

**PENGARUH PERLAKUAN PANAS *CORE* HASIL *ADDITIVE*
MANUFACTURING TERHADAP KEKUATAN TARIK
KOMPOSIT *SANDWICH***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : M Zuhayr Adriansyah Laodja

No. Mahasiswa : 18525133

NIRM : 1807100246

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH PERLAKUAN PANAS *CORE* HASIL *ADDITIVE* *MANUFACTURING* TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH*

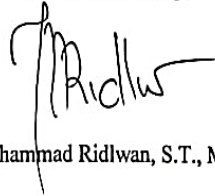
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : M Zuhayr Adriansyah Laodja
No. Mahasiswa : 18525133
NIRM : 1807100246

Yogyakarta, 15 Mei 2023

Dosen Pembimbing,



Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH PERLAKUAN PANAS *CORE* HASIL *ADDITIVE* *MANUFACTURING* TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT *SANDWICH*

TUGAS AKHIR

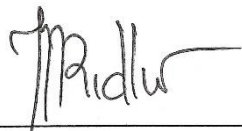
Disusun Oleh :

Nama : M Zuhayr Adriansyah Laodja
No. Mahasiswa : 18525133
NIRM : 1807100246

Tim Penguji

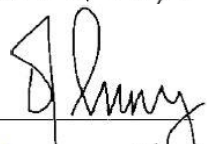
Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP.

Ketua


Tanggal : 26/06/2023

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

Anggota I


Tanggal : 3 Juli 2023

Ir. Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng., IPP.

Anggota II


Tanggal : 26 Juni 2023

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



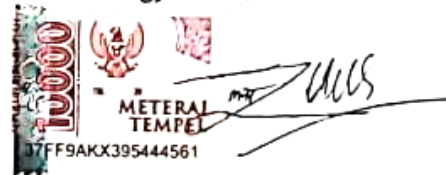

Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya yang bertanda tangan dibawah ini, M. Zuhayr Adriansyah Laodja selaku penulis Tugas Akhir dengan judul “ PENGARUH PERLAKUAN PANAS *CORE* HASIL *ADDITIVE MANUFACTURING* TERHADAP KEKUATAN TARIK *KOMPOSIT SANDWICH*” merupakan hasil karya sendiri dan benar keaslian nya. Apabila di kemudian hari penulisan ini merupakan hasil plagiasi terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan dan tata tertib yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Yogyakarta, 15 Mei 2023



METERAL
TEMPEL
37FF9AKX395444561

M. Zuhayr Adriansyah Laodja

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua Orangtua saya Bapak Darwis Idrus, S.T. dan Ibu Sugiyarni yang telah memberikan motivasi dan mendoakan kepada saya dari awal kuliah sampai tugas akhir ini selesai dilakukan.
2. Adik saya Rury Zashika Aurelya Laodja yang memberi semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini hingga selesai.

HALAMAN MOTTO

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya
sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

(QS Al Insyirah: 5 – 6)

Jangan menilai saya dari kesuksesan, tetapi nilai saya dari seberapa sering saya
jatuh dan berhasil bangkit kembali.

(Nelson Mandela)

Sukses berawal dari mimpi yang tercipta dari khayalan dan diwujudkan oleh
kemauan.

(Dzawin Nur Ikram)

Kemarin adalah bayangan, hari ini adalah kenyataan, dan besok adalah mimpi.
Jalani hari ini tanpa melihat kebelakang banyak bayang – bayang yang harus
dilupakan, tapi kejarlah masa depan karena ada mimpi yang sedang
menunggumu.

(Volix Media)

Tidak ada yang salah dari sebuah pilihan, tetapi yang salah ketika sudah memilih
kemudian mengeluh dan yang bodoh adalah ketika mengeluh tetap bertahan di
pilihan tersebut dan tidak mencoba pilihan lain.

(Dzawin Nur Ikram)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH



Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah – Nya berupa keimanan, kekuatan, kesabaran, kelancaran, dan keselamatan dalam pembuatan laporan tugas akhir ini. Shalawat dan juga salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta sahabat, keluarga, dan umat nya. Penelitian ini tersusun atas hasil Tugas Akhir untuk memenuhi dalam jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini berjudul “PENGARUH PERLAKUAN PANAS CORE HASIL ADDITIVE MANUFACTURING TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT SANDWICH”.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak yaitu berupa saran, kritik, bimbingan maupun bantuan lainnya. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas rahmat, kesehatan, karunia, dan petunjuk – Nya yang telah diberikan;
2. Kedua orang tua penulis Bapak Darwis Idrus S.T dan Ibu Sugiyarni serta Rury Zashika Aurelya Laodja selaku adik kandung yang tiada henti selalu memberikan semangat, doa, motivasi dan dukungan baik secara moral dan material kepada penulis hingga saat ini;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU, ASEAN.Eng. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia;
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T, M.T., IPP. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia;
5. Bapak Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T., IPP. Selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan sejak awal pelaksanaan tugas akhir hingga laporan tugas akhir ini selesai;

6. Dosen – dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang selalu berbagi ilmu baik di bidang akademik maupun non akademik;
7. Dosen Dewan Penguji yang memberikan saran dalam penulisan Tugas Akhir ini;
8. Kawan - kawan dalam Jurusan Teknik Mesin, Abbiyyu Wibisono, Arif Rahman Hakim, David Yade Hinanda Putra, Kemal Ali, M Alfaarisi Maulana Kasim, Raden Bagus Raihan Rato, Reezcky Noer Allamsyah Santoso, Rhizado Fachri Pratama, Rio Ari Sandika, dan seluruh saudara – saudari Teknik Mesin Angkatan 2018 yang tidak tercantum. Terima kasih atas dukungan dalam mengerjakan Tugas Akhir;
9. Kawan – kawan dalam mengerjakan Tugas Akhir, Geofinda Desmanto, Hafiz Ramadhan, Asty Astuti;
10. Gufran Rahardi Mukhlis, S.T., atas dorongan serta masukan terhadap tugas akhir ini kepada penulis;
11. Dyah Syifa Azizah yang telah membersamai penulis pada hari – hari yang tidak mudah dan selalu memberikan dukungan, nasihat, saran dan dorongan hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini;
12. Lembaga Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang telah memberi banyak ilmu tentang organisasi;
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan yang telah membantu dalam bentuk apapun.

Penulis menyadari sepenuhnya Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun dan baik selalu penulis harapkan. *Last but not least, I wanna thank me I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times.* Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi semua pihak yang membutuhkan. Akhir kata, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah – Nya kepada kita semua, Aamiin aamiin ya robbal ‘alamiin.

Terima Kasih,
Wassalamualaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 15 Mei 2023

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'M' and 'Z' followed by 'u8'. The signature is written in a cursive, flowing style.

M.Zuhayr Adriansyah Laodja

ABSTRAK

Komposit adalah sebuah material yang terdiri dari dua atau lebih material yang memiliki sifat mekanik antar material berbeda yang diproduksi dengan proses pencampuran. Pada prinsipnya komposit sandwich merupakan komposit yang tersusun dari 2 bagian yaitu *core* yang berada dibagian tengah dan *skin* dibagian atas serta bawah. Pada penelitian ini menggunakan *carbonfiber (skin)*, dengan *core* PLA yang direkatkan menggunakan *epoxy* resin dengan metode *vacuum infusion*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap core 3D Printing dan core komposit dengan menggunakan oven terhadap kekuatan tarik. Core dibuat menggunakan mesin 3D *Print* dengan bahan PLA dengan infill 20% dan *fill pattern Gyroid*. Penelitian ini menggunakan pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan pada masing – masing spesimen uji. Pengujian tarik dilakukan di Laboraturim Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Berdasarkan pengujian tarik yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesimen komposit dan pemanasan 3 jam dengan nilai kekuatan tertinggi sebesar 286,30 N/gr, nilai tegangan 35,89 MPa, dan nilai regangan 17,27%, serta berat sebesar 20,59 gram. Berdasarkan data yang didapatkan mendapat kesimpulan bahwa penambahan lapisan *skin* mempengaruhi dari hasil kekuatan pengujian tarik dan berat pada spesimen.

Kata kunci: Komposit sandwich, *carbon fiber*, *curing*, kekuatan tarik, *3D printing core*.

ABSTRACT

Composite is a material consisting of two or more materials that have different mechanical properties between materials produced by the mixing process. In principle, a sandwich composite is a composite composed of 2 parts, namely the core in the middle and the skin at the top and bottom. In this study using carbonfiber (skin), with PLA core glued using epoxy resin with vacuum infusion method. This study aims to determine the effect of heat treatment on 3D Printing cores and composite cores using an oven on tensile strength. The cores were made using a 3D Print machine with PLA material with 20% infill and Gyroid fill pattern. This study used tensile testing to determine the strength of each test specimen. Tensile testing was conducted at the Engineering Materials Laboratory of the Department of Mechanical Engineering, Gadjah Mada University. Based on the tensile testing that has been done, it shows that the composite specimen and 3 hours of heating with the highest strength value of 286.30 N/gr, a stress value of 35.89 Mpa, and a strain value of 17.27%, and a weight of 20.59 grams. Based on the data obtained, it can be concluded that addition of skin layers affects the results of tensile strength testing and weight on specimens.

Keywords : Composite sandwich, carbon fiber, curing, tensile strength, 3D printing core.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Lembar Pernyataan Keaslian	iv
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	x
<i>Abstract</i>	xi
Daftar Isi	xii
Daftar Tabel.....	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Notasi.....	xvii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 3D <i>Printing</i>	6
2.3 Proses <i>Curing</i>	7
2.4 Komposit.....	8
2.5 Komposit <i>Sandwich</i>	9
2.6 Metode <i>Vacuum Infusion</i>	12
2.7 Pengujian Tarik.....	13
2.7.1 Pengujian Tarik <i>ASTM D-638</i>	14
2.8 Bentuk dan Kegagalan pada Pengujian Tarik.....	15

Bab 3 Metode Penelitian	17
3.1 Alur Penelitian	17
3.2 Peralatan dan Bahan.....	18
3.3 Dimensi Spesimen	24
3.4 Susunan Lapisan Komposit Sandwich.....	25
3.5 Proses Pengerjaan	26
3.5.1 Pembuatan Core dengan Mesin 3D <i>Printing</i>	26
3.5.2 Proses <i>Curing</i> dengan Variasi Waktu.....	26
3.5.3 Proses <i>Vacuum Infusion</i>	27
3.5.4 Hasil Setelah Proses <i>Vacuum Infusion</i>	29
Bab 4 Hasil dan Pembahasan	30
4.1 Proses Pengujian Tarik	30
4.2 Hasil Pengujian Tarik	31
4.3 Analisis dan Pembahasan.....	33
4.4 Modus Kegagalan dan Bentuk Patahan	43
Bab 5 Penutup.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya	49
Daftar Pustaka	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Ketentuan Jenis Pola Patahan	16
Tabel 3-1	Hasil Pengukuran Dimensi Awal Spesimen Vacuum Infusion	24
Tabel 3-2	Parameter Proses Pembuatan Spesimen	26
Tabel 4-1	Hasil Pengujian Tarik	32
Tabel 4-2	Keterangan Spesimen	33
Tabel 4-3	Beban Maksimal	35
Tabel 4-4	Beban Tarik Spesifik	37
Tabel 4-5	Tegangan Tarik.....	38
Tabel 4-6	Regangan	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1	Mesin 3D <i>Printing</i>	7
Gambar 2- 2	Struktur Penyusun Komposit	9
Gambar 2- 3	<i>Pattern Gyroid</i>	9
Gambar 2- 4	Serat <i>Carbon Fiber</i>	10
Gambar 2- 5	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	13
Gambar 2- 6	Pengujian Tarik	14
Gambar 2- 7	Standart Pengujian Tarik ASTM D 638	15
Gambar 2- 8	Dimensi Pengujian Tarik ASTM D 638	15
Gambar 2- 9	Jenis Pola Patahan	15
Gambar 3- 1	Alur Penelitian	17
Gambar 3- 2	Oven	18
Gambar 3- 3	<i>Thermogun</i> Suhu	18
Gambar 3- 4	<i>Vacuum Pump</i>	19
Gambar 3- 5	Tabung Reservoir	19
Gambar 3- 6	Lem <i>Epoxy</i>	19
Gambar 3- 7	<i>Carbon Fiber</i>	20
Gambar 3- 8	<i>Vacuum Bagging Film</i>	20
Gambar 3- 9	Kain <i>Infusion Mesh</i>	20
Gambar 3- 10	<i>Peel Ply</i>	21
Gambar 3- 11	Selang Resin	21
Gambar 3- 12	Katup Bensin	22
Gambar 3- 13	Selang Spiral	22
Gambar 3- 14	<i>Butyl Tape</i>	22
Gambar 3- 15	Cairan <i>Resin</i>	23
Gambar 3- 16	Cairan <i>Hardener</i>	23
Gambar 3- 17	Timbangan	23
Gambar 3- 18	Dimensi Spesimen dengan Standart ASTM D638	24
Gambar 3- 19	Susunan Lapisan Komposit <i>Sandwich</i>	25
Gambar 3- 20	Proses Pembuatan <i>Core PLA</i>	26
Gambar 3- 21	Proses Pengukuran Suhu Setelah 10 Menit Pemanasan	27

Gambar 3- 22	Proses <i>Curing</i> Pada Spesimen	27
Gambar 3- 23	Proses <i>Vacuum Infusion</i>	29
Gambar 3- 24	Hasil <i>Finishing</i>	29
Gambar 4- 1	Proses Pengujian Tarik	30
Gambar 4- 2	Spesimen Sebelum Pengujian.....	31
Gambar 4- 3	Spesimen Setelah Pengujian	31
Gambar 4- 4	Grafik Beban Maksimal.....	36
Gambar 4- 5	Grafik Beban Tarik Spesifik.....	37
Gambar 4- 6	Grafik Tegangan Tarik Terhadap Berat.....	39
Gambar 4- 7	Grafik Tegangan Tarik Terhadap Waktu.....	39
Gambar 4- 8	Grafik Regangan.....	41
Gambar 4- 9	Grafik Tegangan Regangan	42
Gambar 4- 10	Grafik Tegangan Regangan Hasil Pengujian.....	43
Gambar 4- 11	Bentuk Patahan Spesimen Kode A0	43
Gambar 4- 12	Bentuk Patahan Spesimen Kode C1	44
Gambar 4- 13	Bentuk Patahan Spesimen Kode C2	44
Gambar 4- 14	Bentuk Patahan Spesimen Kode C3	45
Gambar 4- 15	Bentuk Patahan Spesimen Kode K0	45
Gambar 4- 16	Bentuk Patahan Spesimen Kode K1	46
Gambar 4- 17	Bentuk Patahan Spesimen Kode K2	46
Gambar 4- 18	Perubahan Bentuk Spesimen Kode K2.....	46
Gambar 4- 19	Bentuk Patahan Spesimen Kode K3	47
Gambar 4- 20	Bentuk Patahan Spesimen Kode Type 3.....	48

DAFTAR NOTASI

σ	: Tegangan (N/m ²)
P	: Beban (N)
A	: Luas Penampang (mm ²)
ε	: Regangan (%)
ΔL	: Pertambahan Panjang (mm)
L_0	: Panjang Awal (mm)
δ	: Beban Tarik Spesifik (N/gr)
W	: Berat (gr)
P _{max}	: Beban Maksimal (N)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada perkembangan teknologi yang sangat maju ini mengakibatkan banyaknya penelitian yang sudah dilakukan pada berbagai bidang, hal itu juga meliputi pada bidang material. Material yang di butuhkan saat ini yaitu material yang mempunyai beberapa sifat umum seperti kuat, kaku, dan ringan. Kebutuhan material ini meliputi dalam banyak sekali bidang 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 menggunakan material komposit.

Komposit merupakan suatu struktur yang disusun atas gabungan bahan pembentuk tunggal yang digabungkan menjadi struktur yang baru dengan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan masing – masing pembentuknya. (Hartono et al. 2016). Berdasarkan struktur, komposit terdapat dua bagian yaitu struktur lapisan dan struktur *sandwich*. Pada prinsip nya komposit *sandwich* adalah komposit yang tersusun dari dua bagian yaitu *core* yang terdapat pada bagian tengah dan *skin* terdapat pada lapisan atas serta bawah. Pada saat ini juga komposit *sandwich* telah banyak digunakan ke berbagai jenis produk seperti, kapal, badan pesawat, dan lain sebagainya dikarenakan komposit *sandwich* memiliki sifat kekakuan tinggi, ringan, dan tahan terhadap panas dan memiliki redaman suara tinggi dan mudah dibentuk.

Fused Deposition Modeling (FDM) merupakan teknologi 3D *Printing* yang paling sering digunakan dengan menggunakan bahan dasar filamen *Polylactic Acid* (PLA), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), dan sebagainya. Material filament yang bervariasi memberikan fleksibilitas pemilihan material dalam membentuk produk hasil 3D *Printing*. Namun hasil produk 3D *Printing* masih belum banyak dipergunakan secara langsung pada produk mekanik dikarenakan nilai kekuatan tarik masih relatif rendah dibanding produk material rekayasa lainnya. Produk hasil dari 3D *Printing* yang dapat mewujudkan 3D

CAD model menjadi produk yang cepat, bentuk yang kompleks serta relatif murah.

Proses *curing* adalah proses polimerisasi atau pemanasan material komposit di atas temperatur ruang, sehingga resin memiliki daya ikat yang tinggi terhadap serat. Peningkatan suhu *curing* akan mengakibatkan peningkatan kecepatan *curing*, yang dapat memberikan ikatan silang pada material komposit, namun kekakuan material akan menurun. *Curing* serta *post-curing* di atas suhu kamar dapat dilakukan dengan menggunakan *oven* dan tungku listrik. (Utomo et al. 2021). Berdasarkan uraian diatas akan dilakukan penelitian mengenai pengaruh perlakuan panas dengan variasi waktu dan kekuatan *core 3D Printing* tanpa komposit *sandwich* dan *3D Printing* dengan komposit *sandwich* skin serat karbon (*carbonfiber*) terhadap pengujian tarik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perlakuan panas *core 3D Printing* dengan variasi waktu pemanasan terhadap kekuatan tarik?
2. Bagaimana pengaruh pemanasan pada suhu yang dilakukan terhadap komposit *sandwich*?
3. Bagaimana analisis kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan pengujian tarik?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan dan menghindari meluasnya permasalahan yang ada, maka dalam penelitian ini akan diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pembuatan spesimen menggunakan *3D Printing* merek FDM Crealty Ender 3 dengan bahan PLA merek e-sun dengan *infill type gyroid* dan *infill density* 20%.
2. Perlakuan panas dengan menggunakan variasi waktu dan oven.
3. Lapisan skin menggunakan *carbonfiber*.

4. Proses pembuatan komposit dengan metode *vacuum infusion* dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
5. Resin yang digunakan Epoxy EPR 168 TDS.
6. Pengujian Tarik dilakukan menggunakan *universal testing machine* di Laboratorium Bahan Teknik, Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dengan variasi waktu pemanasan pada *core 3D Printing* tanpa skin dan dengan *core 3D Printing* yang diberi skin (*carbon fiber*) terhadap kekuatan tarik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana proses pembuatan komposit *sandwich* dengan menggunakan metode *vacuum infusion process*.
2. Mengetahui pengaruh yang diberikan oleh *core 3D Printing* tanpa komposit *sandwich* dan *3D Printing* dengan komposit *sandwich* terhadap pengujian tarik.
3. Mengetahui pengaruh perlakuan panas dengan variasi waktu terhadap *core 3D Printing* tanpa komposit *sandwich* dan *3D Printing* dengan komposit *sandwich*.
4. Dapat diterapkan pada pembuatan produk komposit *sandwich* yang proses tersebut menggunakan *core 3D Printing*.
5. Dapat menghemat biaya dan bahan pada produksi dari material yang lain.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bagian ini dituliskan urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan. Berikut ringkasan mengenai isi masing-masing bab.

1. Bab I Pendahuluan

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

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dijelaskan tinjauan Pustaka mengenai dasar teori yang melandasi pembuatan skripsi.

3. Bab III Metode Penelitian

Pada bab ini berisikan diagram alur penelitian, peralatan dan bahan, dimensi spesimen, susunan lapisan komposit, dan proses pengerjaan.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

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

5. 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 digunakan sebagai dasar yang dilakukan pada penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis perekat dan curing terhadap kekuatan *bending* komposit *sandwich* dengan *core* 3D *print*. Spesimen uji yang dicetak merujuk pada standar ASTM C393, menggunakan filament ABS. Spesimen uji divariasikan pada jenis perekat yaitu *spray* 3M, aibon dan *epoxy*, serta curing dengan suhu 27°C, 40°C, 60°C. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada jenis perekat, untuk tegangan bending, modulus elastisitas, kekakuan dan kekakuan spesifik tertinggi diperoleh pada jenis perekat *epoxy*. Hasil pengujian yang telah dilakukan pada *curing*, didapatkan hasil tegangan bending sebesar 11,38 MPa pada suhu *curing* 40°C. Namun modulus elastisitas sebesar 242,77 N/mm², kekakuan bending sebesar 1.006.209,32 N/mm² dan kekakuan spesifik sebesar 66.198,38 N/mm²/gram diperoleh pada suhu *curing* 27°C. (Rahmani, J.P. 2022).

Kajian pustaka kedua yaitu pada penelitian yang menggunakan *core* (PLA+) dibuat menggunakan mesin 3D *Print* dengan bahan PLA+ (*Polylactic Acid*) *infill* 20% dan *fill pattern honeycomb*, *fiberglass (skin)* dan direkatkan menggunakan resin jenis 2668wnc dengan metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI) dan memvariasikan ketebalan *core*, yaitu 3 mm, 5 mm dan 7 mm.. Penelitian ini menggunakan pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas pada masing – masing spesimen uji. Spesimen yang di uji menggunakan standar ASTM D638 - I. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan variasi ketebalan 3 mm dengan nilai 72,83 MPa dan nilai modulus elastisitas maksimal tertinggi pada spesimen dengan variasi *core* 3 mm dengan nilai 2457,30 MPa. (Rahman, A.H. 2022).

Kajian pustaka ketiga yaitu pada penelitian yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara 3D *Print* yang dilapisi komposit *sandwich* dan

3D *Print* tanpa lapisan komposit *sandwich* terhadap pengujian tarik menggunakan metode *Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)*. Maka dibuat spesimen uji beberapa variasi antara lain 3D *Print* tanpa lapisan komposit, 3D *Print* + 2 lapisan komposit, 3D *Print* + 3 lapisan komposit, 3D *Print* + 4 lapisan komposit dimana setiap variasi terdapat 3 sampel spesimen. Data hasil pengujian yang didapatkan dari pengujian tarik bahwa spesimen dengan nilai tertinggi adalah 3D *Print* + 4 lapisan komposit yaitu dengan 71,23 MPa kekuatan tarik, 6,21% pada regangan, 11,53 MPa pada modulus elastisitas, serta 22,62 gram. Sedangkan untuk hasil pengujian spesimen terendah adalah 3D *print* tanpa lapisan komposit yaitu 27,63 MPa kekuatan tarik, 3,22% pada regangan, 8,71 MPa pada modulus elastisitas, serta 12,29 gram pada berat. Berdasarkan hasil data yang diperoleh lapisan *skin* berpengaruh terhadap hasil pengujian tarik dan berat spesimen, hal ini diketahui dari data yang diperoleh semakin tebal lapisan *skin* pada spesimen maka meningkat hasil pengujian tarik dan berat nya. (Prawira, G.P. 2022).

Kajian pustaka keempat yaitu pada penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan pada spesimen yang akan diujikan dan mengetahui variasi terbaik diantara semua spesimen yang dibuat. Pada penelitian ini beberapan variasi spesimen yang akan dibuat diantaranya 3DP + *Fiberglass* 1 lapis, 3DP + *Fiberglass* 2 lapis, 3DP + *Fiberglass* 3 lapis, 3DP + *Lantor Soric*. Dibuat 2 kerapatan atau *infill* 3DP 10% dan 20%, dengan total 8 sampel uji untuk dibandingkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada variasi komposit *sandwich* *infill* 20% lebih unggul dari pada variasi komposit *sandwich* *infill* 10%, lebih tepatnya pada variasi komposit *sandwich* *infill* 20% 3 lapis *fiberglass*, pada variasi tersebut memiliki keregangan *infill* lebih rapat, serta dapat menahan tegangan bending lebih besar dari pada variasi lainnya dengan nilai tegangan bending 27,48 MPa nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dari pada variasi komposit *sandwich* yang lainnya. (Adriansyah, Y.I. 2021).

2.2 3D Printing

3D *Printing* atau yang dikenal juga sebagai *Additive Layer Manufacturing* adalah proses membuat objek pada 3D atau bentuk apapun dari model digital.

Mesin 3D *Print* memiliki kesamaan cara kerja dengan printer laser yaitu dengan teknik membuat objek dari sejumlah lapisan yang di cetak diatas lapisan yang lain. (Putra et al., 2018). Mesin 3D *Print* dapat mencetak dalam bentuk purwarupa (model) maupun industry secara luas seperti arsitektur, otomotif, militer, industri medis, dan lain – lain sehingga teknologi ini menjadi salah satu tren yang berkembang pada masa kini.



Gambar 2- 1 Mesin 3D *Printing*

2.3 Proses *Curing*

Proses *Curing* adalah proses pengeringan bahan – bahan penyusun komposit baik itu matrik nya atau serat penguat nya. Kecepatan proses *curing* berbeda – beda tergantung dari persentase katalis yang dipakai dan tergantung pada besar nya suhu yang dipakai dalam proses *curing*. Pada proses *curing* diharapkan dapat mengurangi rongga – rongga yang ada di dalam komposit sehingga komposit yang dihasilkan berkualitas baik. (Dantes, 2021). Berikut beberapa tujuan dilakukan proses *curing* pada komposit adalah:

- a. Memobilisasi molekul matrik agar bereaksi dengan sempurna.
- b. Membuang unsur air atau bahan yang mudah menguap lain nya.
- c. Memberi kesempatan resin untuk mengalir sehingga mencapai distribusi yang merata dan dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit.
- d. Mereaksikan kembali katalis yang tidak bereaksi dibawah suhu kritis.

Terdapat beberapa macam proses *curing*, antara lain dengan: oven, minyak panas, lampu, uap panas, dan lain – lain. Pada penelitian ini proses *curing* yang digunakan dengan menggunakan oven. Oven dengan tenaga listrik atau gas dengan sirkulasi udara adalah jenis oven yang sering digunakan. Model ini tergolong mahal dan dapat digunakan dalam skala besar. Sebuah kantong *vacuum* atau dengan *shrink tape* sering digunakan untuk memberi tekanan dalam metode ini dan energi yang digunakan lebih besar dari metode *curing* lain dikarenakan energi tersebut digunakan untuk memanaskan seluruh ruang termasuk udara, penyangga oven bahkan lantai juga ikut terkena panas.

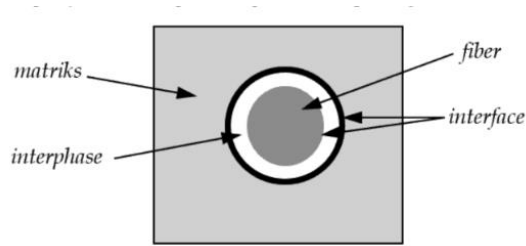
2.4 Komposit

Kata komposit (*composite*) merupakan kata sifat yang berarti susunan atau gabungan. *Composite* berasal dari kata kerja “*to compose*” berarti menyusun atau menggabung. Maka, komposit adalah suatu sistem material yang merupakan gabungan dari dua atau lebih bahan pada skala makroskopis untuk membentuk material baru yang lebih bermanfaat. Dibanding dengan material konvensional, bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya memiliki kekuatan yang dapat diatur, berat yang lebih ringan, ketahanan dan kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan tahan aus. (Mawardi et al., 2018).

Tujuan dibentuknya komposit, adalah:

- a. Mempermudah desain yang sulit pada manufaktur.
- b. Menjadikan bahan lebih ringan.
- c. Memperbaiki sifat spesifik dan sifat mekanik.
- d. Menghemat biaya karena keleluasaan dalam desain.

Komposit terdiri atas penyusun material matrik yang berfungsi sebagai pengikat dan penguat yang berupa serat. Matrik juga sering disebut unsur pokok bodi, sedangkan penguat berupa serat, partikel disebut sebagai unsur pokok struktur. Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa istilah penyebutan. Misal matrik, yaitu penyusun dengan fraksi volume terbesar, penguat sebagai penahan beban utama, *interphase* sebagai pelekatan antara dua penyusun, dan *interface* sebagai permukaan fase yang berbatasan dengan fase lain.



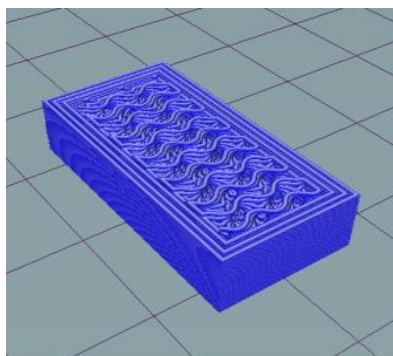
Gambar 2- 2 Struktur Penyusun Komposit

2.5 Komposit *Sandwich*

Komposit *Sandwich* adalah material komposit yang terdiri dari *skin* terletak pada atas dan bawah dan *core* terletak pada tengah. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan, kuat, dan kekakuan yang tinggi. Pemilihan sifat komposit sandwich terkadang harus memiliki sifat ringan, tahan panas, dan juga tahan korosi lalu dengan pertimbangan harga yang terjangkau juga. (Hidayat et al., 2016)

1. *Core*

Core merupakan salah satu bagian penting dari sebuah komposit *sandwich* yang dimana bagian ini harus mempunyai sifat kaku agar jarak antar permukaan terjaga. Maka dengan kekakuan nya *core* harus menahan geseran agar tidak terjadi slide antar permukaan dan dibutuhkan bahan yang baik atau tingkat kekakuan nya tinggi dikarenakan jika kekakuan nya rendah tidak baik untuk *core*. Tidak hanya densitas yang rendah *core* memiliki syarat lain, seperti umur panjang, kadar air, dan *buckling*. Pada penelitian ini *core* yang digunakan 3D Printing berbentuk balok dengan *pattern gyroid* (Hidayat et al., 2016)



Gambar 2- 3 *Pattern Gyroid*
(Sumber: Wijayanto et al., 2022)

2. Skin

Skin adalah bagian terluar dari komposit *sandwich* yang terletak pada bagian atas dan bawah untuk melapisi *core*. Fungsi dari *skin* adalah menahan *tensile* dan *compressive stress*. *Skin* terbuat dari serat maupun partikel maka dari itu dibutuhkan pemilihan jenis yang tepat untuk meningkatkan kekutan mekanis dari *core*. Pada penelitian ini menggunakan jenis *skin carbon fiber*.



Gambar 2- 4 Serat Carbon Fiber

3. Matriks

PMC (*Polymer Matrix Composite*) merupakan salah satu jenis komposit yang menggunakan resin (matriks) yang berjenis termoset. Termoset adalah jenis plastik yang banyak digunakan dalam komposit yang diperkuat serat. Jenis matriks ini memiliki rantai molekul yang saling berhubungan yang tidak bergerak relatif satu sama lain, bahkan saat dipanaskan dan ditekan. Matriks meleleh dan kemudian mengeras saat monomer terbentuk, menstabilkannya. Penggunaan termoset sebagai matriks memiliki beberapa keunggulan seperti kemampuan untuk mengikat serat dengan mudah dan baik, viskositas rendah, daya rekat yang baik pada tulangan, dan kekakuan yang baik. (Oktavilla, 2020)

Resin jenis termoset untuk pembuatan komposit dibagi menjadi dua, yaitu:

a. Resin Epoxy

Resin *epoxy* polimer dari kelompok termoset, adalah perekat sintetik yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk konstruksi bangunan. Resin termoset adalah polimer cair yang dapat diubah menjadi bahan padat melalui

polimerisasi ikatan silang dan cara kimia untuk membentuk struktur rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekanik tergantung pada unit molekul yang membentuk ikatan silang. Resin *epoxy* memiliki ketahanan korosi yang lebih baik daripada poliester dalam kondisi basah, tetapi tidak tahan terhadap asam. Resin *epoxy* memiliki sifat mekanik, listrik, stabilitas dimensi dan isolasi termal yang baik. Proses pembuatan dapat dilakukan pada suhu ruang, dengan memperhatikan bahan kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan untuk sifat material yang optimal. (Oktavilla, 2020).

Epoxy sangat baik sebagai bahan matriks pada pembuatan bahan komposit karena memiliki keunggulan sebagai zat perekat dibanding dengan polimer-polimer lain. Diantaranya adalah keaktifan permukaan tinggi, daya pembasahan baik, kekuatan kohesif tinggi, tidak mengkerut, mudah diubah-ubah sifatnya dengan memilih resin hardener yang tepat. Jika dilihat dari segi waktu yang dibutuhkan untuk proses pengerasan, maka *epoxy* ini lebih lambat. Dalam penelitian ini menggunakan resin *epoxy* dengan jenis *Epoxy Resin Chempoxy A EPR 168 TDS* dengan *Epoxy Hardener EPH 168* yang diperoleh dari PT. Perdana Chemindo Perkasa, Surabaya.

b. Resin *Polyester*

Resin *polyester* ini dibuat dengan mereaksikan dihidrik alkohol dengan asam dikarboksilat. Hasilnya bisa jenuh atau tidak jenuh, tergantung pada ada tidaknya ikatan rangkap dalam polimer linier. *Polyester* jenuh terutama digunakan untuk membuat serat. *Polyester* tak jenuh sering digunakan sebagai resin laminasi atau dalam kombinasi dengan penguat serat dalam formulasi cetakan komposit. Resin *polyester* tak jenuh dapat dimodifikasi dengan minyak dan asam lemak untuk membentuk alkid atau sebagai pengubah sifat perekat lainnya (misalnya poliuretan yang dibuat dari isosianat). (Oktavilla, 2020)

Resin *Polyester* tak jenuh termoset, memiliki beragam tipe dan kode berdasarkan dari pabrik atau merk yang memproduksinya. Yang paling dikenal adalah resin *Polyester* dari Justus, SHCP (*Singapore Highpolymer Chemical Product*), Yucalac, Arindo, Eterna, dan lain sebagainya. Tiap-tiap pabrik mengeluarkan kode resin yang berbeda-beda walaupun memiliki kemiripan sifat dari resin tersebut. Sebagai contoh Resin 157 BQTN yang dikeluarkan oleh

Justus, memiliki sifat dan wujud yang hampir sama dengan Resin 268 BQTN yang dikeluarkan oleh SHCP, walaupun kekuatan dari sedikit berbeda. Untuk resin dengan sifat dan kualitas yang lain SHCP juga memberi kode resin berbeda pula, misalnya Resin 2668 WNC dengan wujud yang lebih kental daripada 268 BQTN disesuaikan dengan sifat dan kegunaannya.

Penggunaan dari resin *polyester* tak jenuh (unsaturated) beragam sesuai dengan karakteristik tiap resin. Resin Upcast dengan kode 108 dan 3126 adalah resin yang paling umum dijual di pasaran dengan istilah resin bening. Resin Upcast Bening ini biasanya digunakan sebagai bahan pelapisan tipis (coating) atau bisa juga sebagai bahan utama pembuatan kerajinan tangan (handcraft), misalnya gantungan kunci, nametext, piala dan lain sebagainya. Resin Upcast Bening ini memiliki kelemahan jika terkena paparan sinar UV matahari yang cukup lama akan berubah menjadi menguning. Resin *polyester* dengan kode 2668 adalah resin dengan warna merah muda, yang umumnya digunakan sebagai pelapis genteng, pelapis kaca, pelapis badan perahu, pelapis bak mandi dan lain sebagainya.

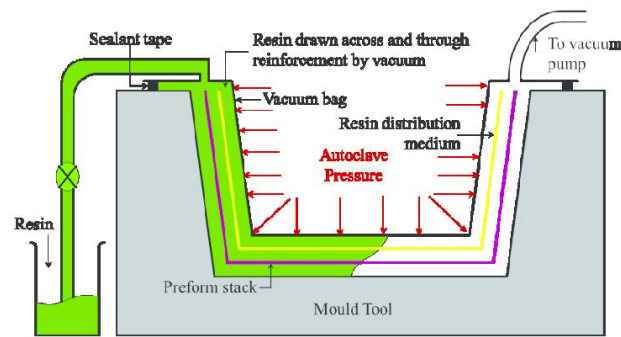
2.6 Metode Vacuum Infusion

Vacuum infusion adalah metode pembuatan komposit dengan menuangkan cairan resin ke dalam cetakan yang berisi dengan bahan dan kantong kedap udara untuk membedakan bagian luar dan bagian dalam cetakan sehingga laminasi serat fiber, serat karbon dan lapisan lain yang dapat dicetak oleh cetakan bercampur menjadi suatu komposit.

Pada proses ini menggunakan pompa vakum untuk menyedot udara ke dalam wadah atau cetakan tempat meletakkan komposit yang dimasukkan ke dalam proses, hal ini menyebabkan udara yang terperangkap dalam spesimen komposit dapat diminimalisir. (Salamun, 2017).

Tekanan vakum atau tekanan dalam tangki dimana tekanan di dalam lebih rendah dari pada tekanan pada luar atau tekanan atmosfer, tekanan ini yang berperan untuk proses pembuatan komposit serta menentukan bentuk dari benda yang dirancang. Penggunaan metode *Vacuum Infusion* ini mempunyai manfaat dan keunggulan sebab dalam proses pembuatannya tidak perlu banyak campuran

tangan manusia. manusia hanya menyiapkan bahan-bahan nya saja dan memantau kinerja dari alat tersebut. dengan metode ini mampu menghasilkan benda kerja yang memiliki tingkat ketelitian yang relatif sulit. (Hidayat, 2020)

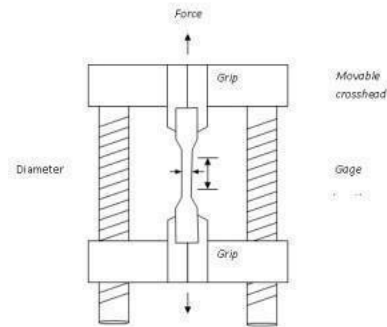


Gambar 2- 5 Proses *Vacuum Infusion*

2.7 Pengujian Tarik

Pengujian Tarik merupakan pemberian gaya atau tegangan tarik pada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. (Salidenho et al., 2013) Tegangan tarik yang digunakan merupakan tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan uji menggunakan gaya tarik secara terus menerus, sehingga bahan terus menerus meningkat serta teratur sampai putus, dengan tujuan menentukan nilai tarik.

Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan pada pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur. Mesin uji tarik sering diperlukan pada aktivitas *engineering* untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material. Mesin uji tarik terdiri dari beberapa bagian pendukung utama, antara lain: kerangka, mekanikme pencekam spesimen, sistem penarik dan mekanik, serta sistem pengukur. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan.



Gambar 2- 6 Pengujian Tarik

Setelah dilakukan pengujian maka diperoleh data hasil pengujian tarik yaitu berupa gaya dan perpanjangan, maka terdapat kurva uji tarik yang merupakan gambaran dari pembebanan pada spesimen dari awal hingga spesimen putus. Dengan persamaan tegangan dan regangan:

Tegangan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dengan :

σ : Tegangan (N/m²)

P : Beban (N)

A : Luas Penampang (m²)

Regangan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.2)$$

Dengan:

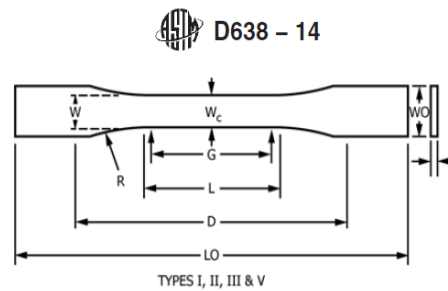
ε : Regangan (%)

ΔL : Pertambahan Panjang

L_0 : Panjang Awal

2.7.1 Pengujian Tarik ASTM D-638

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan standar pengujian tarik ASTM D-638 dengan dimensi spesimen yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



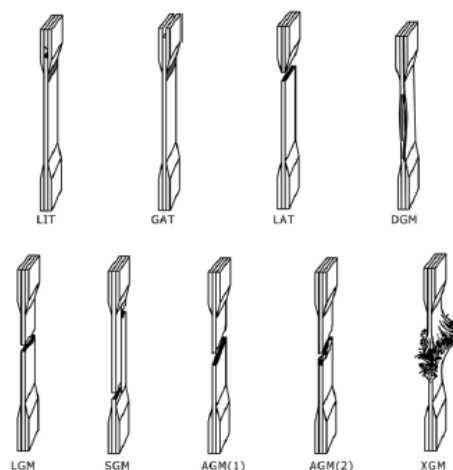
Gambar 2- 7 Standar Pengujian Tarik ASTM D-638
(Sumber : *ASTM International Designation: D-638 14*)

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), Incl		4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^W	Type V ^{G,D}		
W—Width of narrow section ^{F,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}	
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C	
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)	
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)	
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)	
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C	
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)	
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)	
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C	
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)	

Gambar 2- 8 Dimensi Pengujian Tarik ASTM D-638
(Sumber : *ASTM International Designation: D-638 14*)

2.8 Bentuk dan Kegagalan pada Pengujian Tarik

Bentuk patahan dan tipe kegagalan pada hasil pengujian tarik dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2- 9 Jenis Pola Patahan
(Sumber : *ASTM International Designation: D-3039/D3039M 00*)

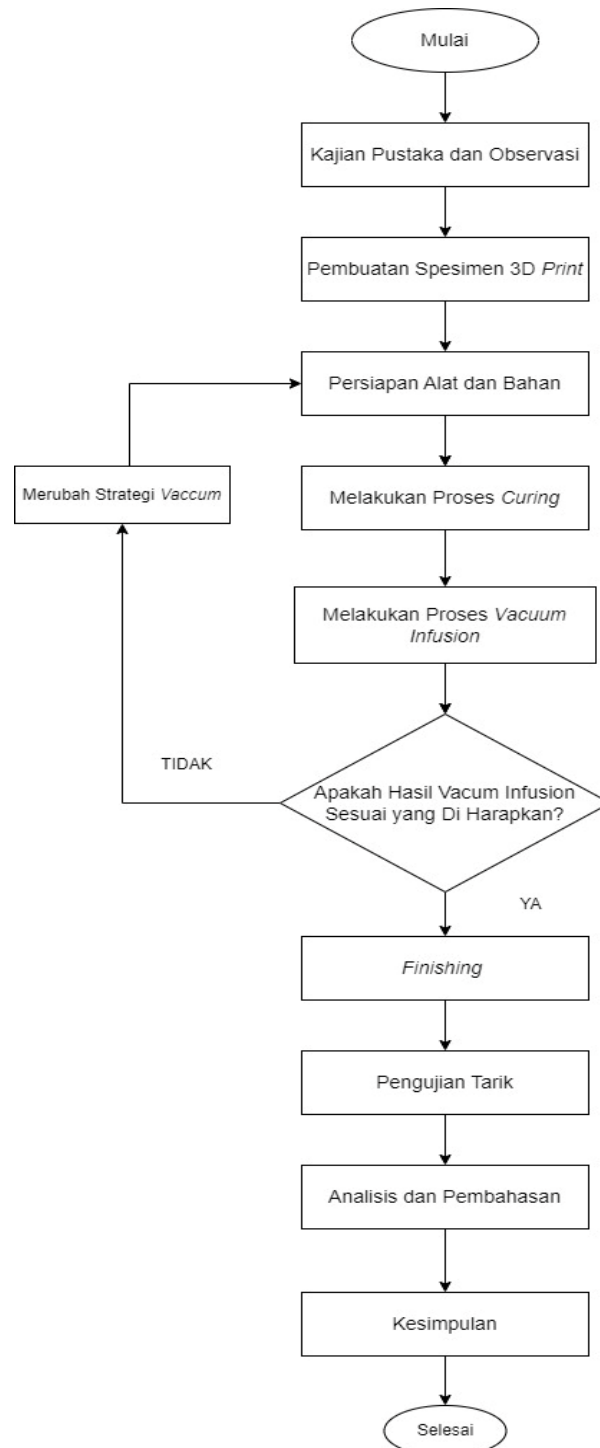
Tabel 2- 1 Ketentuan Jenis Pola Patahan

Karakter Pertama		Karakter Kedua		Karakter Ketiga	
Tipe Kegagalan	Kode	Luas Kegagalan	Kode	Lokasi Kegagalan	Kode
Sudut	A	<i>Inside grip / Tab</i>	I	<i>Bottom</i>	B
Delaminasi	D	<i>At grip / Tab</i>	A	<i>Top</i>	T
<i>Grip / Cekam</i>	G	<i>< 1W from grip / Tab</i>	W	<i>Left</i>	L
Lateral	L	<i>Gage</i>	G	<i>Right</i>	R
<i>Multi – Mode</i>	M (xyz)	<i>Multiple areas</i>	M	<i>Middle</i>	M
<i>Long. Splitting</i>	S	<i>Various</i>	V	<i>Various</i>	V
<i>Explosive</i>	X	<i>Unknown</i>	U	<i>Unknown</i>	U
<i>Other</i>	U				

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3- 1 Alur Penelitian.

3.2 Peralatan dan Bahan

1. Oven

Oven merupakan alat yang digunakan sebagai proses perlakuan awal dengan memanaskan specimen *3D Printing* dengan suhu $60^{\circ}C$ dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam.



Gambar 3- 2 Oven.

2. Thermogun Suhu

Thermogun Suhu merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur suhu pada oven pada proses *pre-treatment* metode *curing* ini suhu yang digunakan dalam metode ini yaitu $60^{\circ}C$.



Gambar 3- 3 *Thermogun* Suhu.

3. Vacuum Pump

Pompa vakum merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengeluarkan molekul gas dari sebuah ruangan tertutup ke area luar untuk mencapai tekanan sempurna, Alat vakum yang digunakan pada penelitian kali ini adalah Krisbow Model KW 19-534 bertenaga $\frac{1}{2}HP$.



Gambar 3- 4 Vacuum Pump

4. Tabung Reservoir

Tabung *reservoir* merupakan tabung yang memiliki dua input dari *vacuum pump* dan *vacuum bag* yang digunakan untuk mengontrol tekanan dengan memutar katup keran pada tabung.



Gambar 3- 5 Tabung Reservoir

5. Lem Epoxy

Lem *epoxy* digunakan sebagai untuk merekatkan serat *carbon fiber* dengan *core 3D Printing* agar lebih menempel dan kuat.



Gambar 3- 6 Lem Epoxy

6. Carbon fiber

Pada penelitian ini digunakan serat *carbon fiber* yang berfungsi sebagai laminasi pada material *3D Printing*.



Gambar 3- 7 *Carbon fiber*

7. *Vacuum Bagging Film*

Vacuum bagging film atau plastik digunakan sebagai penjaga perbedaan tekanan di dalam dan di luar cetakan.



Gambar 3- 8 *Vacuum Bagging Film*

8. *Kain Infusion Mesh*

Kain infusion mesh digunakan sebagai media agar plastik tidak merekat secara permanen pada permukaan produk.



Gambar 3- 9 *Kain Infusion Mesh*

9. *Peelply*

Kain *peelply* berfungsi sebagai untuk memberikan permukaan laminasi agar menjadi lebih rata dan membantu untuk memudahkan dalam melepas specimen yang sudah diberi resin.



Gambar 3- 10 *Peelply*

10. Selang Resin

Selang resin berdiameter 8mm yang digunakan untuk mengalirkan resin dari wadah ke dalam cetakan dan sebagai saluran vakum pada *vacuum pump* kedalam tabung *reservoir*.



Gambar 3- 11 Selang Resin

11. Katup Bensin

Katup bensin ini digunakan untuk membuka dan mengaliri saluran udara dari dalam cetakan.



Gambar 3- 12 Katup Bensin

12. Selang Spiral

Selang spiral digunakan sebagai untuk mengalirkan cairan resin ke semua bagian cetakan dan mengalirkan tekanan dari *vacuum pump*.



Gambar 3- 13 Selang Spiral

13. Butyl Tape

Butyl tape digunakan untuk merekatkan *vacuum bagging film* di setiap sisi dan menutup lubang – lubang agar tidak terjadi kebocoran udara.



Gambar 3- 14 *Butyl Tape*

14. Cairan Resin

Cairan resin digunakan untuk pengikat *carbonfiber* agar menjadi kaku. Cairan yang digunakan pada penelitian ini adalah resin jenis *Epoxy EPR 168 TDS*.



Gambar 3- 15 Cairan Resin

15. Cairan Hardener

Cairan *hardener* digunakan untuk campuran resin agar cepat kering atau mempercepat proses reaksi. *Hardener* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Epoxy Hardener EPH 168 TDS*.



Gambar 3- 16 Cairan Hardener

16. Timbangan

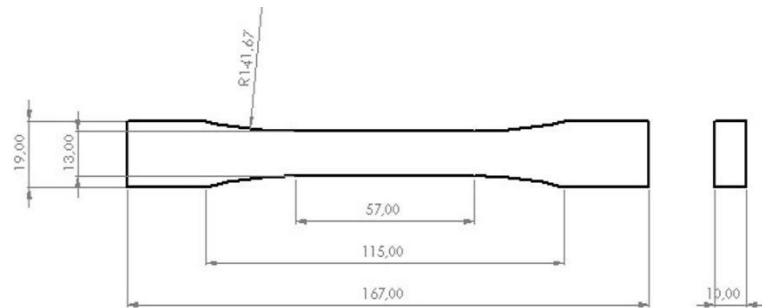
Timbangan digunakan sebagai untuk menghitung perbandingan antara massa resin dan massa *hardener*.



Gambar 3- 17 Timbangan

3.3 Dimensi Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah hasil cetak 3D Printing sebanyak 21 spesimen dengan bahan PLA yang mengacu pada standar ASTM D 638 dengan panjang 167mm, lebar luar 19mm, lebar dalam 13mm, dan tebal 10mm, serta *infill* 20% dengan *fill pattern gyroid*.



Gambar 3- 18 Dimensi Spesimen dengan Standart ASTM D 638

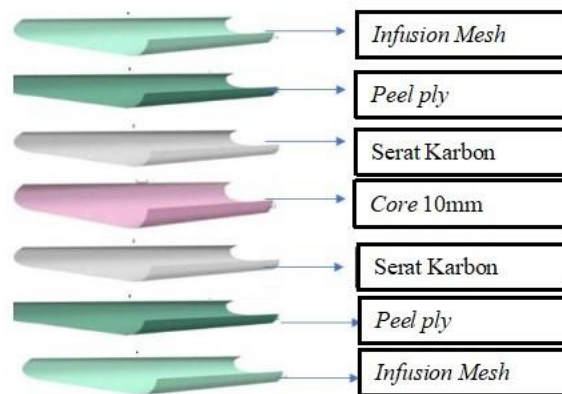
Pada gambar 3- 18 menunjukkan dimensi spesimen yang akan dibuat pada penelitian ini. Pada penelitian ini *core* dibuat dari bahan PLA dengan *core* dilakukan *pre-treatment* dengan menggunakan *curing* variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam sebanyak 18 spesimen lalu sebanyak 9 spesimen akan dilapisi komposit serta desain yang sama untuk *3D print* sebanyak 3 spesimen tanpa dilapisi komposit sebagai nilai pembanding sebelum dilakukan proses *pre-treatment* dengan menggunakan *curing* dan sesudah dilakukan *vacuum infusion*.

Tabel 3- 1 Hasil Pengukuran Dimensi Awal Spesimen *Vacuum Infusion*

Kode Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Berat (gr)
S K1_A	13mm	10mm	13gr
S K1_B	13mm	10mm	13gr
S K1_C	13mm	10mm	13gr
S K2_A	13mm	10mm	13gr
S K2_B	13mm	10mm	13gr
S K2_C	13mm	10mm	13gr
S K3_A	13mm	10mm	13gr
S K3_B	13mm	10mm	13gr
S K3_C	13mm	10mm	13gr

Pada Tabel 3- 1 menunjukkan perhitungan dimensi awal sebelum dilakukan proses *vacuum infusion*. Pada setiap variasi waktu *curing* spesimen dibuat sebanyak 3 spesimen yang dilapisi komposit dan 3 spesimen tanpa dilapisi komposit dan tanpa perlakuan apapun sehingga spesimen yang dibuat sebanyak 21 spesimen.

3.4 Susunan Lapisan Komposit Sandwich

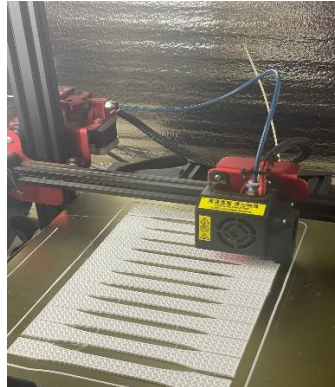


Gambar 3- 19 Susunan Lapisan Komposit *Sandwich*

Pada gambar 3- 19 diatas menunjukkan susunan lapisan komposit dengan ketebalan core 10mm dengan variasi waktu *pre-treatment* menggunakan *curing* dengan suhu $60^{\circ}C$ dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam menit dimana lapisan serat karbon sebanyak 1 lapis pada bagian atas dan bagian bawah lalu 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* PLA

Pada Gambar 3- 20 menunjukkan proses pembuatan spesimen yang dimensinya mengikuti standar ASTM D 638 dengan ukuran spesimen 167mm, lebar 19mm, dan tebal 10mm menggunakan mesin 3D *Printing*.

Tabel 3- 2 Parameter Proses Pembuatan *Core*

Bahan	PLA
Infill	20%
Suhu Bed	50°C
Suhu <i>Nozzle</i>	220°C
<i>Speed</i>	100 mm/s
<i>Layer Thickness</i>	0,2 mm
<i>Fill Pattern</i>	<i>Gyroid</i>

Pada Tabel 3- 2 diatas menunjukkan parameter yang digunakan dalam proses pengeprintan spesimen uji yang dibuat dengan menggunakan bahan PLA (*Poly Latctic Acid*) dengan *infill* 20%, *layer thickness* 0,2 mm, suhu *bed* 50°C, suhu *nozzle* 220°C, *speed* 100 mm/s dengan menggunakan *fill pattern gyroid*.

3.5.2 Proses *Curing* dengan Variasi Waktu

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan *pre-treatment* dengan *curing*.
2. Menyalakan oven dan mengatur suhu sebesar 60°C serta variasi waktu 1 jam + 10 menit untuk variasi tanpa *skin* komposit.

3. Setelah hampir 10 menit oven dipanaskan dilakukan pengukuran suhu menggunakan *thermogun* untuk mencari suhu optimal yang diinginkan yaitu sebesar $\pm 60^{\circ}C$.



Gambar 3- 21 Proses Pengukuran Suhu Setelah 10 Menit Pemanasan

4. Memasukkan spesimen yang akan diuji dengan variasi tanpa *skin* komposit kedalam oven selama 1 jam.



Gambar 3- 22 Proses *Curing* pada Spesimen

5. Mengeluarkan spesimen setelah dilakukan *curing* untuk dilakukan pendinginan dengan suhu ruangan.
6. Mengulangi langkah nomor 2 sampai nomor 5 sebanyak lima kali untuk variasi curing spesimen 2 jam, 3 jam tanpa *skin* komposit dan 1 jam, 2 jam, 3 jam yang akan dilakukan *skin* komposit *carbonfiber*.
7. Membersihkan dan merapikan alat dan bahan yang telah di gunakan dalam proses *curing*.

3.5.3 Proses *Vacuum Infusion*

1. Memotong *vacuum bagging film*, *infusion mesh*, *peelply*, dan serat *carbonfiber* sesuai dengan jumlah spesimen yang akan di *vacuum*.

2. Melapisi serat *carbonfiber* dan spesimen balok menggunakan lem *epoxy dexton* agar merekat dan menempel dengan kuat.
3. Menyusun bagian – bagian yang telah dipotong sesuai dengan komposisi komposit *sandwich*.
4. Memasang selang spiral seperti membentuk huruf U untuk mempercepat aliran resin.
5. Memasukkan spesimen tadi yang telah menyatu dengan *carbonfiber* ke dalam *vacuum bagging film*.
6. Memasukkan selang resin (*inlet*) ke dalam *vacuum bagging film*.
7. Menutup semua sisi *vacuum bagging film* menggunakan *butyl tape* agar tidak terjadi kebocoran udara.
8. Menyambungkan semua bagian menggunakan selang udara dan memasang kran bensin pada selang udara untuk membuka dan menutup saluran udara.
9. Menyalakan mesin *vacuum pump* dan tutup saluran udara pada kran bensin hingga mencapai tekanan yang cukup.
10. Memastikan semua bagian tidak terjadi kebocoran udara dan menutup menggunakan *butyl tape* jika terjadi kebocoran udara.
11. Menyiapkan resin dan katalis (*hardener*) lalu dicampur dengan rasio 100:30.
12. Membuka kran bensin pada saluran *inlet* secara bersamaan yang siap mengalirkan resin ke semua bagian cetakan dan proses *Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI)* dilakukan secara perlahan.
13. Menutup kran bensin jika resin sudah masuk dan merata pada seluruh bagian cetakan dan memastikan tertutup dengan rapat agar tidak ada udara yang masuk ke dalam cetakan.
14. Mendinginkan cetakan hingga mengering dalam waktu 7 hari.
15. Membuka cetakan dan *finishing*.



Gambar 3- 23 Proses Vacuum Infusion

3.5.4 Hasil Setelah Proses *Vacuum Infusion*

1. Membuka *Vacuum Bagging Film* setelah proses pengeringan dengan suhu ruangan selama 7 hari.
2. Memisahkan kain *infusion mesh* dan kain *peelply* dari *core* dan carbon yang telah menyatu dengan resin.
3. Pemotongan hasil *vacuum infusion* dengan menggunakan gerinda.



Gambar 3- 24 Hasil Finishing

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengujian Tarik

Spesimen yang telah di cetak dengan 3D *Printing* sesuai standar ASTM D 638 selanjutnya dilakukan proses *curing* dan di komposit dengan metode *vacuum infusion* maka di uji menggunakan metode pengujian tarik. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik, Teknik Mesin Universitas Gajah Mada. Berikut langkah – langkah dalam melakukan pengujian tarik dari spesimen yang telah dibuat:

1. Membuat spesimen uji dari produk yang telah dibuat sesuai standar ASTM D 638. Produk dengan 3DP tanpa curing dan tanpa *skin*, 3DP *curing* 1 jam, 2 jam, 3 jam dan tanpa *skin*, dan 3DP curing 1 jam, 2 jam, 3 jam dan dengan *skin* masing – masing 3 buah spesimen uji. Total specimen yang akan diujikan sebanyak 21 buah.
2. Mengukur dimensi spesimen sebelum dilakukan pengujian.
3. Memasukkan dan men-setting kertas milimeter blok diatas mesin *plotter*.
4. Memasang spesimen yang akan di uji pada penjepit dan memastikan terjepit dengan tepat dan benar.
5. Menjalankan mesin pengujian tarik.
6. Setelah terjadi patahan lalu hentikan mesin.
7. Mencatat data dari hasil pengujian yang didapatkan
8. Mengulangi proses no 4 – 7 untuk melakukan pengujian tarik selanjutnya sampai 21 spesimen telah selesai diuji.



Gambar 4- 1 Proses Pengujian Tarik

4.2 Hasil Pengujian Tarik

Setelah dilakukan pengujian tarik di Laboratorium Bahan Teknik, Teknik Mesin Universitas Gajah Mada dengan mesin uji tarik *Universal Testing Machine*. Berikut hasil pengujian yang telah dilakukan:

1. Spesimen sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 4- 2 Spesimen Sebelum Pengujian

2. Spesimen setelah dilakukan pengujian.



Gambar 4- 3 Spesimen Setelah Pengujian

3. Data hasil pengujian tarik spesimen.

Tabel 4- 1 merupakan data hasil pengujian tarik yang didapatkan dari Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gajah Mada. Untuk beban maksimal yaitu pada spesimen S K3_C yaitu sebesar 6000 N dan Tegangan terbesar pada spesimen S K3_B yaitu sebesar 36,08 KN. Beban maksimal merupakan gaya yang menarik spesimen dari kedua arah secara bersamaan.

Tabel 4- 1 Hasil Pengujian Tarik

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1.	TS A0_A	10,13	13,28	1,98	3,52	14,72	7,04
2.	TS A0_B	10,01	12,85	2,02	4,98	15,70	9,96
3.	TS A0_C	10,04	12,97	1,99	2,44	15,28	4,88
4.	TS C1_A	10,32	12,85	2,04	3,27	15,38	6,54
5.	TS C1_B	10,24	13,05	1,99	4,46	14,89	8,92
6.	TS C1_C	10,28	12,77	2,09	3,38	15,92	6,76
7.	TS C2_A	10,35	13,12	2,04	3,65	15,02	7,30
8.	TS C2_B	10,35	12,86	1,99	2,89	14,95	5,78
9.	TS C2_C	10,30	12,84	2,03	3,23	15,35	6,46
10.	TS C3_A	10,35	13,28	2,00	3,55	14,55	7,10
11.	TS C3_B	10,22	13,36	2,08	3,48	15,23	6,96
12.	TS C3_C	10,28	13,57	2,07	3,87	14,84	7,74
13.	S K0	10,63	14,56	3,91	10,80	25,26	21,60
14.	S K1_A	11,10	13,93	4,72	6,04	30,53	12,08
15.	S K1_B	11,08	14,00	4,90	6,27	31,59	12,54
16.	S K1_C	11,51	14,00	4,59	6,75	28,48	13,50
17.	S K2_A	11,55	14,13	5,38	7,05	32,97	14,10
18.	S K2_B	11,59	14,44	5,28	5,76	31,55	11,52
19.	S K2_C	11,65	14,49	4,46	4,61	26,42	9,22
20.	S K3_A	11,55	14,20	5,87	9,46	35,79	18,92
21.	S K3_B	11,55	13,92	5,80	6,98	36,08	13,96
22.	S K3_C	11,69	14,33	6,00	9,47	35,82	18,84
23.	Type 3	10,12	19,30	1,98	3,52	10,14	7,04

Tabel 4- 2 merupakan keterangan dari spesimen yang digunakan pada saat pengujian tarik. Dimana terdapat variasi waktu pemanasan dan spesimen yang menggunakan *skin (carbon fiber)* dan spesimen yang tanpa menggunakan *skin (carbon fiber)*.

Tabel 4- 2 Keterangan Spesimen

No.	Kode Spesimen	<i>Non Curing</i>	<i>Curing</i>			<i>Skin Carbon fiber</i>
			1 Jam	2 Jam	3 Jam	
1.	TS A0_A	V	-	-	-	-
2.	TS A0_B	V	-	-	-	-
3.	TS A0_C	V	-	-	-	-
4.	TS C1_A	-	V	-	-	-
5.	TS C1_B	-	V	-	-	-
6.	TS C1_C	-	V	-	-	-
7.	TS C2_A	-	-	V	-	-
8.	TS C2_B	-	-	V	-	-
9.	TS C2_C	-	-	V	-	-
10.	TS C3_A	-	-	-	V	-
11.	TS C3_B	-	-	-	V	-
12.	TS C3_C	-	-	-	V	-
13.	S K0	V	-	-	-	V
14.	S K1_A	-	V	-	-	V
15.	S K1_B	-	V	-	-	V
16.	S K1_C	-	V	-	-	V
17.	S K2_A	-	-	V	-	V
18.	S K2_B	-	-	V	-	V
19.	S K2_C	-	-	V	-	V
20.	S K3_A	-	-	-	V	V
21.	S K3_B	-	-	-	V	V
22.	S K3_C	-	-	-	V	V
23.	Type 3	V	-	-	-	-

4.3 Analisis dan Pembahasan

1. Analisis Data

Pada pengujian ini spesimen yang telah diujikan adalah *core* tanpa komposit *sandwich* dan *core* dengan komposit *sandwich* dengan kode spesimen TS A0, TS C1, TS C2, TS C3, S K1, S K2, dan S K3. Dari hasil pengujian tarik didapatkan sifat – sifat mekanik yaitu tegangan, regangan, dan kekuatan tarik. *Density* spesimen 3D *Printing* ini yaitu 20% dengan *infill pattern gyroid*.

Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan hasil pada pengujian tarik ini:

a. Menghitung Nilai Beban Tarik Spesifik

Nilai kekuatan tarik dapat dicari dengan dibagi berat nya. Sebagai contoh perhitungan kita gunakan data spesimen dengan kode S K1_A:

$$\delta = \frac{P_{max}}{W} \quad (4.1)$$

$$\delta = \frac{4720}{19,11}$$

$$\delta = 246,99 \text{ N/gr}$$

Keterangan:

δ = Beban tarik spesifik (N/gr)
 P_{max} = Beban maksimal (N)
 W = Berat (gr)

b. Menghitung Nilai Tegangan

Nilai tegangan dapat dilihat pada tabel 4- 1 sebagai contoh data spesimen dengan kode S K1_A:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.2)$$

$$\sigma = \frac{4720}{11,10 \times 13,93}$$

$$\sigma = 30,53 \text{ MPa}$$

Keterangan:

σ = Tegangan (MPa)
 P = Beban (N)
 A = Luas Penampang (mm²)

c. Menghitung Nilai Regangan

Nilai regangan dapat dilihat pada tabel 4- 1 sebagai contoh data spesimen dengan kode S K1_A:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon = \frac{6,04}{50}$$

$$\varepsilon = 0,1208 \times 100\%$$

$$\varepsilon = 12,08\%$$

Keterangan:

ε = Regangan (%)

ΔL = Penambahan Panjang

L_0 = Panjang Awal

2. Pembahasan

Pengujian tarik mendapatkan nilai kekuatan tarik, beban maksimal, regangan. Setiap variasi *core* dilakukan pengujian sebanyak 3 spesimen yang akan di rata – rata serta membandingkan *core* tanpa *skin*. Terdapat 3 spesimen dengan *curing* 1 jam + *skin carbon fiber*, Terdapat 3 spesimen dengan *curing* 2 jam + *skin carbon fiber*, Terdapat 3 spesimen dengan *curing* 3 jam + *skin carbon fiber*. Berikut hasil pembahasan dari pengujian tarik yang telah dilakukan:

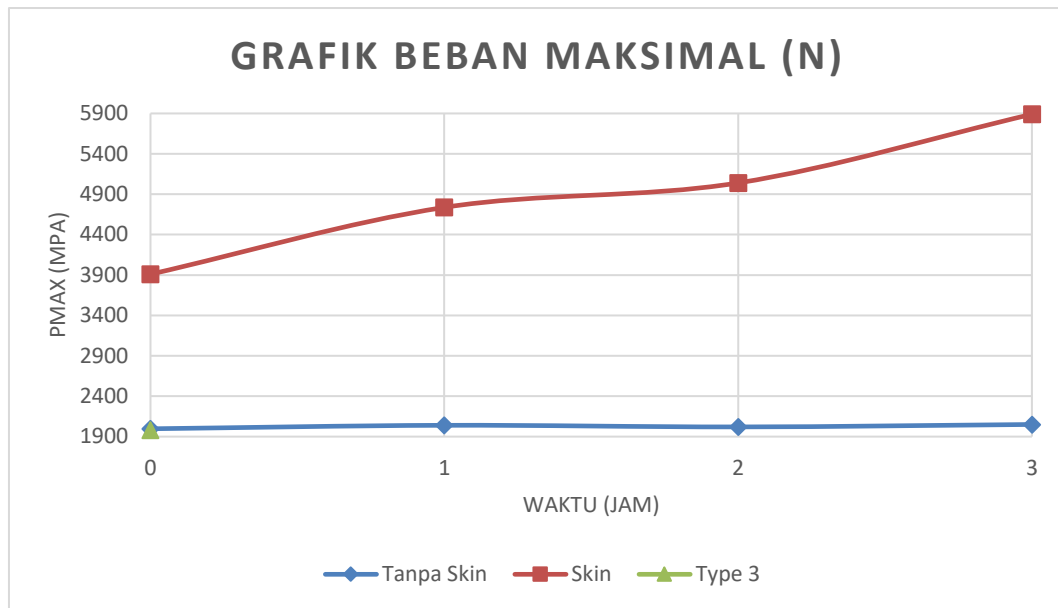
a. Beban Maksimal (Pmax)

Beban maksimal merupakan beban atau gaya maksimal untuk mematahkan spesimen uji tarik.

Tabel 4- 3 Beban Maksimal

No.	Spesimen	Pmax (N)			
		A	B	C	Rata - rata
1.	TS A0	1980	2020	1990	1997
2.	TS C1	2040	1990	2090	2040
3.	TS C2	2040	1990	2030	2020
4.	TS C3	2000	2080	2070	2050
5.	S K0	3910			
6.	S K1	4720	4900	4590	4740
7.	S K2	5380	5280	4460	5040
8.	S K3	5870	5800	6000	5890
9.	Type 3	1980			

Data pada tabel 4- 3 di dapat saat spesimen patah melalui pengujian dengan mesin *Universal Testing Machine*.



Gambar 4- 4 Grafik Beban Maksimal

Pada gambar 4- 4 nilai rata – rata spesimen dengan tanpa proses *curing* + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 3910 N, proses *curing* 1 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 4740 N, proses *curing* 2 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 5040 N dan proses *curing* 3 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 5890 N. Pada gambar 4- 4 diatas menunjukkan grafik beban maksimal, dimana semakin lama pemanasan dan ditambah dengan *skin* (*carbon fiber*) maka nilai beban maksimalnya semakin besar. Data pada tabel 4- 3 menunjukkan bahwa nilai beban maksimal pada spesimen yang telah dilapisi *skin* pada spesimen K3_C yaitu 6000 N dan nilai terendah pada spesimen K0 yaitu 3910 N. Pada grafik ini juga menunjukkan bahwa spesimen uji yang dilapisi *skin* (*carbon fiber*) dan dilakukan proses *curing* sebelum melakukan *vacuum resin assisted infusion* (VARI) memiliki beban maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen uji yang tidak dilapisi dengan komposit *sandwich*. Perbandingan beban maksimal untuk mematahkan spesimen antara skin dan tanpa skin hingga 2 - 3 kali lipat.

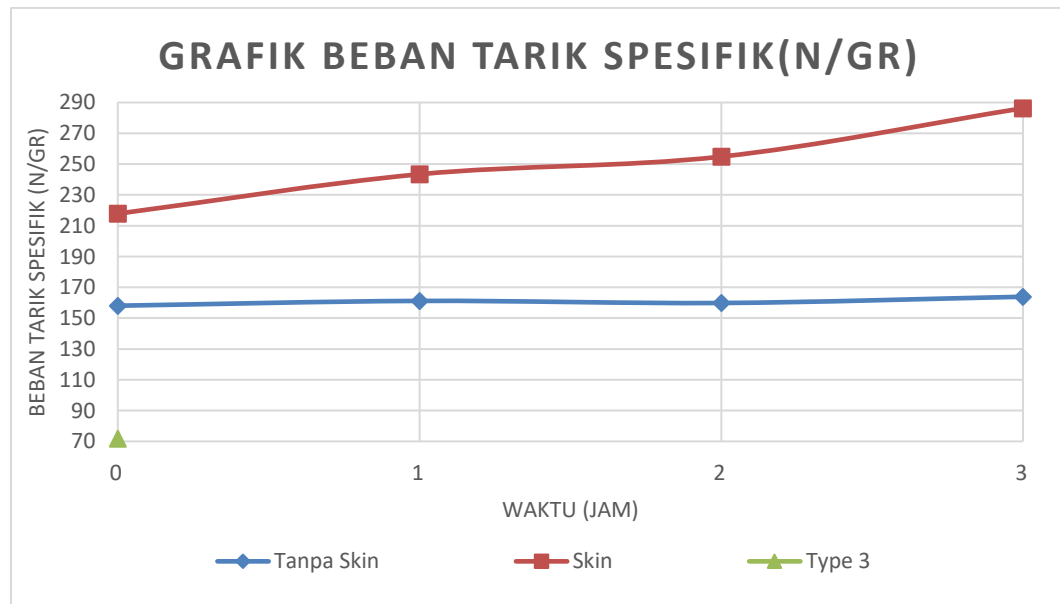
b. Beban Tarik Spesifik

Pengujian tarik mendapatkan hasil nilai beban tarik disetiap spesimen nya. Berikut hasil kekuatan tarik yang diperoleh:

Tabel 4- 4 Beban Tarik Spesifik

No.	Spesimen	Beban Tarik Spesifik (N/gr)			
		A	B	C	Rata - rata
1.	TS A0	156,77	159,94	157,56	158,09
2.	TS C1	160,83	158,57	164,44	161,21
3.	TS C2	161,52	157,06	160,98	159,86
4.	TS C3	162,47	165,87	163,38	163,91
5.	S K0	217,83			
6.	S K1	246,99	255,61	227,68	243,43
7.	S K2	258,16	276,01	230,37	254,85
8.	S K3	275,07	290,29	293,54	286,30
9.	Type 3	71,71			

Pada data hasil spesimen core dengan skin dan tanpa skin. Hasil yang digunakan sebagai perbandingan untuk grafik yaitu dari rata – rata.



Gambar 4- 5 Grafik Beban Tarik Spesifik

Pada gambar 4- 5 nilai rata – rata spesimen dengan tanpa proses *curing* + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 217,83 N/gr, proses *curing* 1 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 243,43 N/gr, proses *curing* 2 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 254,85 N/gr dan proses *curing* 3 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar N/gr MPa. Hasil data

grafik beban tarik rata-rata, dimana semakin lama pemanasan dan ditambah dengan *skin (carbon fiber)* maka beban tariknya semakin besar. Data pada tabel 4-4 menunjukkan bahwa beban tarik yang telah dilapisi *skin* pada spesimen kode S K3_C memiliki nilai tertinggi dengan 293,54 N/gr dan nilai terendah yang telah dilapisi *skin* terdapat pada kode S K0 dengan 217,83 N/gr. Penambahan beban tarik variasi waktu *curing* mengalami peningkatan antara yang dilapisi *skin* dan tidak dilapisi *skin*, untuk tanpa *curing* spesimen yang dilapisi *skin* pertambahan beban 1,38x dari yang tanpa *skin*. *Curing* 1 jam spesimen yang dilapisi *skin* pertambahan beban 1,51x dari yang tanpa *skin*. *Curing* 2 jam spesimen yang dilapisi *skin* pertambahan beban 1,59x dari yang tanpa *skin*, *Curing* 3 jam spesimen yang dilapisi *skin* pertambahan beban 1,75x dari yang tanpa *skin*. Dan untuk berat pada spesimen pada kode A0 yaitu sebesar 12,63 gram, kode C1 sebesar 12,65 gram, kode C2 sebesar 12,64 gram, kode C3 sebesar 12,51 gram, kode K0 sebesar 17,95 gram, kode K1 sebesar 19,48 gram, kode K2 sebesar 19,78 gram, kode K3 sebesar 20,59 gram, dan kode Type 3 sebesar 27,61 gram.

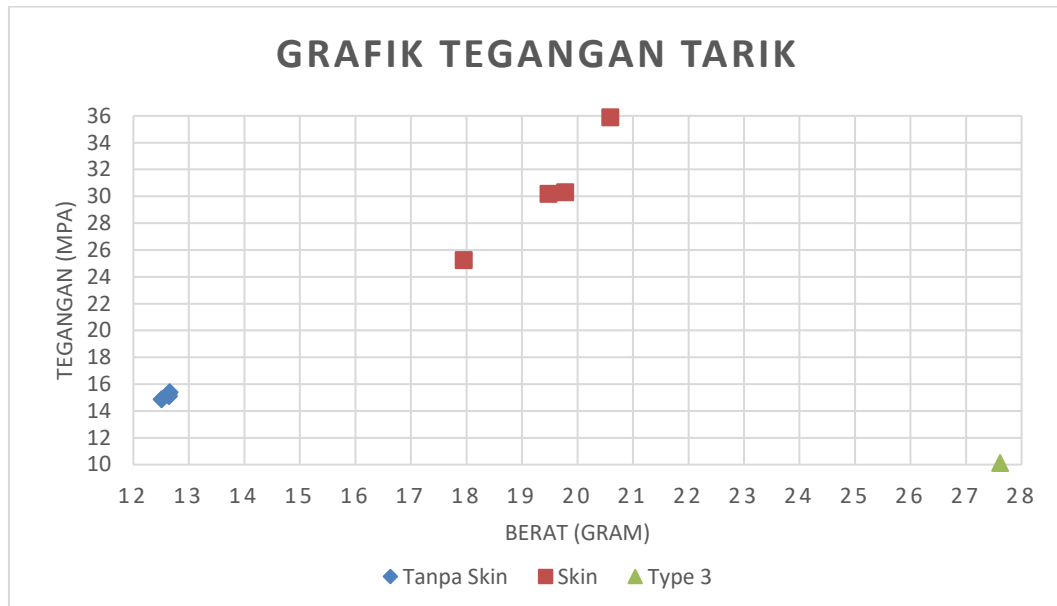
c. Tegangan Tarik

Tegangan tarik merupakan besar gaya tarik dibagi dengan luas penampang suatu benda. Tegangan tarik termasuk gaya persatuan luas.

Tabel 4- 5 Tegangan Tarik

No.	Spesimen	Tegangan Tarik (MPa)			
		A	B	C	Rata - rata
1.	TS A0	14,72	15,70	15,28	15,23
2.	TS C1	15,38	14,89	15,92	15,40
3.	TS C2	15,02	14,95	15,35	15,11
4.	TS C3	14,55	15,23	14,84	14,87
5.	S K0	25,26			
6.	S K1	30,53	31,59	28,48	30,20
7.	S K2	32,97	31,55	26,42	30,31
8.	S K3	35,79	36,08	35,82	35,89
9.	Type 3	10,14			

Pada data hasil spesimen core dengan *skin* dan tanpa *skin*. Hasil yang digunakan sebagai perbandingan untuk grafik yaitu dari rata – rata.

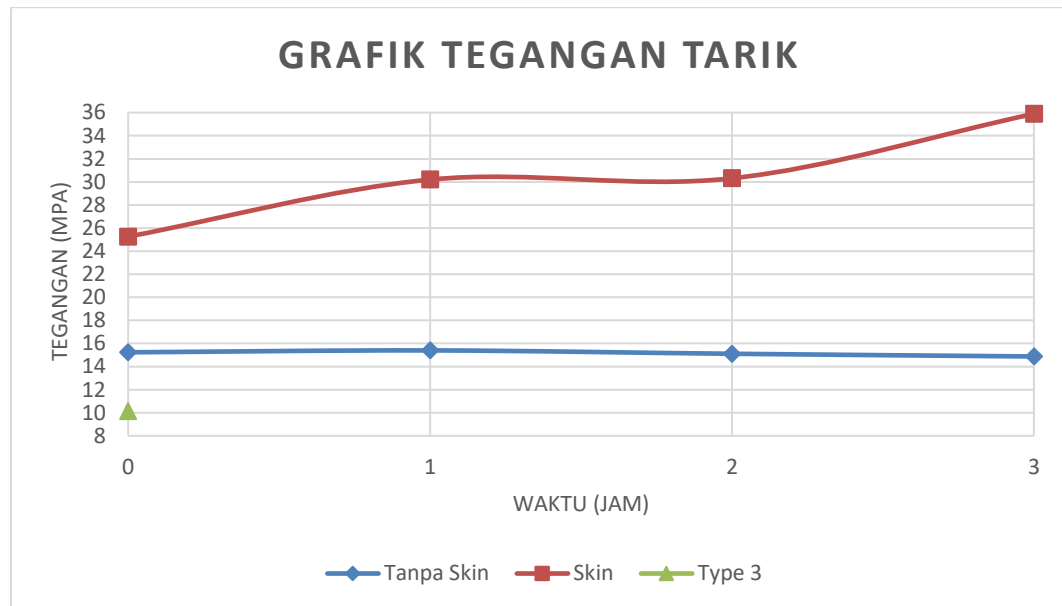


Gambar 4- 6 Grafik Tegangan Tarik Terhadap Berat

Pada gambar 4- 6 nilai rata – rata spesimen dengan tanpa proses *curing* + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 25,26 MPa, proses *curing* 1 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 30,20 MPa, proses *curing* 2 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 30,28 MPa dan proses *curing* 3 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 35,89 MPa. Hasil data grafik tegangan tarik rata-rata, dimana semakin lama pemanasan dan ditambah dengan *skin* (*carbon fiber*) maka tegangan tariknya semakin besar. Data pada tabel 4- 5 menunjukkan bahwa tegangan tarik yang telah dilapisi *skin* pada spesimen kode S K3_B memiliki nilai tertinggi dengan 36,08 MPa dan nilai terendah yang telah dilapisi *skin* terdapat pada kode S K0 dengan 25,26 MPa.

Penambahan tegangan tarik variasi waktu *curing* mengalami peningkatan antara yang dilapisi *skin* dan tidak dilapisi *skin* dikarenakan pada saat perlakuan pemanasan membuat infill menjadi rapat, maka untuk tanpa proses *curing* spesimen yang dilapisi *skin* pertambahan kekuatannya 1,66x dari yang tanpa *skin*. *Curing* 1 jam spesimen yang dilapisi *skin* pertambahan kekuatannya 1,96x dari yang tanpa *skin*. *Curing* 2 jam spesimen yang dilapisi *skin* pertambahan kekuatan 2x dari yang tanpa *skin*, *Curing* 3 jam spesimen yang dilapisi *skin* pertambahan kekuatan 2,41x dari yang tanpa *skin*. Dan untuk berat pada spesimen pada kode A0 yaitu sebesar 12,63 gram, kode C1 sebesar 12,65 gram, kode C2 sebesar 12,64 gram, kode C3 sebesar 12,51 gram, kode K0 sebesar 17,95 gram, kode K1 sebesar 19,48 gram, kode K2 sebesar 19,78 gram, kode K3 sebesar 20,59 gram,

dan kode Type 3 sebesar 27,61 gram. Untuk gambar 4- 6 menunjukkan perbandingan grafik tegangan tarik terhadap berat sedangkan gambar 4- 7 menunjukkan perbandingan grafik tegangan tarik terhadap waktu.



Gambar 4- 7 Grafik Tegangan Tarik Terhadap Waktu

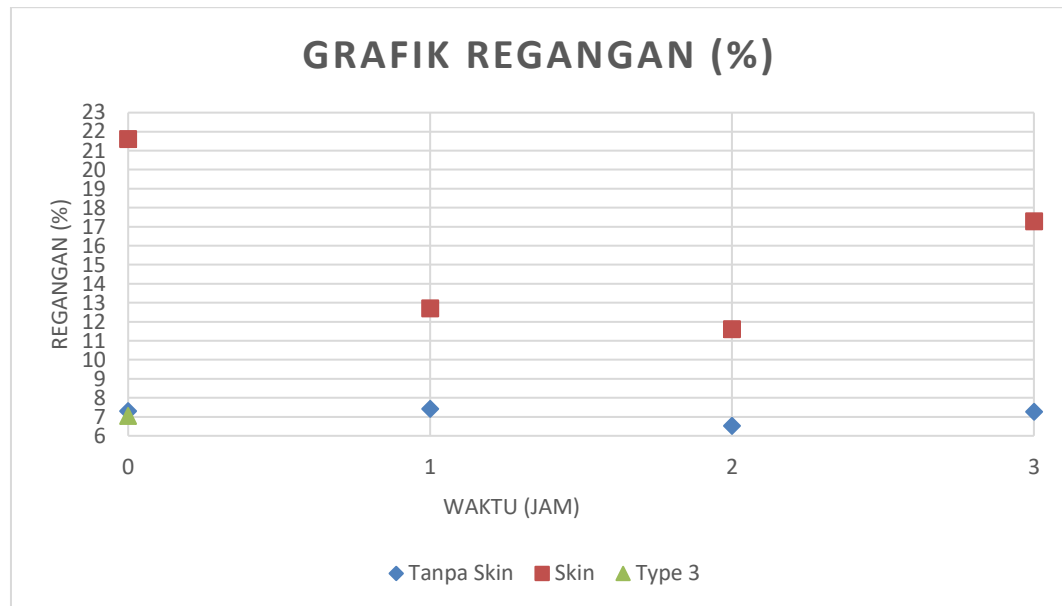
d. Regangan

Regangan merupakan pertambahan panjang spesimen setelah melakukan pengujian yang selanjutnya data tersebut akan diolah.

Tabel 4- 6 Regangan

No.	Spesimen	Regangan (%)			
		A	B	C	Rata - rata
1.	TS A0	7,04	9,96	4,88	7,29
2.	TS C1	6,54	8,92	6,76	7,41
3.	TS C2	7,30	5,78	6,46	6,51
4.	TS C3	7,10	6,96	7,74	7,27
5.	S K0	21,60			
6.	S K1	12,08	12,54	13,50	12,71
7.	S K2	14,10	11,52	9,22	11,61
8.	S K3	18,92	13,96	18,94	17,27
9.	Type 3	7,04			

Tabel 4- 6 merupakan data hasil regangan dari pengujian yang dilakukan pada spesimen *core* dengan *skin* dan tanpa *skin*. Hasil yang digunakan sebagai perbandingan untuk grafik yaitu dari rata – rata.



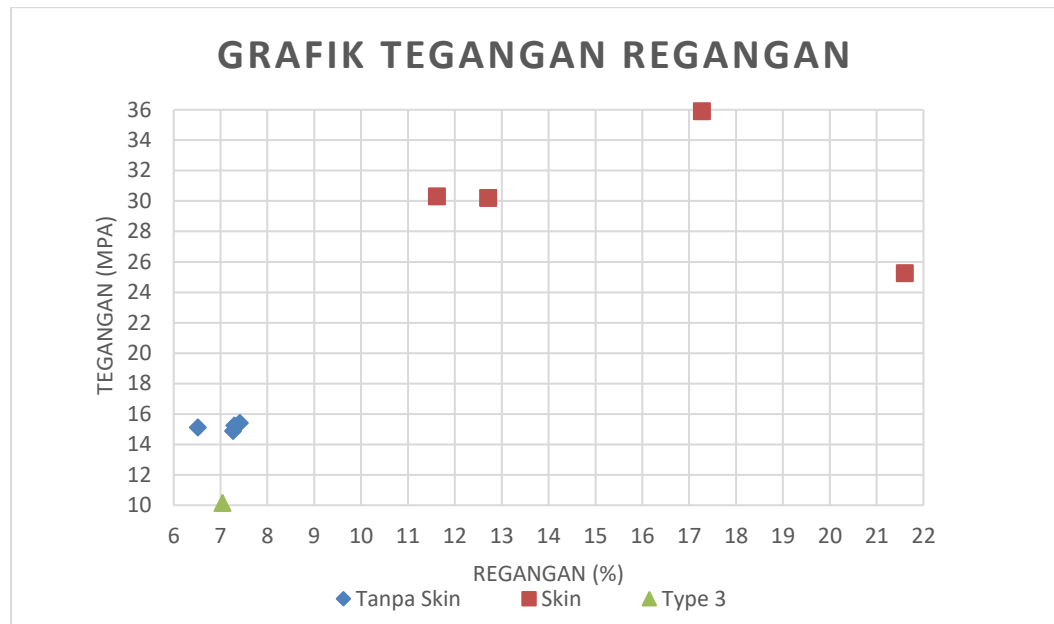
Gambar 4- 8 Grafik Regangan

Pada gambar 4- 8 nilai rata – rata spesimen dengan tanpa proses *curing* + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 21,60%, proses *curing* 1 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 12,71%, proses *curing* 2 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 11,61% dan proses *curing* 3 jam + *skin* (*carbon fiber*) sebesar 17,27%. Hasil data diatas menunjukkan grafik regangan, dimana semakin lama waktu pemanasan maka nilai regangannya semakin besar akan tetapi terdapat juga penurunan nilai regangan seperti yang ditunjukkan pada grafik. Data pada tabel 4- 5 menunjukkan bahwa nilai regangan yang telah dilapisi skin pada spesimen K0 tertinggi yaitu 21,60 % dan nilai terendah pada spesimen K2_C yaitu 9,22%. Untuk nilai tertinggi terjadi spesimen sampai putus akan tetapi terjadi diluar batas yang diberikan dan nilai terendah itu terjadi karena patahan terjadi diluar batas yang diberikan akan tetapi *skin* masih menahan *core* sehingga tidak benar – benar patah spesimen tersebut akibat tertahan oleh *skin*.

e. Grafik Tegangan dan Regangan

Pada gambar 4- 9 nilai rata - rata tegangan regangan hasil pengujian spesimen yaitu pada spesimen tanpa skin dengan kode A0 tegangan sebesar 15,23 MPa dan regangan sebesar 7,29%. Kode C1 tegangan sebesar 15,40 MPa dan

regangan sebesar 7,41%. Kode C2 tegangan sebesar 15,11 MPa dan regangan sebesar 6,51%. Kode C3 tegangan sebesar 14,87 MPa dan regangan sebesar 7,27%.

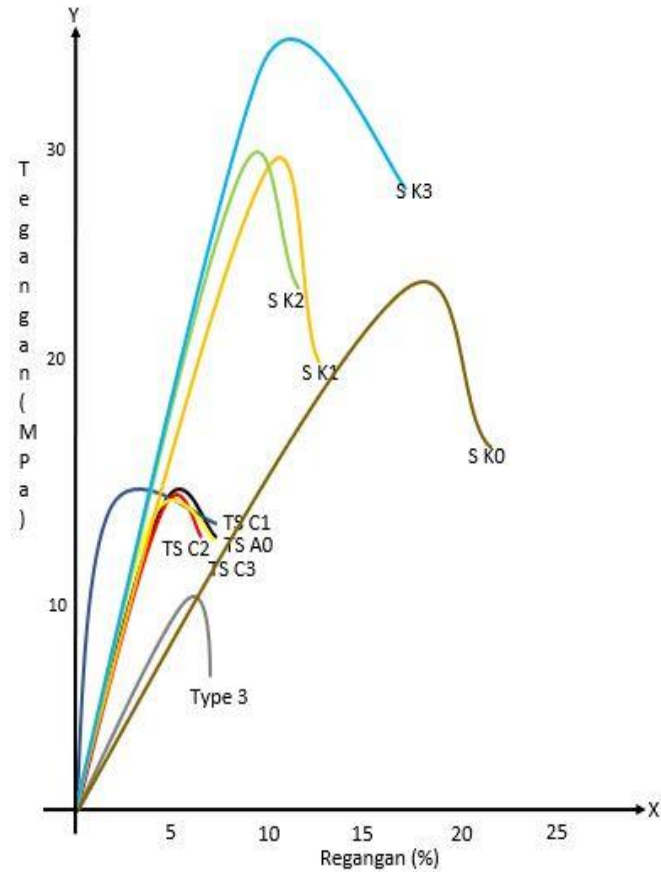


Gambar 4- 9 Grafik Tegangan Regangan

Kode K0 tegangan sebesar 25,26 MPa dan regangan sebesar 21,60%. K1 tegangan sebesar 30,20 MPa dan regangan sebesar 12,71%. Kode K2 tegangan sebesar 30,31 MPa dan regangan sebesar 11,61%. Kode K3 tegangan sebesar 35,89 MPa dan regangan sebesar 17,27%. Kode Type 3 tegangan sebesar 10,14 MPa dan regangan sebesar 7,04%. Hasil diatas menunjukkan bahwa tegangan tertinggi terdapat pada spesimen kode K3 yaitu sebesar 35,89 MPa dan tegangan terkecil pada spesimen kode Type 3 sebesar 10,14 MPa dan untuk regangan tertinggi terdapat pada spesimen kode K0 yaitu sebesar 21,60% dan regangan terkecil terdapat pada spesimen kode C2 sebesar 6,51%.

Pada gambar 4- 10 Grafik Tegangan Regangan hasil tersebut didapatkan dari milimeter blok pengujian tarik dan digambar ulang seperti yang ada pada hasil pengujian pada milimeter blok dan diambil rata – rata dari data yang didapatkan pada hasil pengujian tarik. Dimana untuk warna hitam menunjukkan spesimen dengan kode A0. Warna *navy* menunjukkan spesimen dengan kode C1. Warna merah menunjukkan spesimen dengan kode C2. Warna kuning menunjukkan spesimen dengan kode C3. Warna Coklat menunjukkan spesimen dengan kode K0. Warna *orange* menunjukkan spesimen dengan kode K1. Warna

hijau menunjukkan spesimen dengan kode K2. Warna biru muda menunjukkan spesimen dengan kode K3. Warna abu - abu menunjukkan spesimen dengan kode Type 3.



Gambar 4- 10 Grafik Tegangan Regangan Hasil Pengujian

4.4 Modus Kegagalan dan Bentuk Patahan

Jenis patahan dan modus kegagalan yang terjadi setelah dilakukan pengujian tarik pada *core* tanpa komposit *sandwich* dan *core* dengan komposit *sandwich* dengan kode spesimen A0, C1, C2, C3, K0, K1, K2, K3, dan *Type 3*. Maka akan dianalisis bentuk patahan dan modus kegagalan tersebut, sebagai berikut:

1. Spesimen Kode A0



Gambar 4- 11 Bentuk Patahan Spesimen Kode A0

Berdasarkan gambar 4- 11 bentuk patahan pada spesimen adalah *Lateral Gage Middle* (LGM) di mana patahan terjadi pada bagian tengah spesimen .

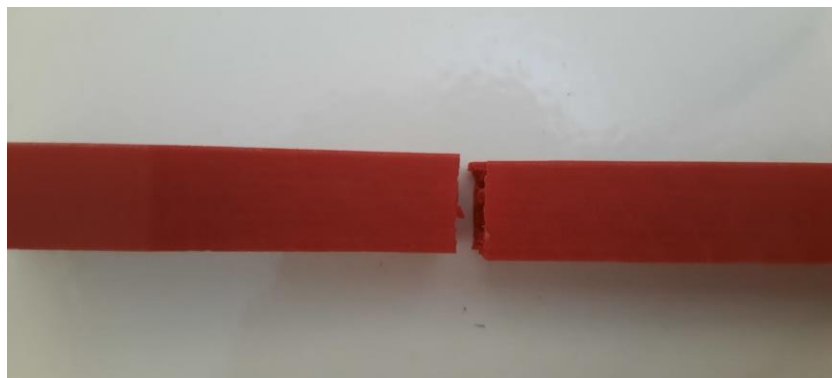
2. Spesimen Kode C1



Gambar 4- 12 Bentuk Patahan Spesimen Kode C1

Berdasarkan gambar 4- 12 bentuk patahan pada spesimen adalah *Lateral Gage Middle* (LGM) di mana patahan terjadi pada bagian Tengah spesimen .

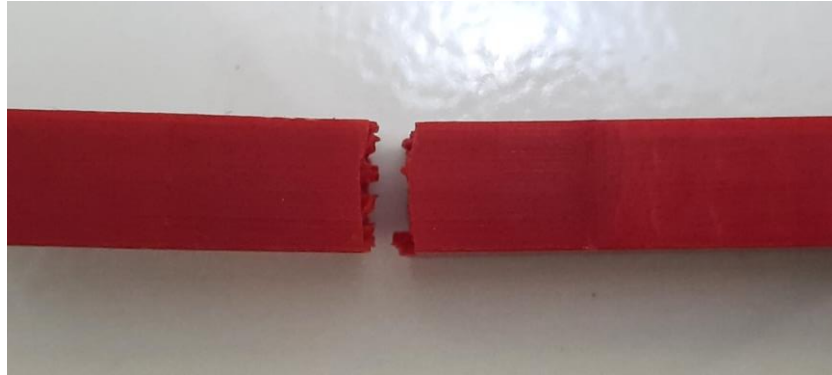
3. Spesimen Kode C2



Gambar 4- 13 Bentuk Patahan Spesimen Kode C2

Berdasarkan gambar 4- 13 bentuk patahan pada spesimen adalah *Lateral Gage Bottom* (LGB) dimana patahan spesimen terletak pada bagian bawah spesimen.

4. Spesimen Kode C3



Gambar 4- 14 Bentuk Patahan Spesimen Kode C3

Berdasarkan gambar 4- 14 bentuk patahan pada spesimen adalah *Lateral Gage Bottom* (LGB) dimana patahan spesimen terletak pada bagian bawah spesimen.

5. Spesimen Kode K0



Gambar 4- 15 Bentuk Patahan Spesimen Kode K0

Berdasarkan gambar 4- 15 modus kegagalan yang terjadi pada sampel spesimen K0 adalah *bond failure* yaitu dimana lapisan skin terlepas dari core. Sedangkan bentuk patahan pada spesimen K0 yaitu *Deleminasi At grip/tab Bottom* (DAB) dimana tipe kegagalan *deleminasi* pada kedua sisi spesimen pada bagian grip dan letak patahan terjadi di luar batas spesimen uji.

6. Spesimen Kode K1



Gambar 4- 16 Bentuk Patahan Spesimen Kode K1

Berdasarkan gambar 4- 16 modus kegagalan yang terjadi pada spesimen adalah *face yield* dan *bond failure* hal itu terjadi karena spesimen mengalami kegagalan akibat beban tarik dan *bond failure* yaitu dimana lapisan skin terlepas dari core. Sedangkan bentuk patahan pada spesimen tidak terjadi patahan hanya *deleminasi*.

7. Spesimen Kode K2



Gambar 4- 17 Bentuk Patahan Spesimen Kode K2



Gambar 4- 18 Perubahan Bentuk Spesimen Kode K2

Berdasarkan gambar 4- 17 modus kegagalan yang terjadi pada spesimen adalah *face yield* dan *bond failure* hal itu terjadi karena spesimen mengalami kegagalan akibat beban tarik dan *bond failure* yaitu dimana lapisan skin terlepas dari core. Sedangkan bentuk patahan pada spesimen adalah *Angled Gage Middle* (AGM) dimana letak patahan berada ditengah dan berbentuk sudut. Pada gambar 4- 18 terjadi kegagalan yaitu perubahan bentuk dimana spesimen membengkok saat dipanaskan pada proses *curing* selama 2 jam, hal ini terjadi dikarenakan penyebaran suhu pada *oven* tidak merata yang mengakibatkan spesimen tersebut menjadi membengkok seperti yang di tunjukkan pada gambar.

8. Spesimen Kode K3



Gambar 4- 19 Bentuk Patahan Spesimen Kode K3

Berdasarkan gambar 4- 19 modus kegagalan yang terjadi pada spesimen adalah *Deleminasi At grip/tab Bottom* (DAB) dimana tipe kegagalan *deleminasi* pada kedua sisi spesimen pada bagian grip dan letak patahan terjadi di luar batas spesimen uji.

9. Kode Spesimen Type 3



Gambar 4- 20 Bentuk Patahan Spesimen Kode K3

Berdasarkan gambar 4- 20 modulus kegagalan yang terjadi pada sampel spesimen *Type 3* adalah *Lateral Gage Middle* (LGM) di mana patahan terjadi pada bagian tengah spesimen.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan pengujian lalu menganalisis data maka dapat kesimpulan, yaitu :

1. Dari penelitian ini dapat disimpulkan jika perlakuan panas pada *core* tidak mempengaruhi kerapatan pada infill *gyroid*, akan tetapi penambahan *skin (carbon fiber)* yang menyebabkan kenaikan hasil tegangan tarik hal tersebut dibuktikan dengan pembandingan spesimen yang setelah dilakukan perlakuan panas dan diberi *skin (carbon fiber)* dengan *core* yang tanpa diberikan *skin (carbon fiber)*.
2. Untuk memperbaiki jenis ikatan terhadap *core* dan *skin* maka perlu memperhatikan proses pada *vacuum infusion* agar mendapatkan hasil spesimen komposit yang optimal dan tidak memiliki perbedaan dengan spesimen satu dengan yang lain nya.
3. Nilai beban tarik terbesar terdapat pada spesimen dengan variasi waktu curing 3 jam + *skin (carbon fiber)* yaitu dengan nilai beban tarik sebesar 286,30 N/gr sedangkan nilai beban tarik terendah terdapat pada spesimen dengan kode Type 3 yaitu sebesar 71,71 N/gr dimana spesimen tersebut dilakukan tanpa proses *curing* dan tanpa pelapisan *skin (carbon fiber)*.
4. Kegagalan yang terjadi setelah dilakukan pengujian yaitu *face yield* dan *bond failure*, dimana serat *carbon fiber* terlepas dari *core* dan pada saat pengujian gagal tarik yang mengakibatkan spesimen tidak putus dengan sempurna.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Setelah seluruh proses penelitian ini selesai dilakukan, penulis memberikan beberapa saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlakuan panas pada spesimen *core* PLA tidak mempengaruhi terhadap kekuatan.
2. Melakukan proses *vacuum infusion* dalam sekali waktu agar mendapat hasil yang optimal.
3. Menjaga alat – alat yang di laboratorium seperti tabung reservoir agar resin tidak masuk kedalam.
4. Menaruh di tempat yang datar saat penyusunan pembuatan komposit *sandwich*.
5. Menjauhkan *vacuum bag* dari benda – benda yang tajam agar tidak terjadi kebocoran pada saat dilakukan proses *vacuum infusion*.
6. Memastikan pada saat mencampurkan resin dan hardener diteliti kembali agar sesuai takaran standar yang ditentukan.
7. Menggunakan peralatan perlindungan K3 pada saat proses *finishing* seperti kaca mata pelindung dan sarung tangan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D638 - 14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM D3039 / D 3039M - 00, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Adriansyah, Y.I. (2021). Analisis Uji Bending Komposit Sandwich Yang Digabungkan 3D Printing. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/30579>
- Dantes, K.R. (2021). Composites Manufacturing and Testing. Depok: Raja Grafindo Perkasa.
- Hartono, Rifai, Muhammad, & Subawi, Handoko. Pengenalan Teknik Komposit. (2016). Yogyakarta: Deepublish.
- 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).
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/13638>
- Hidayat, Syarif. (2020). Aplikasi Perangkat Vacuum Infusion Untuk Pembuatan Komponen Berbahan Komposit. Seminar Nasional – XIX Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri, 17 Desember 2020, Kampus Institut Teknologi Nasional - Bandung.
<http://eprints.itenas.ac.id/id/eprint/838>
- Mawardi, I., dan Lubis, H. (2018). Proses Manufaktur Plastik dan Komposit. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Oktavilla, D.D.Y., (2020). Pengaruh Alkalisasi Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Pada Komposit Epoxy Berpenguat Serat Daun Nanas. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin Universitas Jember.

<http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/104161>

Prawira, G.P. (2022). Pengaruh Ketebalan Skin GFRP Pada Komposit Sandwich Terhadap Uji Tarik Menggunakan Metode Vacuum Infusion. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37977>

Putra, K.S., dan Sari, U.R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi. pp. 917-922. ISSN 2621-0428

<http://repository.ubaya.ac.id/id/eprint/32680>

Rahman, A.H. (2022). Pengaruh Ketebalan Variasi Core (3D Print) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI). Skripsi. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37823>

Rahmani, J.P. (2022). Studi Pengaruh Jenis Perekat dan Variasi Suhu Curing Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Menggunakan Core 3D Printing. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41698>

Salidenho, R.D., Soukotta, J., & Poeng, R. (2013). Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material. JURNAL POROS TEKNIK MESIN UNSRAT, 2(2).

<https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/poros/article/view/2990>

Salamun, B.A. (2017). Perancangan dan Pembuatan Alat Vacuum Infusion. Skripsi. Teknik Mesin Otomotif dan Manufaktur Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

<http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/15441>

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. Vol 9 No 02 (2021): JURNAL TEKNIK MESIN.

<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/40998>

Wijayanto, S.E.Y., Handoko, R., Noel, J.C., Anggariawan, T.W., & Suteja, J. (2022). Identifikasi Jenis Infill Pattern Pada Proses 3D Printing Yang Menghasilkan Hasil Cetak Dengan Kekuatan Tekan Dan Panjang Filamen Yang Optimal. *Rekayasa Mesin*, 13 (2). pp. 531-539. ISSN 2338-1663; E-ISSN 2477-6041.
<http://repository.ubaya.ac.id/id/eprint/42432>

LAMPIRAN



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	TS A0_A	10.13	13.28	1.98	3.52	14.72	7.04
2	TS A0_B	10.01	12.85	2.02	4.98	15.70	9.96
3	TS A0_C	10.04	12.97	1.99	2.44	15.28	4.88
4	TS C1_A	10.32	12.85	2.04	3.27	15.38	6.54
5	TS C1_B	10.24	13.05	1.99	4.46	14.89	8.92
6	TS C1_C	10.28	12.77	2.09	3.38	15.92	6.76
7	TS C2_A	10.35	13.12	2.04	3.65	15.02	7.30
8	TS C2_B	10.35	12.86	1.99	2.89	14.95	5.78
9	TS C2_C	10.30	12.84	2.03	3.23	15.35	6.46
10	TS C3_A	10.35	13.28	2.00	3.55	14.55	7.10
11	TS C3_B	10.22	13.36	2.08	3.48	15.23	6.96
12	TS C3_C	10.28	13.57	2.07	3.87	14.84	7.74
13	SK1_A	11.10	13.93	4.72	6.04	30.53	12.08
14	SK1_B	11.08	14.00	4.90	6.27	31.59	12.54
15	SK1_C	11.51	14.00	4.59	6.75	28.48	13.50
16	SK2_A	11.55	14.13	5.38	7.05	32.97	14.10
17	SK2_B	11.59	14.44	5.28	5.76	31.55	11.52
18	SK2_C	11.65	14.49	4.46	4.61	26.42	9.22
19	SK3_A	11.55	14.20	5.87	9.46	35.79	18.92
20	SK3_B	11.55	13.92	5.80	6.98	36.08	13.96
21	SK3_C	11.69	14.33	6.00	9.47	35.82	18.94

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
2. Standar spesimen menggunakan ASTM D638 Type I

Yogyakarta, 4 Maret 2023

Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa Material

Dr. Dika Purnama S.T., M.T.
NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	TS Type 3	10.12	19.30	1.98	3.52	10.14	7.04

Keterangan:

1. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
2. Standar spesimen menggunakan ASTM D638 Type 3

Yogyakarta, 4 April 2023

Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian **Anggisa**
Machail

Dr. Uluk **Pwisi Setyana** S.T., M.T.
Selolah Vokasi JGM
NIP-19710312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	SK 0	10.63	14.56	3.91	10.80	25.26	21.60

Keterangan:

1. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
2. Standar spesimen menggunakan ASTM D638 Type I

Yogyakarta, 22 Mei 2023

Staf Laboratorium Bahan Teknik

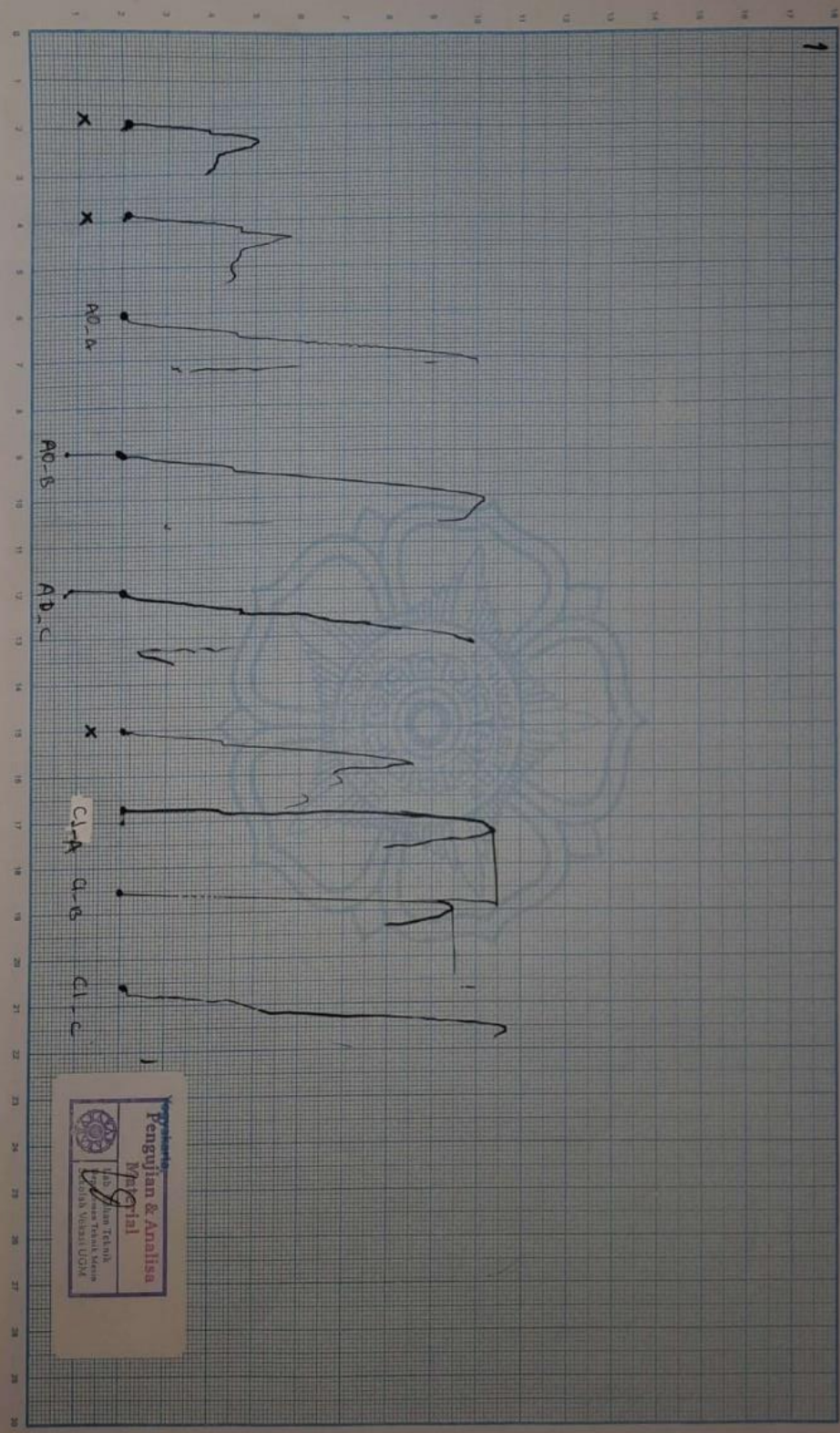
Pengujian & Analisa
Material
Dr. Enik Dwi Setyana, S.T., M.T
NIP. 197707312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



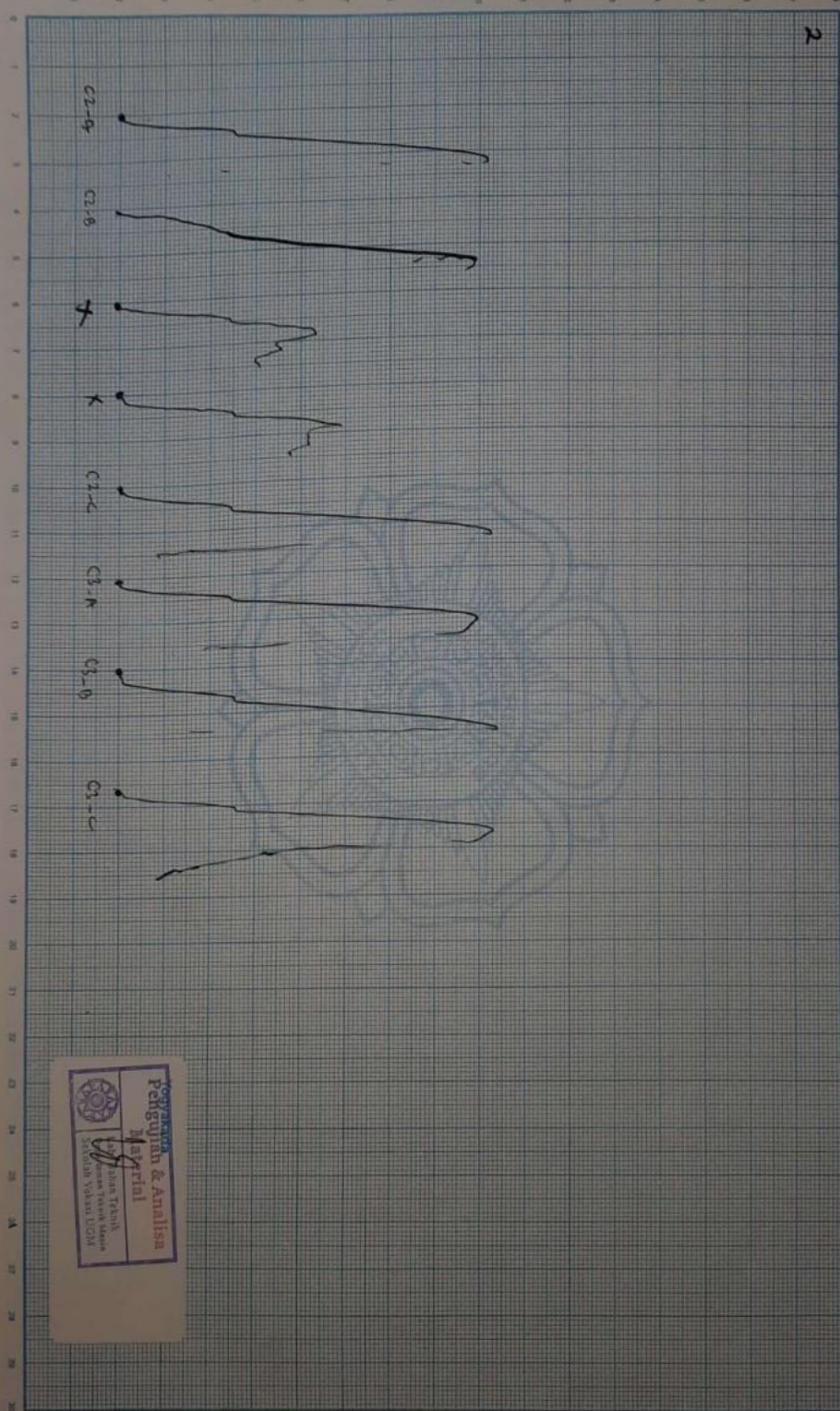
LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus 1, Gubuk 2A, Yogyakarta 55281 Telp. (0271) 588127, 582293 Faks. (0271) 588125 Email: lab_ban@ugm.ac.id





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus 2A, Yogyakarta 55281 Telp. (0271) 546637 802208 Fax. (0271) 546400 Email: dmanan_ljy@ugjanelectrical.com

2



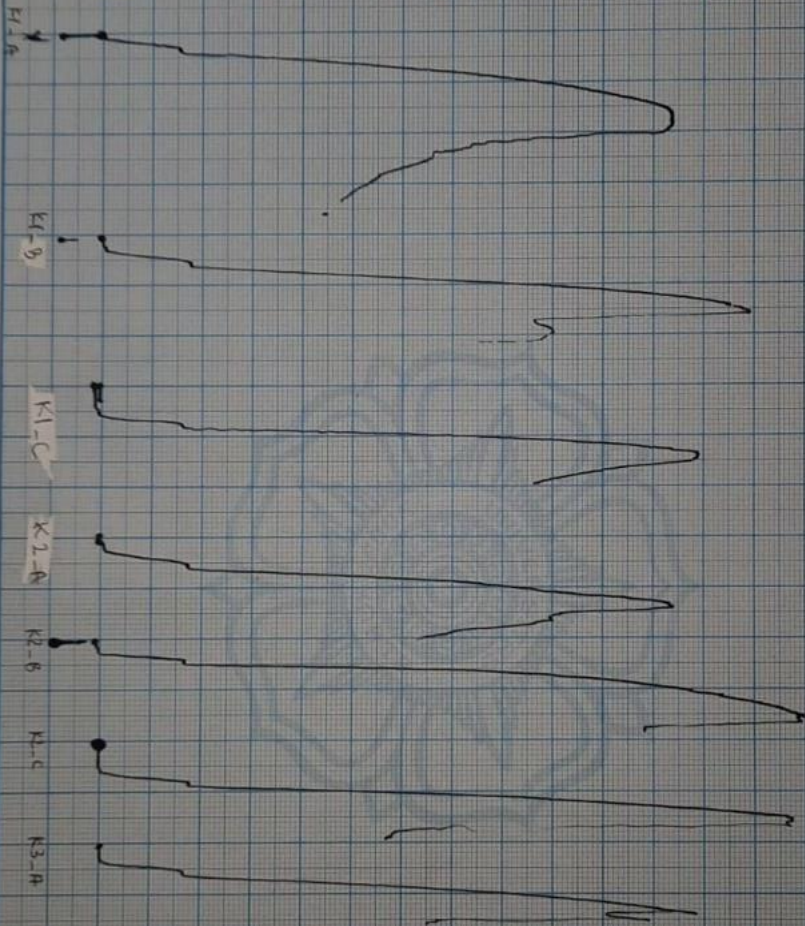
Ujibana
Pengujian & Analisis
Material
Diketahui dan
Disetujui
Kedua Pihak
Kedua Pihak UGM

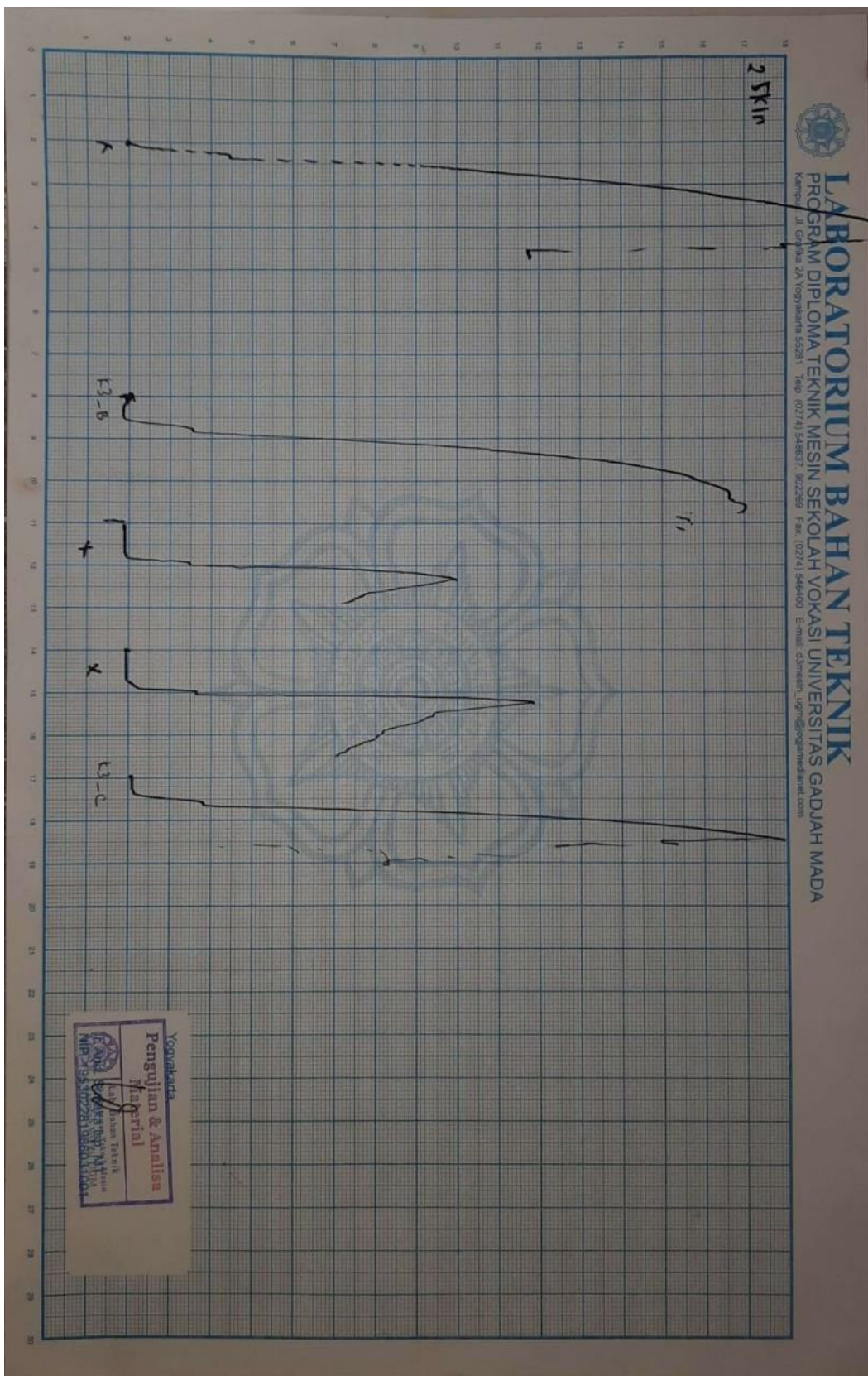


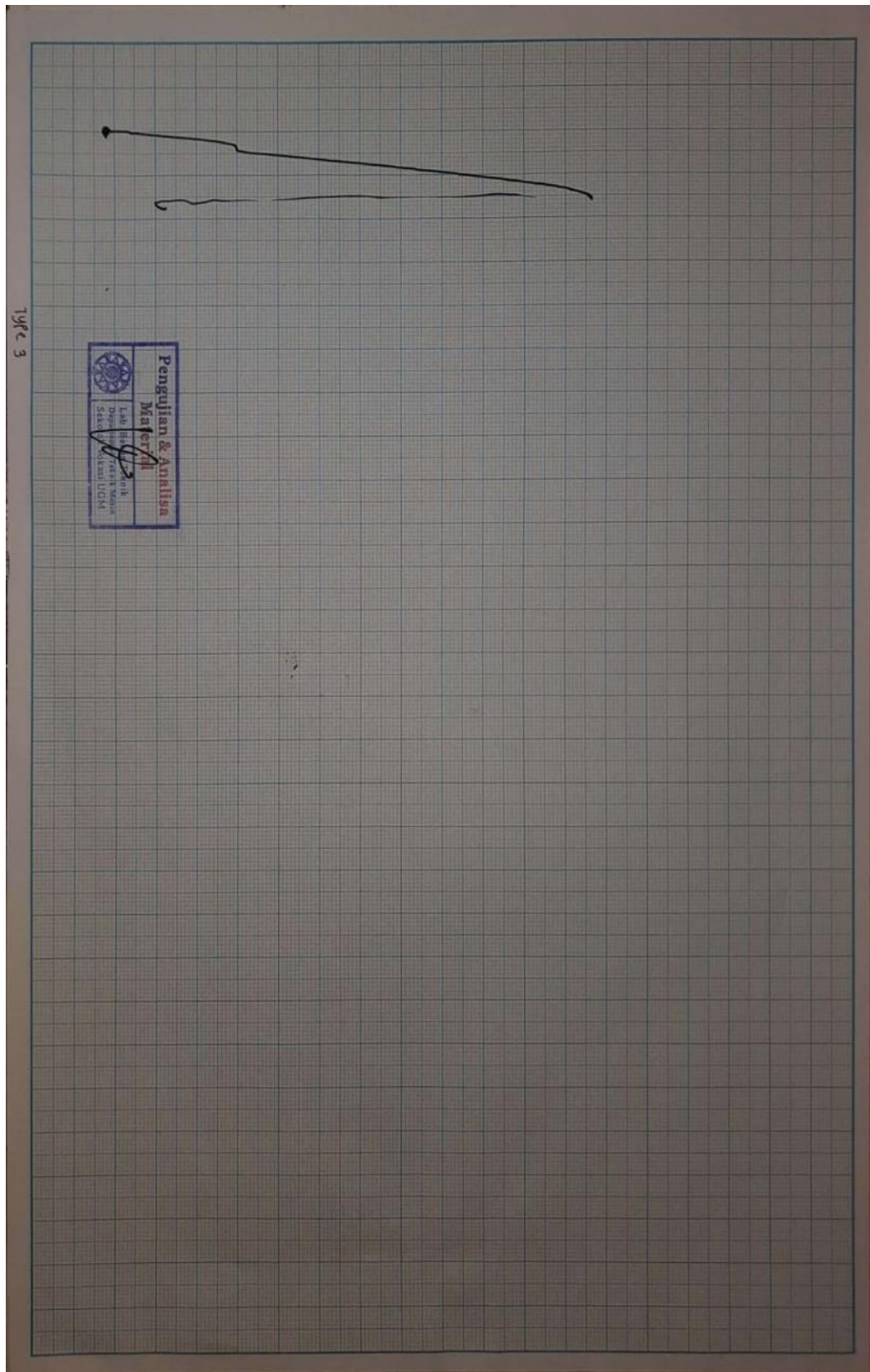
LABORATORIUM BAHAN TEKNIK

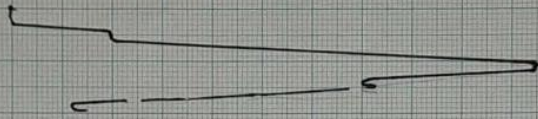
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN SEKOLAH SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus II, Gratis 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0271) 548537, 502289 Fax. (0271) 546400 E-mail: dlmek@ugm.ac.id

1 SKin









Type - 1 K-0