00	16,37	1.125,59	345.937,19	17.776,83
A10_0	250,00	13,03	1.401,46	1.994.430,37	65.455,54
N5_0	190,00	32,04	914,53	407.529,16	13.703,07
N10_0	570,00	25,67	2.007,19	4.006.996,91	84.198,30

Dari tabel 4- 4 menunjukkan hasil perhitungan beban *bending*, tegangan *bending*, modulus elastisitas, kekakuan *bending*, dan kekakuan *bending* spesifik dari spesimen yang telah dilakukan pengujian *three point bending.* Dapat dilihat bahwa spesimen komposit *sandwich* dengan kekakuan *bending* tertinggi berada pada spesimen dengan kode N10 yaitu 10.069.021,81 Nmm^2. Sedangkan untuk spesimen tanpa komposit *sandwich* dengan kekakuan *bending* tertinggi berada pada spesimen dengan kode N10_0 yaitu 4.006.996,91 Nmm^2.

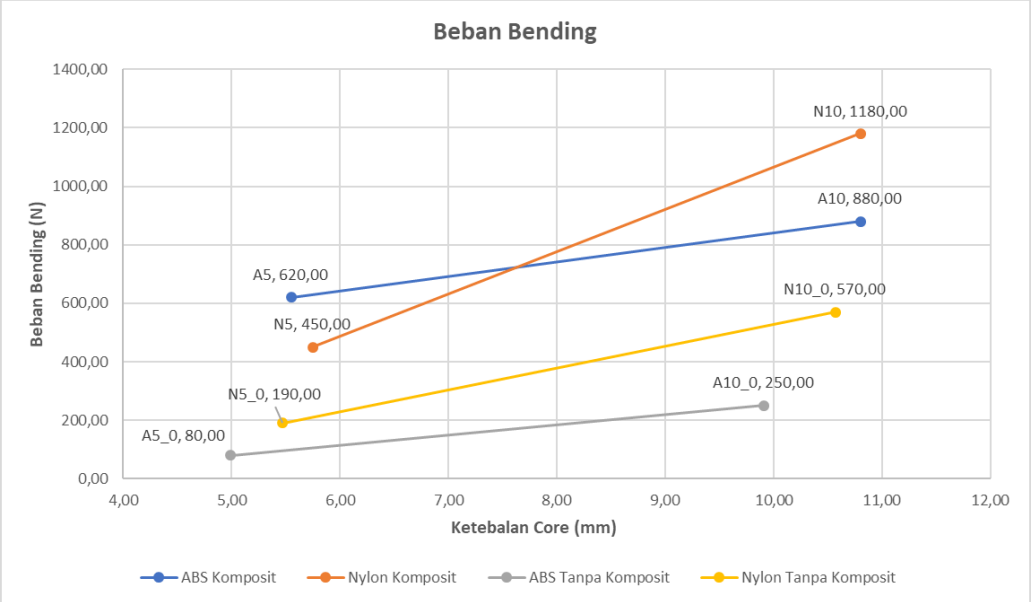
4.5 Pembahasan

4.5.1 Beban *Bending*

Tabel 4- 5 Perbandingan Beban *Bending* Maksimal Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit

Kode	Beban *Bending* (N)		Selisih (N)	Keterangan
	Dengan *skin*	Tanpa *skin*		
A5	620	80	540	Dengan *skin* naik 7,75 x
A10	880	250	630	Dengan *skin* naik 3,52 x
N5	450	190	260	Dengan *skin* naik 2,37 x
N10	1180	570	610	Dengan *skin* naik 2,07 x

Pada tabel 4- 5 menunjukkan bahwa spesimen yang dilapisi komposit *sandwich* dengan metode *vacuum infusion* mengalami kenaikan beban maksimal pada saat pengujian *bending*.



Gambar 4- 10 Grafik Beban *Bending*

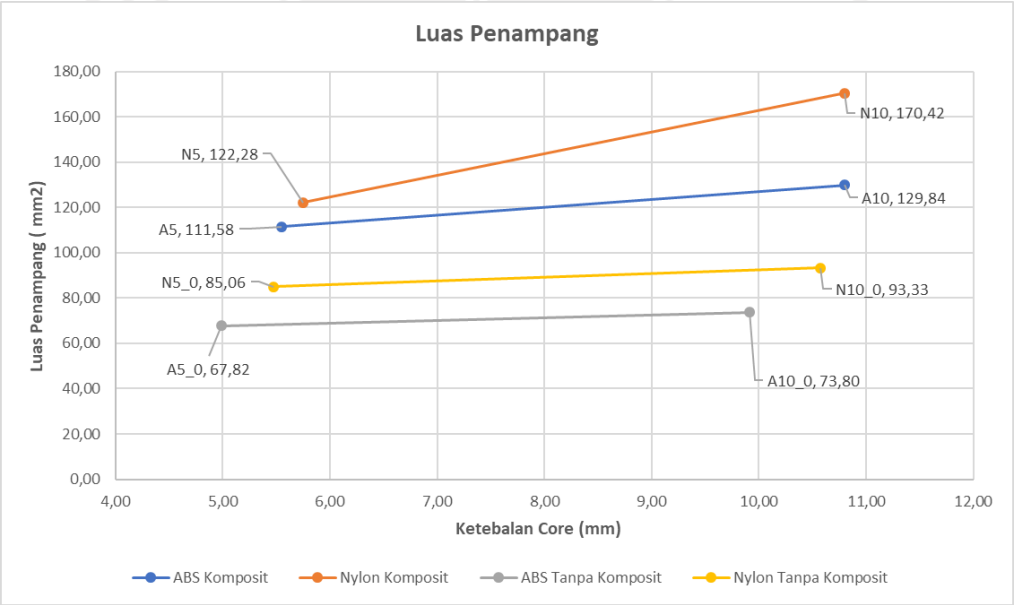
Pada gambar 4- 10 menunjukkan beban *bending* yang diberikan kepada spesimen, dengan nilai tertinggi pada spesimen dengan kode N10 yaitu 1180 N. Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi pada N10 yaitu 570 N.

4.5.2 Luas Penampang

Tabel 4- 6 Perbandingan Luas Penampang Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit dan Tanpa Lapisan Komposit

Kode	Luas Penampang (mm^2)		Selisih (mm^2)	Keterangan
	Dengan *skin*	Tanpa *skin*		
A5	111,58	67,82	43,76	Dengan *skin* naik 1,65 x
A10	129,84	73,8	56,04	Dengan *skin* naik 1,76 x
N5	122,28	85,06	37,22	Dengan *skin* naik 1,44 x
N10	170,42	93,33	77,09	Dengan *skin* naik 1,83 x

Pada tabel 4- 6 menunjukkan bahwa spesimen yang dilapisi dengan komposit *sandwich* memiliki luas penampang yang lebih besar karena adanya lapisan *skin*.



Gambar 4- 11 Grafik Perbandingan Luas Penampang

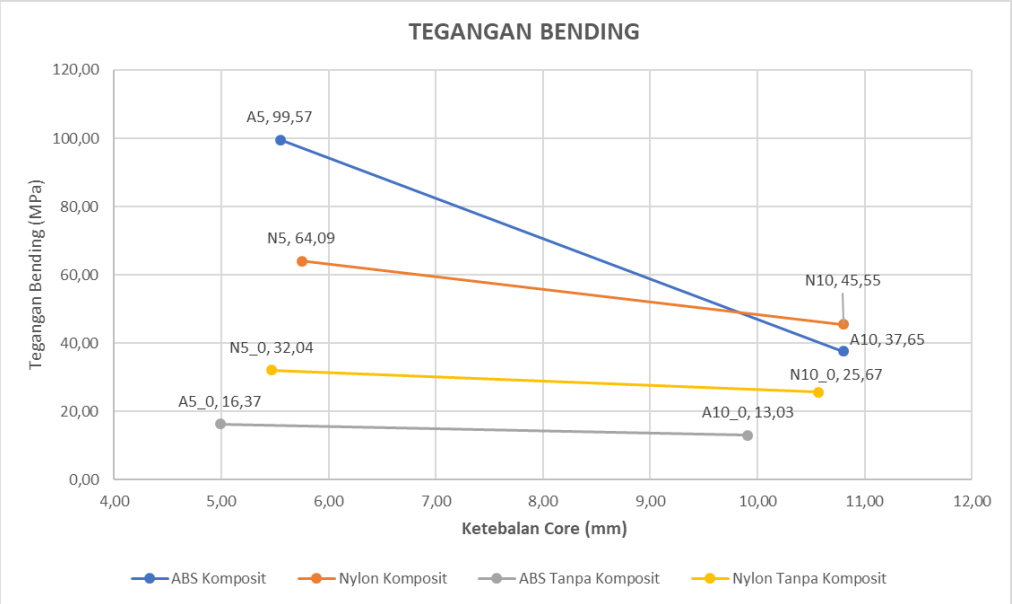
Pada gambar 4- 11 menunjukkan grafik luas penampang, dimana semakin tebal core membuat nilai luas penampangnya juga bertambah naik.

4.5.3 Tegangan *Bending*

Tabel 4- 7 Perbandingan Beban *Bending* Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit

Kode	Tegangan *Bending* (MPa)		Selisih (MPa)	Keterangan
	Dengan *skin*	Tanpa *skin*		
A5	99,57	16,37	83,2	Dengan *skin* lebih unggul 6,08 x
A10	37,65	13,03	24,62	Dengan *skin* lebih unggul 2,89 x
N5	64,09	32,04	32,05	Dengan *skin* lebih unggul 2 x
N10	45,55	25,67	19,88	Dengan *skin* lebih unggul 1,77 x

Pada tabel 4- 7 menunjukkan bahwa tegangan *bending* pada spesimen yang ditambahkan lapisan komposit *sandwich* memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada spesimen tanpa lapisan komposit.



Gambar 4- 12 Grafik Perbandingan Tegangan *Bending*

Pada gambar 4- 12 dapat dilihat grafik perbandingan tegangan bending spesimen, dimana semakin tebal *core* tidak membuat nilai tegangan *bending*nya menjadi semakin tinggi. Nilai tegangan *bending* tertinggi berada pada spesimen

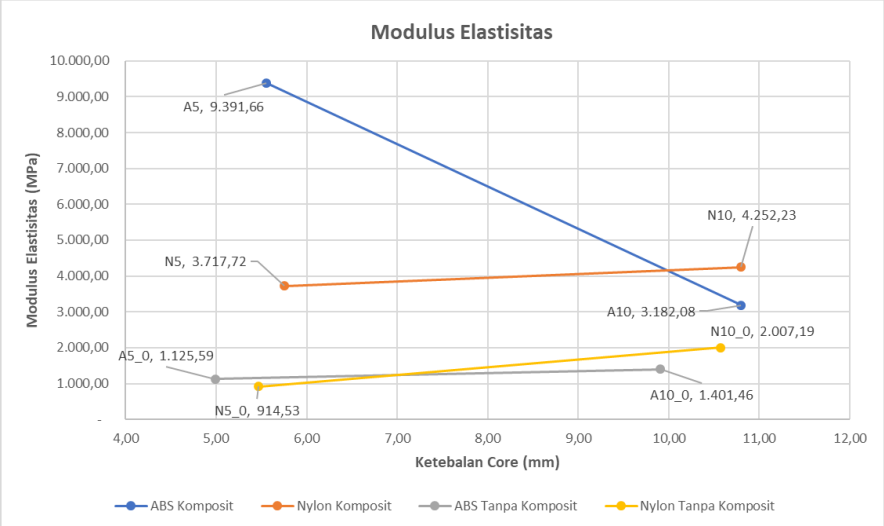
A5 yaitu 99,57 MPa. Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit nilai tertinggi berada pada N5 dengan nilai 32,04 MPa.

4.5.4 Modulus Elastisitas

Tabel 4- 8 Perbandingan Modulus Elastisitas Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit

Kode	Modulus Elastisitas (Mpa)		Selisih (Mpa)	Keterangan
	Dengan *skin*	Tanpa *skin*		
A5	9.391,66	1.125,59	8.266,07	Dengan *skin* unggul 8,34 x
A10	3.182,08	1.401,46	1.780,62	Dengan *skin* unggul 2,27 x
N5	3.717,72	914,53	2.803,19	Dengan *skin* unggul 4,07 x
N10	4.252,23	2.007,19	2.245,04	Dengan *skin* unggul 2,12 x

Pada tabel 4- 8 menunjukkan bahawa spesimen yang ditambahkan komposit *sandwich* memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi dibanding spesimen tanpa lapisan komposit *sandwich.*



Gambar 4- 13 Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Antara Spesimen Dengan Lapisan Komposit Dan Tanpa Lapisan Komposit

Pada Gambar 4- 13 menunjukkan grafik modulus elastisitas *bending*. Dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi untuk spesimen komposit

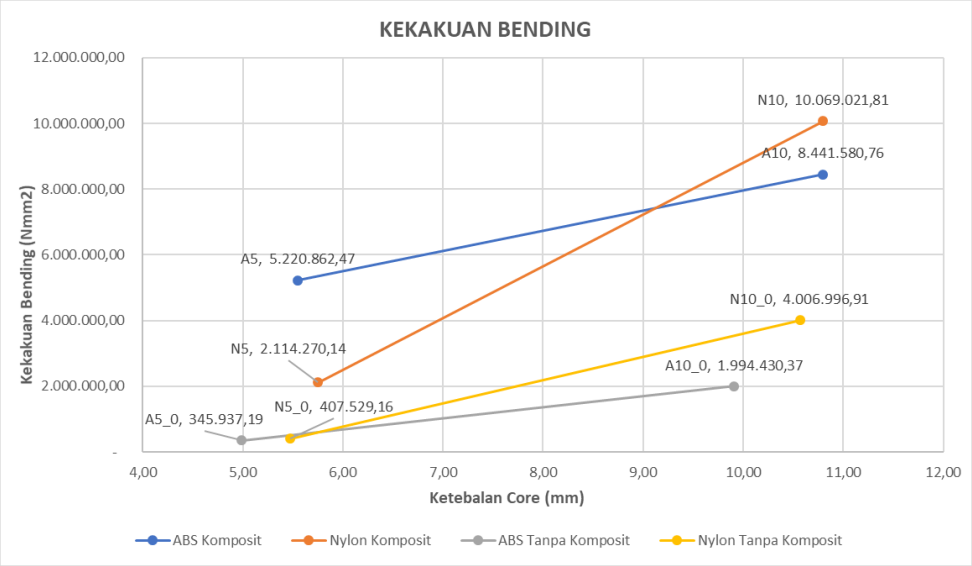
sandwich berada pada spesimen A5 dengan nilai 9.391,66 MPa. Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi pada N10 yang memiliki nilai 2.007,19 MPa.

4.5.5 Kekakuan *Bending* Dan Kekakuan *Bending* Spesifik

Tabel 4- 9 Perbandingan Kekakuan *Bending* antara spesimen dengan lapisan komposit dengan spesimen tanpa lapisan komposit

Kode	**Kekakuan *Bending* (Nmm^2)**		**Selisih (Nmm^2)**	**Keterangan**
	Dengan *skin*	**Tanpa *skin***		
A5	5.220.862,47	345.937,19	4.874.925,28	Dengan *skin* unggul 15,09 x
A10	8.441.580,76	1.994.430,37	6.447.150,39	Dengan *skin* unggul 4,23 x
N5	2.114.270,14	407.529,16	1.706.740,98	Dengan *skin* unggul 5,19 x
N10	10.069.021,81	4.006.996,91	6.062.024,90	Dengan *skin* unggul 2,51 x

Pada tabel 4- 9 menunjukkan bahwa spesimen yang ditambahkan lapisan komposit memiliki kekakuan *bending* yang tinggi dibandingkan dengan spesimen yang tidak dilapisi komposit *sandwich.*



Gambar 4- 14 Grafik kekakuan *bending*

Pada gambar 4- 14 menunjukkan grafik kekakuan *bending*, dimana semakin tebal *core* maka nilai kekakuan bendingnya menjadi tinggi. Pada gambar 4- 11 dapat dilihat kekakuan *bending* tertinggi berada pada spesimen N10 yaitu 10.069.021,81 Nmm^2. Sedangkan untuk spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi berada pada spesimen N10 yaitu 4.006.996,91 Nmm^2.

Tabel 4- 10 Perbandingan Kekakuan *Bending* Spesifik antara spesimen dengan lapisan komposit dengan spesimen tanpa lapisan komposit

Kode	**Kekakuan *Bending* Spesifik (Nmm^2/gr)**		**Selisih (Nmm^2/gr)**	**Keterangan**
	Dengan *skin*	**Tanpa *skin***		
A5	126.673,84	17.776,83	4.874.925,28	Dengan *skin* unggul 7,13 x
A10	172.700,10	65.455,54	6.447.150,39	Dengan *skin* unggul 2,64 x
N5	46.900,40	13.703,07	1.706.740,98	Dengan *skin* unggul 3,42 x
N10	168.519,19	84.198,30	6.062.024,90	Dengan *skin* unggul 2,00 x

Pada tabel 4- 10 menunjukkan bahwa spesimen yang ditambahkan lapisan komposit memiliki kekakuan *bending* spesifik yang tinggi dibandingkan dengan spesimen yang tidak dilapisi komposit *sandwich*



Gambar 4- 15 Grafik Kekakuan *Bending* Spesifik

Pada gambar 4- 15 menunjukkan grafik kekakuan *bending* spesifik dengan nilai tertinggi berada pada spesimen A10 dengan nilai 172.700,10 Nmm^2/gr. Sedangkan nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi spesimen tanpa lapisan komposit tertinggi berada pada N10_0 dengan nilai 84.198,20 Nmm^2/gr. Hal ini disebabkan oleh massa nylon yang lebih berat daripada ABS sehingga nilai kekakuan spesifik ABS lebih tinggi dibandingkan dengan Nylon.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Nilai rata-rata Kekakuan *Bending* tertinggi pada material *core* ABS + komposit didapatkan pada ketebalan *core* 10 mm dengan nilai 8.441.580,76 Nmm^2. Pada material *core Nylon* + komposit nilai rata-rata kekakuan *bending* tertinggi didapatkan pada ketebalan core 10 mm dengan nilai 10.069.021,81 Nmm^2. Sedangkan pada ABS tanpa komposit nilai kekakuan *bending* nya 1.994.430,37 Nmm^2 dan untuk Nylon tanpa komposit nilai kekakuan *bending* tertingginya nya lebih besar dari pada ABS tanpa komposit dengan nilai 4.006.996,91 Nmm^2.
2. Nilai kekakuan *bending* spesifik spesimen dengan komposit tertinggi berada pada spesimen A10 dengan nilai 172.700,10 Nmm^2. Sedangkan untuk spesimen tanpa komposit nilai kekakuan *bending* spesifik tertinggi berada pada spesimen N10_0 dengan nilai 84.198,30 Nmm^2. Hal ini dipengaruhi karena pada material core nylon lebih berat dibandingkan dengan ABS.
3. Hasil analisis dan perhitungan beban maksimal, luas penampang, momen inersia, tegangan *bending*, modulus elastisitas dan kekakuan *bending* pada spesimen yang menggunakan *skin* memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai spesimen yang tidak menggunakan *skin*.
4. Hasil penggabungan spesimen ABS + komposit sandwich dan Nylon + komposit Sandwich dengan metode *vacuum* infussion memiliki perbedaan dimensi setelah dilakukan komposit sandwich, yaitu berat spesimen uji rata-rata pada material ABS bertambah berat 20 gram, lebar specimen rata – rata bertambah 1 mm dan tebal specimen rata-rata bertambah 0,7mm. Sedangkan untuk material *Nylon* + komposit *sandwich* berat bertambah

sebesar 13 gram, lebar spesimen rata – rata bertambah 3 – 4 mm dan tebal rata – rata specimen bertambah 0,2 mm.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh orientasi *printing core* agar mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kekakuan komposit *sandwich.*
2. Perlu dilakukan penelitian tentang permukaan *core* agar pada saat dilakukan proses *vacuum infusion* resin tidak memasuki rongga *infill* pada *core* yang dapat menyebabkan kenaikan berat yang signifikan.
3. Pada saat pencampuran antara epoksi dan *hardener* harus sesusai dengan standar dan takaran yang tepat agar proses pengeringan spesimen menjadi keras sempurna.
4. Sebelum melakukan proses *vacuum infusion* sebaiknya melihat media terlebih dahulu apakah mengalami kebocoran dengan cara melihat *dial gauge* pada *catch pot*
5. Memperbarui peralatan yang sudah tidak layak digunakan.
6. Pada saat proses finishing sebaiknya menggunakan perlengkapan K3 yang sesuai.

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, Y. I. (2021). *Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing*. https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/30579

Ashfan Farahma. (2022). *Pengaruh Ketebalan Core (3d Print) Dengan Bahan Pla (Polyatic-Acid) Terhadap Uji Bending Spesimen Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Infusion*. https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/37976

Beliu, H. N., Pell, Y. M., & Jasron, J. U. (2016). *Analisa Kekuatan Tarik dan Bending pada Komposit Widuri-Polyester* (No. 2). *3*(2), 11–20. https://doi.org/10.1234/ljtmu.v3i2.471

Hidayat, A., Yudo, H., & Manik, P. (2016). ANALISA TEKNIS KOMPOSIT SANDWICH BERPENGUAT SERAT DAUN NANAS DENGAN CORE SERBUK GERGAJI KAYU SENGON LAUT DITINJAU DARI KEKUATAN TEKUK DAN IMPAK. *Jurnal Teknik Perkapalan*, *4*(1), Article 1. https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13638

Marsono, M., Ali, A., & Luwis, N. (2019). Karakteristik Mekanik Panel Honeycomb Sandwich Berbahan Komposit Fibreglass dengan Dimensi Cell-Pitch 40mm dan Cell-Height 30mm. *Rekayasa Hijau : Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, *3*(2), Article 2. https://doi.org/10.26760/jrh.v3i2.3144

Marsono, M., Anggraeni, N. D., & Faisal, F. A. (2021). Kaji Eksperimental Sifat Mekanik Honeycomb Sandwich Komposit Serat Karbon dengan Uji Bending. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, *5*(2), 114–125. https://doi.org/10.25077/metal.5.2.114-125.2021

Mutasiana, H. R. (2014). PENGARUH VARIASI KETEBALAN CORETERHADAP KARAKTERISTIK BENDING KOMPOSIT SANDWICH SERAT CANTULA DENGAN CORE HONEYCOMB KARDUS TIPE A-FLUTE. *Jurnal Nosel*, *2*(3), Article 3. https://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/ptm/article/view/8134

M.yani, M. yani, Suroso, B., & Rajali, R. (2019). Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, *2*(1), 74–83. https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3071

Nurul Lailatul, Nurtiasto, T. S., Pratomo, R. A., Nugroho, A., & Balqis, A. M. (2021). Studi Sifat Mekanik Komposit Sandwich Divinycell Foam dengan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) untuk Float Pesawat Amfibi. *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan (Senaster)*, *2*(1), 1–9.

Prayoga, A. (2018). *PENGARUH KETEBALAN SKIN TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN TARIK KOMPOSIT SANDWICH DENGAN hONEYCOMB POLYPROPYLENE SEBAGAI CORE*. *18*(1), 6.

Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, 917–922.

Setiyawan, D., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2020). ANALISA KEKUATAN KOMPOSIT SANDWICH KARBON FIBER DENGAN CORE STYROFOAM SEBAGAI MATERIAL PADA MODEL PESAWAT TANPA AWAK (UJI TARIK & UJI BENDING). *Majalah Ilmiah MOMENTUM*, *16*(1), Article 1. https://doi.org/10.36499/jim.v16i1.3345

Utomo, W. B. & Drastiawati, N. S. (2021). *PENGARUH VARIASI JENIS CORE, TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING TERHADAP KARAKTERISTIK BENDING KOMPOSIT SANDWICH SERAT KARBON DENGAN METODE VACUUM INFUSION*. *09*, 10.

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	A5_0	4.99	50.04	0.08	23.67	16.37
2	A5_1	5.60	52.10	0.55	22.27	85.84
3	A5_2	5.50	52.50	0.65	10.20	104.37
4	A5_3	5.60	50.60	0.59	14.11	94.81
5	A10_0	9.91	49.82	0.25	12.83	13.03
6	A10_1	10.80	51.10	0.88	10.67	37.65
7	A10_2	11.08	50.40	1.40	7.31	57.70
8	A10_3	10.40	52.88	1.47	8.88	65.54
9	N5_0	5.47	50.54	0.19	47.72	32.04
10	N5_1	6.70	53.30	0.86	16.86	91.66
11	N5_2	5.70	55.10	0.46	21.36	65.52
12	N5_3	5.80	53.20	0.44	22.21	62.69
13	N10_0	10.57	50.68	0.57	14.56	25.67
14	N10_1	11.10	57.16	1.12	11.41	40.55
15	N10_2	11.10	56.20	1.19	15.97	43.82
16	N10_3	10.50	56.10	1.24	12.58	51.12

Keterangan:

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

Yogyakarta, 3 Maret 2022
Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T
NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Lembar asli, tidak untuk digandakan

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281
Pengujian & Analisa
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM
A5
A10
A16
A5

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik-UGM
N5-1
2
3
N10-1
2
3

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi - UGM
A5-1
2
3
A10-1
2
3