

**ANALISIS KEKUATAN TARIK TERHADAP GABUNGAN
FILAMEN PLA DAN ABS HASIL 3D PRINTING**

SKRIPSI

Oleh :

Abdul Wahid

151910101030

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2022

PERSEMBAHAN

Skripsi ini merupakan tugas akhir saya sebagai mahasiswa di Teknik Mesin Universitas Jember yang pastinya melibatkan banyak pihak yang mendukung proses penyusunannya. Oleh sebab itu saya mengucapkan banyak terima kasih kepada banyak pihak yang selalu membantu dan mendukung saya baik lewat dukungan semangat, materi, dan doa.

Ucapan terima kasih pastinya saya persembahkan kepada kedua orang tua, kakek dan nenek yang selalu mendukung saya, guru-guru saya yang mendidik dan mengajar saya sejak kecil hingga sekarang, Dosen yang membimbing saya hingga skripsi ini selesai, Semoga beliau-beliau diberikan kesehatan dan selalu lancar rezekinya. Selanjutnya bagi yang selalu menemani saya baik sebagai pasangan atau teman semoga kita selalu diberikan yang terbaik untuk kita semua.

MOTTO

Imajinasi + Logika = Perfect

(Abdul Wahid)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdul Wahid

NIM : 151910101030

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Kekuatan Tarik Terhadap Gabungan Filamen PLA dan ABS Hasil 3d Printing” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan institusi manapun, dan bukan salinan karya ilmiah. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Juni 2022

yang menyatakan,

Abdul Wahid

NIM.151910101030

SKRIPSI

**ANALISIS KEKUATAN TARIK TERHADAP GABUNGAN FILAMEN
PLA DAN ABS HASIL 3D PRINTING**

Oleh :
Abdul Wahid
151910101030

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Muhammad Trifiananto, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ANALISIS KEKUATAN TARIK TERHADAP GABUNGAN FILAMEN PLA DAN ABS HASIL 3D PRINTING” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D

NIP. 197003221995011001

Muhammad Trifiananto, S.T., M.T.

NIP. 199003242019031017

Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Ir Robertoes Koekoeh Koentjoro

Wibowo S.T., M.Eng

NIP. 196707081994121001

Ir. Sumarji S.T., M.T.

NIP. 196802021997021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP. 197008261997021001

DAFTAR ISI

	Halaman
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 3D Printer	4
2.2 Jenis-Jenis 3D Printer	4
2.2.1 <i>Direct 3D Printer</i>	4
2.2.2 <i>Binder 3D printer</i>	5
2.2.3 <i>Photopolymerization</i>	5
2.2.4 <i>Sintering</i>	5
2.3 Proses 3D printer	5
2.4 Jenis-jenis Filamen 3D Printer	7
2.5 Uji Tarik	9
2.6 Hipotesis	13

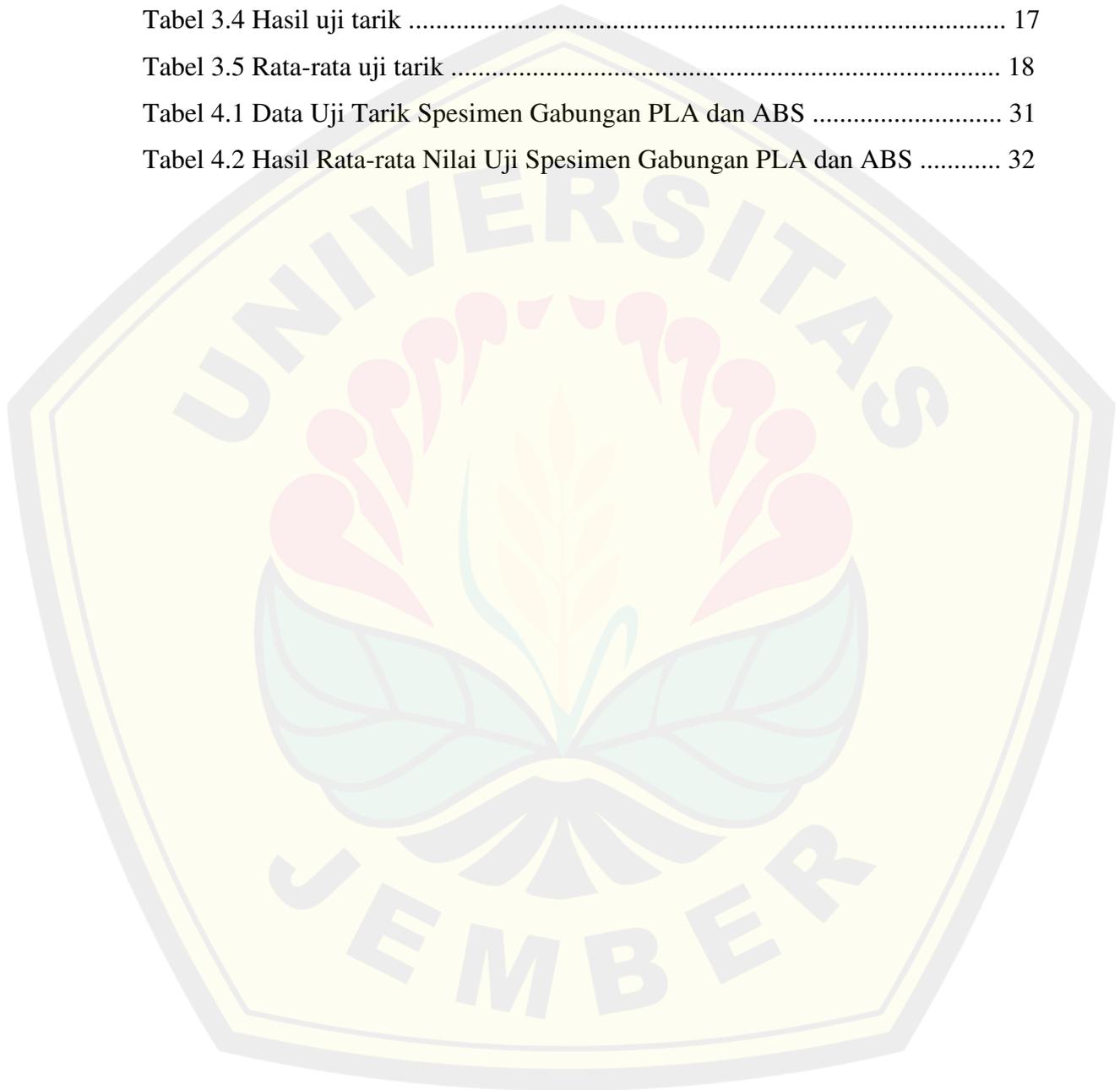
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Jenis Penelitian	14
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	14
3.3 Prosedur Penelitian	15
3.4 Diagram Alir	20
4.1 Penelitian Pendahuluan	21
4.2 Hasil Cetak 3D Printer	27
4.3 Hasil Uji Tarik	31
4.4 Usulan	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
BAB 5. PENUTUP	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Spesimen dan kurva uji tarik	10
Gambar 2.2 Kurva tegangan-regangan teknis	11
Gambar 2.3 Perbandingan kurva tegangan-regangan teknis dengan kurva tegangan-regangan sejati	12
Gambar 3.1 spesimen uji tarik ASTM D638 (type IV)	17
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 4.1 3D printer Creality Ender 3 V2	21
Gambar 4.2 Hasil Uji cetak filamen PLA dengan suhu alas 80°C	22
Gambar 4.3 Kegagalan cetak filamen ABS	22
Gambar 4.4 Kegagalan cetak pada filamen ABS	23
Gambar 4.5 Perubahan ukuran spesimen uji tarik	23
Gambar 4.6 Spesimen hasil uji tarik ABS	24
Gambar 4.7 Hasil uji tarik filamen ABS dalam grafik	24
Gambar 4.8 Spesimen uji tarik filamen PLA	25
Gambar 4.9 Grafik hasil uji tarik filamen PLA	25
Gambar 4.10 lapisan antara ABS dan PLA yang pecah dalam uji tarik	26
Gambar 4.11 Hasil uji tarik gabungan filamen PLA 75% dan ABS 25%	26
Gambar 4.12 gambar aplikasi PrusaSlicer 2.3.0	27
Gambar 4.13 spesimen 100%	28
Gambar 4.14 Spesimen 80%	28
Gambar 4.15 spesimen 60%	29
Gambar 4.16 informasi akhir yang ditunjukkan oleh aplikasi	29
Gambar 4.17 Permukaan atas hasil cetak spesimen : (a) 60%, (b) 80%, (c) 100%	30
Gambar 4.18 Diagram Modulus Elastisitas Gabungan PLA dan ABS	33
Gambar 4.19 Diagram <i>yield strenght</i> gabungan PLA dan ABS	34
Gambar 4.20 Diagram <i>tensile strength</i> Gabungan PLA dan ABS	35

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jadwal penelitian	14
Tabel 3.2 Komposisi spesimen	16
Tabel 3.3 Parameter cetak	17
Tabel 3.4 Hasil uji tarik	17
Tabel 3.5 Rata-rata uji tarik	18
Tabel 4.1 Data Uji Tarik Spesimen Gabungan PLA dan ABS	31
Tabel 4.2 Hasil Rata-rata Nilai Uji Spesimen Gabungan PLA dan ABS	32



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia terus berkembang sejak revolusi industri 4.0 yang menuntut kemajuan di segala bidang. Peningkatan tersebut harus ditopang dengan pemenuhan kebutuhan baik dalam informasi maupun teknologi yang dapat mendorong percepatan tersebut. Hal ini berdampak di bidang industri, salah satunya di bidang manufaktur, dengan ditemukannya pencetakan 3D yang disebut menjadi manufaktur aditif. Kata aditif digunakan karena prosesnya dimulai dengan penguraian material untuk membentuk sebuah bagian yang sudah jadi dengan metode konvensional (Berman, 2012). Masa kini harga 3D printer sudah dijual dengan harga yang murah, bahkan di bawah \$3000 telah mendapatkan printer dengan spesifikasi *dual extruder* dan lengkap dengan pemanas alasnya (Letcher dan Waytashek, 2014). Sehingga setiap rumah dapat menggunakan 3D printer dan memproduksi kebutuhan mereka sendiri.

Proses pencetakan menggunakan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) adalah salah satu teknik 3D printing dengan proses pembentukan bagian tersebut bertahap dari lapisan-lapisan sesuai orientasi pencetakan yang telah ditentukan hingga benda sesuai bentuk yang diinginkan. Proses ini membantu mempercepat pembuatan teknologi, karena dengan sebuah proses desain CAD, konversi ke STL, kemudian diubah menjadi kode yang akan diterjemahkan pada alat pencetakan. Kemudian printer 3D dapat mencetak benda tanpa proses tambahan lagi (otomatis). Proses cetak yang otomatis dan singkat mengurangi tenaga serta biaya yang dibutuhkan membuat sebuah benda.

Evolusi dan makin mudahnya penggunaan 3D printer juga didukung dengan mudahnya mendapatkan bahan-bahan yang digunakan dalam proses 3D printer. Perkembangan 3D printer juga membuat bentuk bahan yang berbeda seperti berupa bentuk gulungan (*roll*), serbuk (*powder*), dan cairan. Jenis-jenis bahannya sendiri dapat menggunakan plastik, logam atau bahan-bahan lain. Bahan yang sering digunakan menggunakan filamen PLA (*Polylactic Acid*) dan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). Karakter dari bahan PLA banyak digunakan karena lebih keras

dari ABS, namun lebih rapuh. PLA memiliki koefisien termal yang rendah, tidak melengkung saat dicetak, tidak pecah, dan menyatu dengan baik antara lapisan membuatnya lebih unggul dari ABS.

Kemudahan ini sangat menarik dan dapat dijadikan usaha baru, terutama dalam benda-benda yang bernilai estetik. Namun penggunaan tersebut sangat disayangkan jika tidak dikembangkan, sehingga perlu penelitian lebih dalam tentang kegunaan bahan-bahan tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian berupa uji tarik pada kedua bahan yaitu ABS dan PLA untuk lebih mengetahui sejauh mana bahan-bahan tersebut bisa digunakan dan apakah terdapat perbedaan sifat mekanis apabila kedua material digabungkan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah terdapat perbedaan kekuatan hasil uji tarik material dari kedua filamen tersebut jika digabungkan dengan tidak digabungkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbedaan kekuatan hasil uji tarik material dari kedua filamen tersebut jika digabungkan dengan tidak digabungkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Bagi peneliti dapat mengetahui kuat tarik dari filamen PLA dan ABS. Perbedaan sifat mekanis dari kedua filamen tersebut jika digabungkan.
2. Bagi masyarakat dapat mengetahui penggunaan material PLA dan ABS untuk membuat barang atau menjadikan industri baru.
3. Sebagai bahan acuan/bahan informasi untuk penelitian lebih lanjut.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Menggunakan printer Ender 3 V2 dengan filamen PLA yang dan filamen ABS yang tersedia *E-commerce*.
2. Kerapatan *infill* dan arah pencetakan menyesuaikan konfigurasi *softwareslicer*.
3. Suhu ruangan menyesuaikan suhu dalam *Enclosure*.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 3D Printer

Pencetakan 3D yang disebut menjadi manufaktur aditif (AM), Kata aditif digunakan karena prosesnya dimulai dengan penguraian material untuk membentuk sebuah bagian yang sudah jadi dengan metode konvensional (Berman, 2012). 3D Printing juga dikenal sebagai Additive Layer Manufacturing menurut adalah proses membuat objek pada 3 dimensi atau bentuk apapun dari model digital (CAD). Cara kerjanya hampir sama dengan printer laser yaitu membuat objek dari sejumlah layer/lapisan yang masing-masing dicetak di atas setiap lapisan hingga membentuk benda yang diinginkan. Teknologi printing sudah berkembang sejak sekitar tahun 1980, namun belum begitu dikenal hingga tahun 2010 ketika mesin pencetak 3D ini dikenalkan secara komersial. Dalam sejarahnya Printer 3D pertama yang bekerja dengan baik dibuat oleh Chuck Hull dari 3D System Corp pada tahun 1984. Sejak saat itu teknologi 3D printing semakin berkembang dan digunakan dalam purwarupa (model) maupun industri secara luas seperti dalam arsitektur, otomotif, militer, industri medis, fashion, sistem informasi geografis sampai biotech (penggantian jaringan tubuh manusia).

2.2 Jenis-Jenis 3D Printer

Terdapat beberapa jenis 3D Printer yang digunakan dalam proses industri, baik dalam industri besar hingga industri kecil. Jenis-jenis mesin 3D printer ini disesuaikan berdasarkan kebutuhan dan prinsip kerja dari proses pencetakan objeknya. Adapun jenis- jenis 3D printer yang ada pada saat ini yaitu sebagai berikut.

2.2.1 *Direct 3D Printer*

Merupakan 3D printer yang ada sejak tahun 1960 (Gibson, 2010). dimana printer ini menggunakan konsep seperti printer inkjet 2 dimensi pada umumnya yaitu mengeluarkan cairan. Namun perbedaannya adalah printer 2D inkjet hanya bergerak maju mundur atau horizontal, sedangkan printer 3D inkjet juga bisa

bergerak vertikal maupun diagonal sambil mengeluarkan cairan tetapi bukan tinta seperti printer 2D melainkan lilin dan polimer plastik.

2.2.2 *Binder 3D printer*

Printer 3D jenis *binder* dalam proses kerjanya sama dengan *Direct* yaitu dengan menggunakan *nozzle* inkjet untuk menuangkan cairan untuk membentuk setiap lapisan. Tetapi memiliki perbedaan dengan jenis *direct*, dimana jenis *binder* untuk melakukan pencetakan menggunakan dua bahan yang terpisah yang berupa bubuk kering dan lem cair. Dengan mekanisme kerja, pertama bubuk kering dilakukan penuangan kemudian diberikan lem cair agar terjadi pengikatan. Begitu seterusnya hingga seluruh proses selesai.

2.2.3 *Photopolymerization*

Photopolymerization merupakan 3D printer yang cara kerjanya sesuai dengan namanya yaitu berasal dari kata “*photo*” yang berarti cahaya dan “*polymer*” yang memiliki arti senyawa kimia plastik. Sehingga cara kerjanya yaitu dengan meneteskan cairan plastik kemudian diberikan penyinaran laser berupa cahaya ultraviolet hingga merubah cairan menjadi bentuk padat.

2.2.4 *Sintering*

Proses kerja 3D printer jenis *Sintering* yaitu menggunakan material berupa bubuk padat yang disinari laser hingga mencair kemudian membeku membentuk sebuah benda sesuai benda yang diinginkan. Proses ini disebut dengan *Selective laser sintering* (SLS). Jenis *sintering* sangat kompatibel untuk mencetak benda yang berasal dari logam. Karena proses manufaktur pada logam sering membutuhkan mekanisme dari bentuk padat kemudian cair lalu padat lagi. Dan keuntungan yang dihasilkan dari proses *sintering* adalah tingkat presisi yang tinggi.

2.3 **Proses 3D printer**

Dalam proses pembuatan benda dengan menggunakan 3D printer diperlukan beberapa tahapan-tahapan agar dapat membuat benda kerja dengan baik dan berkualitas. Tahapan-tahapan tersebut akan mempengaruhi hasil cetak dari benda

yang dibuat. adapun tahapan pencetakan benda menggunakan 3D printer memiliki beberapa tahapan yaitu:

a. Design CAD

Proses 3D printing dimulai dengan proses pendesainan objek yang akan dibuat. menggunakan software untuk mendesain bentuk solid 3 dimensi yang diinginkan.

b. Konversi CAD ke STL (*Stereolithography*)

3D printer menggunakan file STL secara de facto sebagai file untuk di proses, karena STL dapat menjelaskan permukaan external atau bentuk asli dari desain CAD, sehingga file ini menjadi dasar perhitungan irisan.

c. Konversi STL ke AM *software*

Setelah irisan dapat ditentukan file STL harus diubah ke mesin AM sehingga dapat dihasilkan posisi, ukuran yang benar, dan orientasi pencetakan.

d. Persiapan alat

Proses ini dilakukan untuk mempersiapkan dan mengatur dengan benar 3D printer agar proses mencetaknya menghasilkan benda yang sesuai keinginan. Pengaturan yang diperlukan seperti parameter built, jenis material, sumber energi, ketebalan lapisan, pengaturan waktu, dll.

e. Proses pencetakan

Proses ini pembentukan benda dilakukan otomatis oleh mesin 3D printer sehingga tidak perlu terlalu diawasi. Namun untuk beberapa hal seperti ketersediaan material, kesalahan perangkat lunak, ketersediaan daya, dan hal lainnya harus tetap diperhatikan agar proses tetap berjalan hingga proses print selesai.

f. *Removal*

Proses ini adalah proses pengambilan benda hasil cetak dari alas printer. Hal yang harus diperhatikan pada proses ini adalah cara pengambilan dari alas dan suhu pada benda.

g. Proses akhir

Pada proses ini, benda yang sudah di lepas dari alas harus dibersihkan dari kelebihan material dan jika menggunakan *Support* atau *raft* agar dapat digunakan secara maksimal. Proses ini memakan cukup banyak waktu karena memerlukan

hasil yang detail, perlu kehati-hatian, dan membutuhkan kemampuan lebih pada prosesnya.

h. Pengaplikasian

Proses ini adalah proses akhir, benda hasil cetak dapat digunakan sesuai fungsinya. Namun untuk mendapatkan benda yang lebih baik dan menarik, perlu dilakukan proses perataan atau bahkan pengecatan pada benda hasil cetak.

2.4 Jenis-jenis Filamen 3D Printer

3D printer dapat menggunakan banyak jenis material yang dapat digunakan untuk mencetak benda. Namun ada beberapa material yang sering digunakan yaitu

a. ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*)

ABS merupakan bahan yang paling umum digunakan oleh mesin cetak 3 dimensi. Material ini adalah bahan yang digunakan untuk membuat blok-blok Lego. ABS cenderung mudah digunakan untuk mencetak namun memiliki kecenderungan untuk menyusut dalam proses pendinginannya sehingga sedikit mempengaruhi hasil cetak. Ketika menggunakan ABS, alas cetak harus dipanaskan dan diberi perekat. Bahan ini relatif aman bagi manusia namun sedikit menghasilkan bau plastik ketika ABS dipanaskan. ABS memiliki titik leleh 230°C - 270°C dengan suhu alas pemanas 80°C - 110°C untuk menghasilkan cetakan yang optimal. Karakteristik ABS yang lain memiliki nilai densitas padat yaitu $1,04\text{ g/cm}^3$. Sedangkan untuk nilai yang lain didapatkan dari uji tarik seperti modulus elastisitasnya 1220 MPa , kekuatan tarik $50,6\text{ MPa}$. Hal ini didapatkan dari komposisi Acrylonitrile (21%-27%) + Butadiene (12%-15%) + Styrene (54%-63%).(Hashim dkk, 2016 dan wicaksono dkk, 2019)

b. PLA (*Poly Lactic Acid*)

PLA merupakan salah satu jenis plastik polimer yang terbuat dari bahan-bahan yang dapat terurai, seperti tepung jagung, tepung tapioka, atau olahan tebu. Karena terbuat dari bahan yang mudah terurai, PLA ramah lingkungan. Hal inilah yang membuat bahan ini semakin banyak mendapatkan popularitas. PLA dapat menghasilkan cetakan yang kuat dan sangat rapi. sedangkan untuk PLA memiliki

titik leleh lebih rendah dari filamen ABS yaitu 180°C-230°C dengan suhu alas 50°C-60°C untuk menghasilkan cetakan yang optimal. Nilai modulus elastisitas dari PLA 1280 MPa. Elongasi dari material PLA adalah 11,3 %, kekuatan tariknya adalah 59 MPa dan densitasnya 1,24 g/cm³. (Farah, 2016 dan Sy 2015)

c. *HIPS (High Impact Polystyrene)*

Sangat mirip dengan ABS perbedaan utama adalah bahwa HIPS dapat larut dalam larutan Limonene. Dapat juga untuk mencetak object 3D yang komplek dengan kombinasi 3D filament lain, dimana HIPS sebagai bahan pendukung/support yang kemudian dapat dengan mudah dihilangkan dengan menempatkan hasil 3D Print di Larutan D-Limonene Oil. Ini adalah alternatif yang fantastis untuk pembersihan bahan pendukung/support.

d. *PVA (Polyvinyl Alkohol)*

Merupakan 3D filament printer yang larut dalam air. Fitur ini membuat filamen PVA sangat cocok sebagai bahan pendukung/support untuk 3D Print PLA yang kompleks.

e. *Flexible PLA*

Tidak berbahaya / beracun dan merupakan 3D Filament yang menghasilkan 3D Print yang Flexible dan Elastis.

f. *PETG (Glycol-modified PET)*

PETG filament (Glycol-modified PET; Co polyesters) adalah senyawa plastik yang satu famili dengan PET (Polyethylene terephthalate). Memiliki penggabungan keunggulan dari senyawa plastik ABS dan PLA.

g. *Color Change By UV*

Color Change By UV merupakan filament 3D printer yang akan berubah warnanya bila terkena Sinar UV atau Sinar Matahari.

h. *Color Change By Temperature*

Filament ini merupakan filament 3D printer yang akan berubah warnanya bila terpapar/kontak dengan panas (dicelup air panas).

i. *Wood*

Wood filament adalah filament 3D printer yang memiliki karakteristik warna & hasil seperti kayu.

j. Bronze

Bronze filament adalah 3D printer filament yang memiliki karakteristik warna & hasil mirip Bronze.

2.5 Uji Tarik

Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik pada material dengan tujuan untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan uji dengan gaya tarik secara terus menerus, sehingga bahan mengalami perpanjangan terus menerus dengan teratur sampai putus, dengan tujuan menentukan nilai tarik. Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan dalam 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 seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.1.

Hasil uji tarik tersebut mencatat fenomena hubungan antara tegangan-regangan yang terjadi selama proses uji tarik dilakukan. Mesin uji tarik sering digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material. Mesin uji tarik terdiri dari beberapa bagian. Bagian tersebut adalah kerangka, mekanisme pencekam spesimen, sistem penarik sistem pengukur. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara terus-menerus dan dilakukan pengamatan mengenai perubahan panjang yang dialami benda uji. Pengujian tarik dari sebuah spesimen atau material terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut:

1. Tegangan teknis (σ)

Tegangan yang didapatkan dari kurva tegangan teoritik adalah tegangan yang membujur rata-rata dari pengujian tarik. Tegangan tersebut diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang lintang benda uji itu.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Dimana,

P = gaya yang diberikan pada benda uji

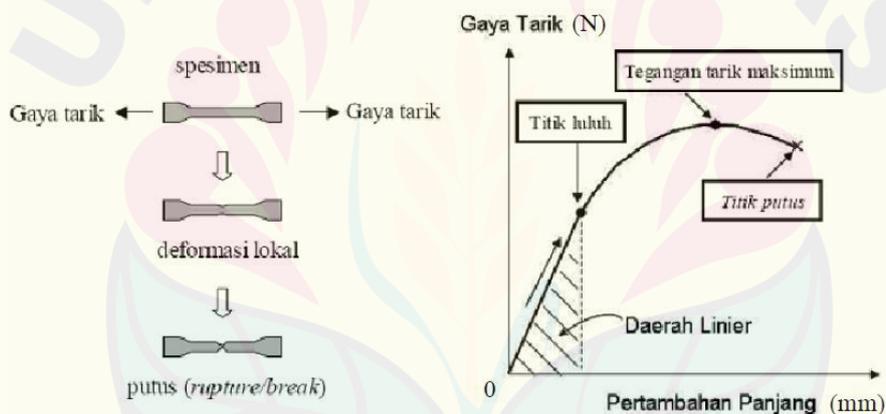
A₀ = luas penampang awal benda uji (mm²)

2. Regangan teknis

Regangan yang didapatkan adalah regangan linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan (gauge length) benda uji, dengan panjang awal.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

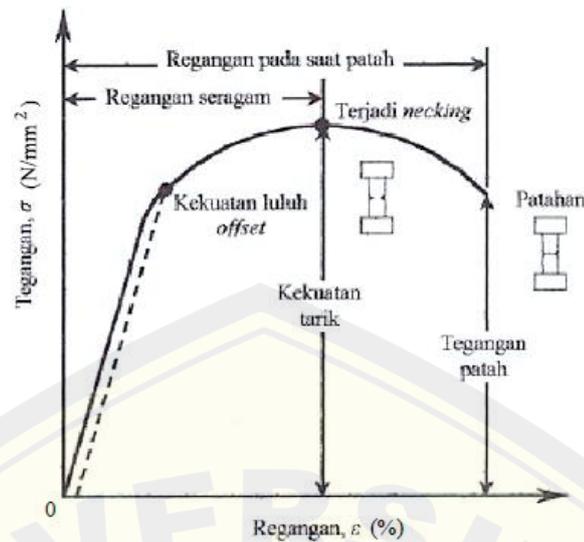
Terus menarik suatu benda uji sampai putus, akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar 2.2. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.



Gambar 2.1 Spesimen dan kurva uji tarik

3. Tegangan-Regangan Sejati

Tegangan-regangan teknik tidak memberikan indikasi karakteristik deformasi yang sesungguhnya, karena kurva tersebut semuanya berdasarkan pada dimensi awal benda uji, sedangkan selama pengujian terjadi perubahan dimensi. Pada uji tarik untuk logam, akan terjadi penyempitan pada saat beban mencapai harga maksimum. Karena pada tahap ini luas penampang benda uji turun secara cepat, maka beban yang dibutuhkan untuk melanjutkan deformasi akan segera turun.



Gambar 2.2 Kurva tegangan-regangan teknis

Tegangan-regangan teknis didasarkan atas dimensi awal (luas area dan panjang) dari benda uji, sementara untuk mendapatkan tegangan-regangan sejati diperlukan luas area dan panjang aktual pada saat pembebanan setiap saat terukur. Perbedaan kedua kurva tidaklah terlampau besar pada regangan yang kecil, tetapi menjadi signifikan pada rentang terjadinya pengerasan regangan, yaitu setelah titik luluh terlampaui. Secara khusus perbedaan menjadi demikian besar di dalam daerah *necking* (pengecilan penampang). Pada tegangan-regangan teknis, dapat diketahui bahwa benda uji secara aktual mampu menahan turunnya beban karena luas area awal A_0 bernilai konstan pada saat penghitungan-tegangan $\sigma = P / A_0$. Sementara pada kurva tegangan-regangan sejati luas area aktual adalah selalu turun hingga terjadinya perpatahan dan benda uji mampu menahan peningkatan tegangan karena $\sigma' = P / A_i$. Hubungan tegangan-regangan sejati dan tegangan-regangan teknis, yaitu dengan persamaan sebagai berikut:

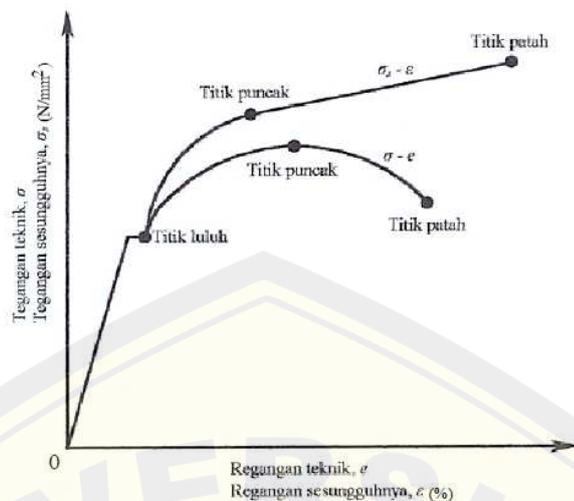
$$\sigma' = \sigma(1 + \varepsilon), (\text{Nm/mm}^2)$$

$$\varepsilon' = \ln(1 + \varepsilon), (\%)$$

Dimana :

$$\sigma' = \text{Tegangan sejati (Nm/mm}^2\text{)}$$

$$\varepsilon' = \text{Regangan sejati (\%)}$$



Gambar 2.3 Perbandingan kurva tegangan-regangan teknis dengan kurva tegangan-regangan sejati

Berdasarkan Gambar 2.3 menjelaskan perbandingan nilai kurva tegangan dan regangan teknis dan sejati. Perbedaan nilai dimulai dari titik luluh ke titik puncak hingga material patah. Hal tersebut terjadi di daerah plastis material dimana daerah tersebut adalah daerah dimana material tidak dapat kembali ke bentuk semula.

4. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) adalah nilai yang paling sering dituliskan sebagai hasil suatu uji tarik, tetapi pada kenyataannya nilai tersebut kurang bersifat mendasar dalam kekuatan material. Untuk logam ulet, kekuatan tariknya harus dikaitkan dengan beban maksimum, dimana logam dapat menahan beban sumbu untuk keadaan yang sangat terbatas. Pada tegangan yang lebih kompleks, kaitan nilai tersebut dengan kekuatan logam kecil sekali kegunaannya. Kecenderungan yang banyak ditemui adalah ,mendasarkan rancangan statis logam ulet pada kekuatan luluhnya. Tetapi karena jauh lebih praktis menggunakan kekuatan tarik untuk menentukan kekuatan bahan, maka metode ini lebih banyak dipakai. Kekuatan tarik adalah besarnya beban maksimum dibagi dengan luas penampang lintang awal benda uji.

$$\sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_0}, \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Dimana :

σ_u = Kekuatan Tarik Maksimum (N/mm²)

P_{maks} = Pembebanan Maksimum (N)

A_0 = Luas Penampang (mm²)

Korelasi empiris yang diperluas antara kekuatan tarik dengan sifat mekanik lainnya seperti kekerasan dan kekuatan lelah, sering dipergunakan. Hubungan tersebut hanya terbatas pada hasil penelitian beberapa jenis material.

2.6 Hipotesis

Filamen PLA merupakan polimer yang ramah lingkungan karena dapat dengan mudah diuraikan, mudah dicetak, sifat mekaniknya yang keras dan murah. Namun semakin keras material juga membuat material tersebut menjadi getas dan rapuh. Sehingga dengan menggabungkan filamen ABS pada saat proses cetak dapat memperbaiki kelemahan dari material tersebut..

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang digunakan menggunakan penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan penelitian lapangan yang berkaitan dengan data angka dan analisis. Pada dasarnya penelitian kuantitatif berlandaskan pada kerangka teori, gagasan dari para ahli, dan pemahaman peneliti yang dikembangkan menjadi suatu permasalahan serta cara pemecahan masalahnya yang diusulkan menjadi data pembenaran (verifikasi). Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang menghasilkan data yang berupa angka-angka dan analisisnya menggunakan statistik. Penelitian kuantitatif pada umumnya dilakukan pada sampel yang diambil secara random (acak), sehingga kesimpulan hasil penelitian dapat digeneralisasikan pada populasi di mana sampel itu diambil (Sugiyono, 2014). Penelitian kuantitatif digunakan untuk menganalisa hasil uji tarik dari spesimen yang terbagi menjadi 27 spesimen uji tarik.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian akan bertempat di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Jember dan Laboratorium Instrumentasi Fisika Fakultas MIPA yang berlokasi di Kampus Tegalboto, Jl Kalimantan No. 37, Krajan Timur, Sumpersari, kecamatan Sumpersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur.

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari Januari dengan persiapan penelitian dan berakhir di bulan juli 2022 dengan sidang skripsi. Adapun jadwal seperti yang dijelaskan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal penelitian

No	Keterangan	Januari				Februari-Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1.	Persiapan Penelitian																
2.	Perencanaan																

No	Keterangan	Januari				Februari-Mei				Juni				Juli				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
3.	Pengolahan data																	
4.	Penyusunan proposal																	
5.	Seminar hasil																	
6.	Revisi																	
7.	Sidang Skripsi																	

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan pada proses penelitian. Adapun proses tersebut dimulai dari persiapan penelitian, tahapan pengambilan data, tahapan analisis data, analisis, kesimpulan dan saran.

a. Persiapan penelitian

Persiapan penelitian merupakan proses studi literatur dan observasi dimana peneliti mengumpulkan informasi dari literatur-literatur yang berada di internet baik berupa makalah, buku, maupun jurnal. Observasi dilakukan dengan mencari informasi mengenai proses cetak printer 3D baik dari proses desain hingga benda selesai dicetak dan siap diaplikasikan.

b. Tahapan Pengambilan data

Pada proses pengambilan data, dilakukan pengambilan data hasil pengujian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya dan hasil penelitian pendahuluan.

c. Tahapan analisis data

Tahapan analisis data dilakukan menganalisis data hasil percobaan yang dilakukan dengan menggunakan 2 jenis filamen yaitu ABS (Densitas $1,04 \text{ g/cm}^3$) tanpa merk dan PLA (densitas $1,24 \text{ g/cm}^3$) merk R3D yang berjumlah 27 spesimen uji tarik. Dalam uji tersebut memiliki beberapa ketentuan-ketentuan yang

ditetapkan. Adapun ketentuan-ketentuan itu adalah menggunakan hanya 2 jenis filamen yaitu filamen ABS dan filamen PLA dengan diameter 1,75 mm, menggunakan suhu alas 60°C, menggunakan *nozzle* ukuran 0,4 mm, suhu *nozzle* adalah 230°C, kecepatan kipas pendingin diatur 100%, *Pattern Rectilinear* dengan orientasi pencetakan *sandwich* 0° dan 90° memiliki nilai uji tarik terbaik (Ameri dkk, 2020), dengan kecepatan cetak 60 mm/s dan menggunakan printer Creality Ender 3 V2 yang telah di modifikasi.

Spesimen uji tarik dicetak 3 kali dengan variasi komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 3.2, dan menggunakan 3 variasi cetak yang ditunjukkan pada Tabel 3.3. Variasi ini berfungsi untuk mengetahui nilai uji tarik dengan nilai kuat tarik tertinggi.

Tabel 3.2 Komposisi spesimen

Spesimen	Jumlah Spesimen
20% ABS dan 80% PLA	3 spesimen uji tarik
10% ABS dan 90% PLA	
30 % ABS dan 70% PLA	

Pemilihan komposisi spesimen diperoleh dalam proses studi literatur. Diketahui bahwa komposisi 20% ABS dan 80% PLA memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi dari 100% PLA (Dhinesh dkk, 2020). Hal ini dapat diketahui berdasarkan karakter filamen PLA cenderung lebih keras dari filamen ABS. Namun semakin keras material maka material akan mudah rapuh dan patah, hal tersebut dapat diperbaiki dengan karakter ABS yang memiliki regangan yang baik dibandingkan dengan PLA. Proses cetak material dimulai bahan utamanya yaitu PLA kemudian di tambahkan ABS, setelah itu ditambahkan lagi PLA kemudian ABS lagi, dan lapisan terakhir adalah PLA. Oleh karena itu maka dilakukan penggabungan filamen antara filamen PLA dengan ABS yang bertujuan memperbaiki sifat mekanis material.

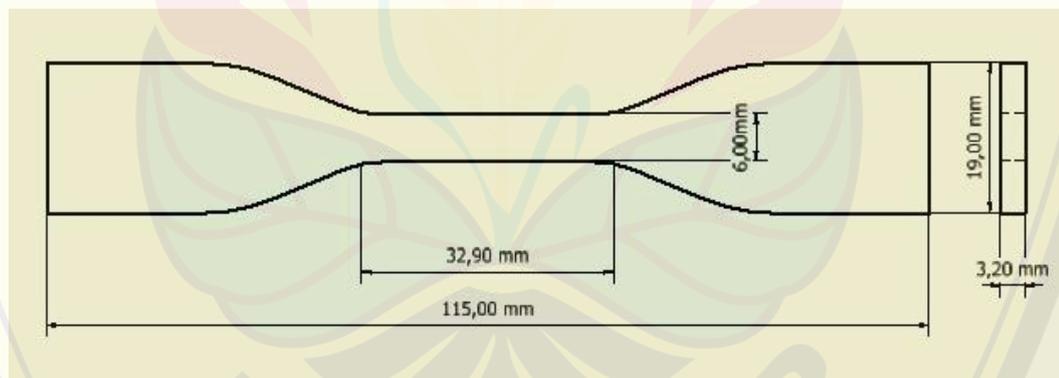
Sifat mekanis dari material juga dipengaruhi oleh kerapatan spesimen. Seperti yang diketahui semakin rapat material maka akan semakin kuat dan getas.

Proses tersebut dapat diketahui dari parameter *infill* pencetakan spesimen, semakin besar nilai persentase *Infill* maka akan semakin rapat spesimen tersebut. Hal tersebut juga akan berpengaruh pada waktu dan banyaknya filamen yang dibutuhkan untuk membentuk sebuah spesimen. Sehingga untuk mengetahui hasil uji tarik berupa nilai tegangan dan regangan yang baik maka dilakukan 3 kali proses cetakan yang dijelaskan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Parameter cetak

Parameter	Cetakan 1	Cetakan 2	Cetakan 3
<i>Infill</i> (%)	100	80	60

Parameter di atas ditentukan untuk hasil percobaan dengan data yang didapat dari studi literatur, sedangkan untuk desain spesimen menggunakan spesimen uji tarik ASTM D638 (tipe IV) yang digunakan sebagai standar uji plastik yang tidak kaku. Adapun gambar spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.1 dengan ketentuan panjang 115 mm, lebar 19 mm, ketebalan 3,2 mm, lebar cekungan 13 mm dengan panjang leher 32,90 mm. (Salim dkk, 2019)



Gambar 3.1 Spesimen uji tarik ASTM D638 (tipe IV)

Parameter dan desain spesimen telah ditentukan, dapat menghasilkan data berupa yang akan dianalisis dan di bandingkan dengan hasil uji literatur dan hitung rata-ratanya apakah sesuai atau tidak.

Tabel 3.4 Hasil uji tarik

Spesimen	<i>Infill</i> (%)	Pengulangan	Modulus Elastisitas (N/m ²)	<i>Yield Strength</i> (N/mm ²)	<i>Tensile Strength</i> (N/mm ²)	<i>Elongation</i> (%)
20% ABS dan 80% PLA	100	1				
		2				
		3				
	80	1				
		2				
		3				
	60	1				
		2				
		3				
10% ABS dan 90% PLA	100	1				
		2				
		3				
	80	1				
		2				
		3				
	60	1				
		2				
		3				
30% ABS dan 70% PLA	100	1				
		2				
		3				
	80	1				
		2				
		3				
	60	1				
		2				
		3				

Tabel 3.5 Rata-rata uji tarik

Spesimen	Parameter Pengukuran	Hasil Rata-Rata
20% ABS dan 80% PLA	Modulus Elastisitas (N/m ²) <i>Yield Strength</i> (N/mm ²) <i>Tensile Strength</i> (N/mm ²) <i>Elongation</i> (%)	
10% ABS dan 90% PLA	Modulus Elastisitas (N/m ²) <i>Yield Strength</i> (N/mm ²) <i>Tensile Strength</i> (N/mm ²) <i>Elongation</i> (%)	
30% ABS dan 70% PLA	Modulus Elastisitas (N/m ²) <i>Yield Strength</i> (N/mm ²) <i>Tensile Strength</i> (N/mm ²) <i>Elongation</i> (%)	

d. Usulan

Setelah mengetahui hasil dari uji material maka dapat dijadikan bahan acuan untuk mengembangkan penggunaan dari bahan untuk menunjang keperluan sehari-hari atau dapat menjadi industri baru.

e. Hipotesis

Hipotesis adalah data populasi yang akan diuji kebenaran yang berdasarkan data penelitian. Maka hasil dari analisis hipotesis akan digunakan untuk menguji kevalidan data dan dapat dijadikan acuan dalam penggunaannya. (Sugiyono, 2014)

f. Kesimpulan

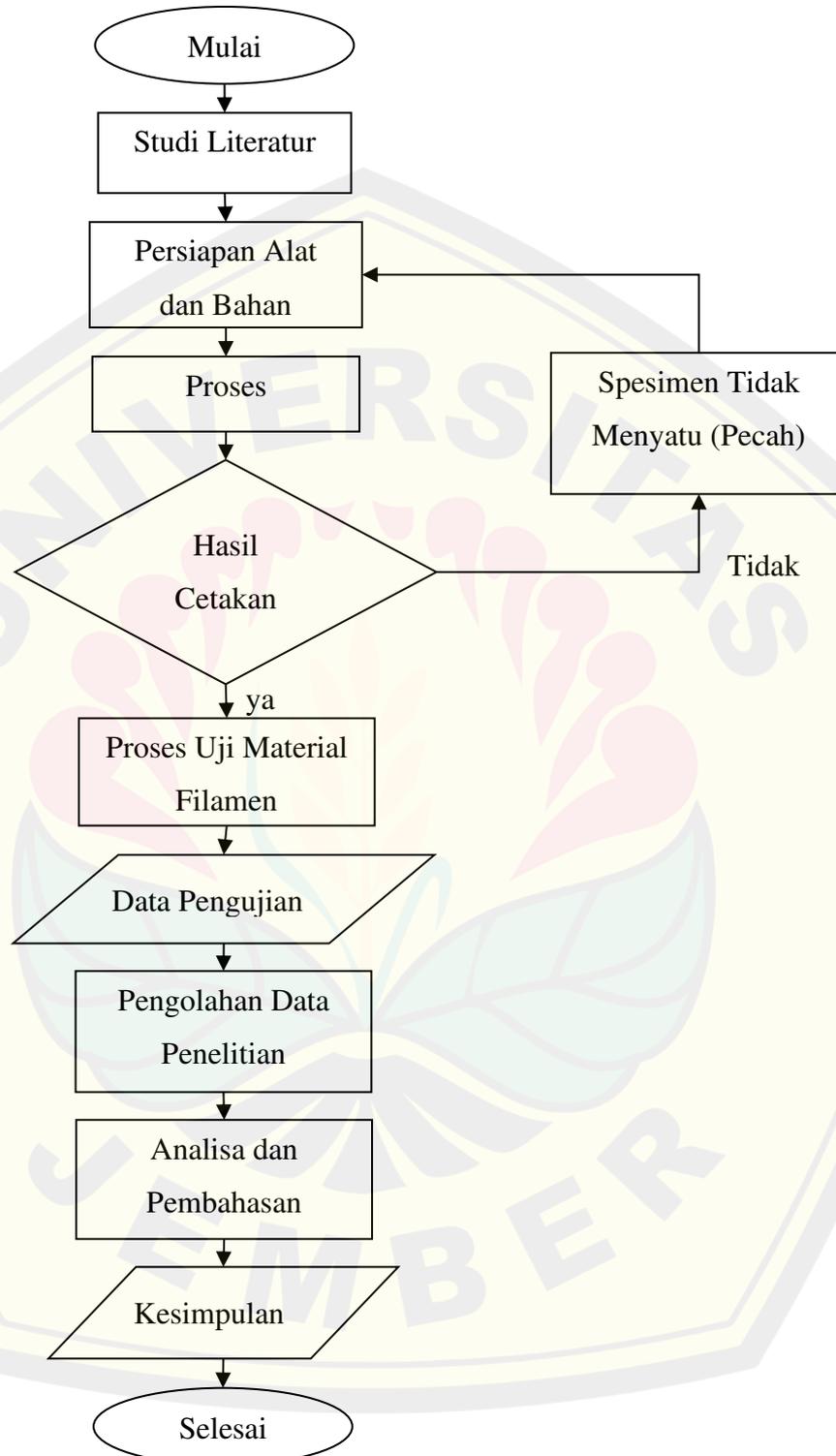
Kesimpulannya adalah data yang di hasilkan tentang kekuatan material dapat di kembangkan untuk memudahkan manusia dalam memenuhi kebutuhannya.

g. Saran

Hasil penelitian dapat menjadi acuan pengembangan, sehingga tidak ada kekhawatiran dari penggunaan material dalam aplikasinya.

3.4 Diagram Alir

Diagram alir dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan merupakan tahap observasi dan uji coba proses 3D printer menggunakan printer Creality Ender 3 V2 (Gambar 4.1). Kegiatan ini dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter cetak yang sesuai dalam mencetak spesimen. Proses yang dilakukan dimulai dari merakit alat, melakukan leveling alas, design spesimen, hingga proses pencetakan sesuai dengan yang telah ditentukan pada bab 3.



Gambar 4.1 3D printer Creality Ender 3 V2 custom

Ender 3 V2 merupakan 3D printer produksi dari Creality yang menjadi versi terbaru dari versi terdahulunya yaitu ender 3. Printer ini mendapatkan beberapa peningkatan dari versi sebelumnya yaitu dari *motherboard* yang lebih baru serta tidak berisik, layar versi terbaru, penambahan *belt tensioner*, mendapatkan alas *tempered glass*. Beberapa yang masih sama dari versi sebelumnya adalah batas suhu dimana ender memiliki suhu maksimum yaitu 260°C dan untuk alas 100°C. Beberapa permasalahan dalam proses pencetakan yaitu:

- a. Suhu alas antara filamen PLA dengan Filamen ABS berbeda, Karena rendahnya suhu deformasi dari PLA sedangkan untuk ABS memerlukan pendinginan lambat agar spesimen tidak melengkung. Sehingga suhu optimal untuk untuk filamen PLA adalah 60°C sedangkan untuk ABS adalah 100°C . Akibat suhu alas yang tinggi filamen tidak menempel pada alas (Gambar 4.2).



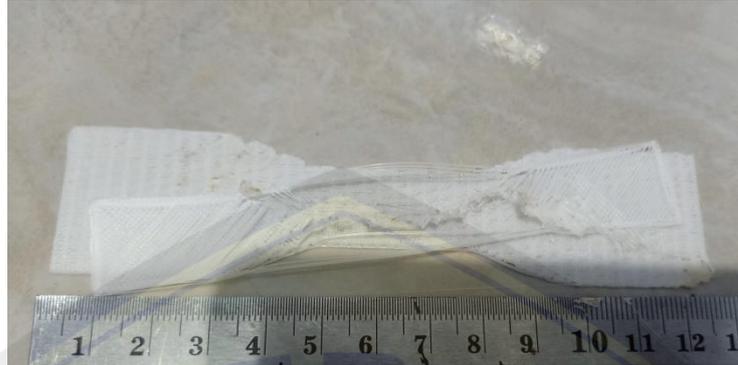
Gambar 4.2 Hasil Uji cetak filamen PLA dengan suhu alas 80°C

- b. Spesimen filamen ABS tidak menempel pada permukaan alas, dan cenderung terlepas baik saat proses pencetakan (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Kegagalan cetak filamen ABS

- c. Pada proses cetak ABS memerlukan kecepatan cetak yang lebih rendah agar spesimen dapat terbentuk dengan baik (Gambar 4.4).



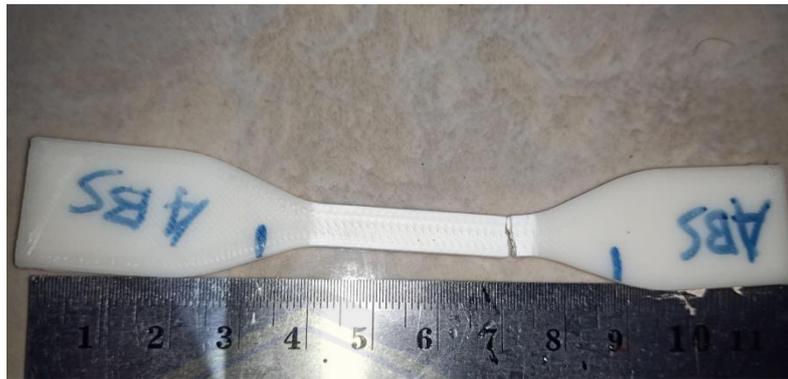
Gambar 4.4 Kegagalan cetak pada filamen ABS

- d. Perubahan spesimen dari spesimen awal ASTM D638 tipe I menjadi tipe IV agar sesuai dengan mesin uji yang berada di FMIPA UNEJ (Gambar 4.5).



Gambar 4.5 Perubahan ukuran spesimen uji tarik

- e. Dilaksanakan pengujian tarik pada filamen ABS, PLA, dan gabungan kedua filamen tersebut. Uji ini dilaksanakan untuk mengetahui kapasitas dari mesin uji tarik. Seperti pada gambar 4.6 hingga gambar 4.9 yaitu gambar spesimen uji tarik dan grafik hasil pengujian.



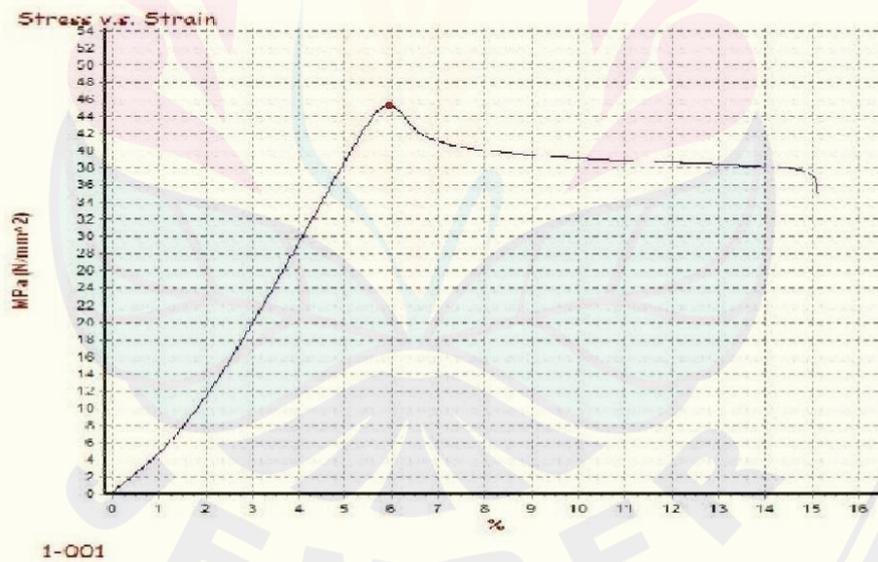
Gambar 4.6 Spesimen hasil uji tarik ABS

TEST REPORT

Test Description : ABS

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
ABS	18	815.4	45.30	42.35	45.30	15.14



Gambar 4.7 Hasil uji tarik filamen ABS dalam grafik



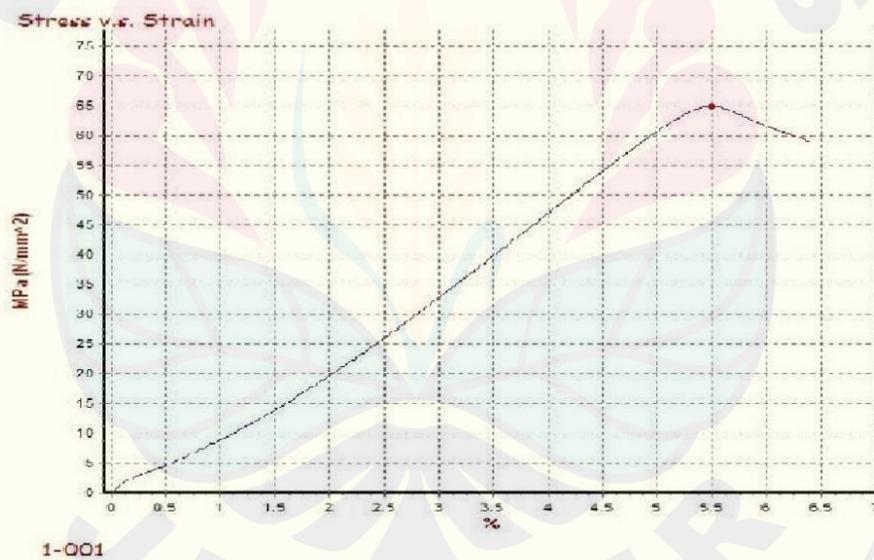
Gambar 4.8 Spesimen uji tarik filamen PLA

TEST REPORT

Test Description : PLA

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
SIK	15	972.4	64.82	60.49	64.82	6.40



Gambar 4.9 Grafik hasil uji tarik filamen PLA

- f. Proses uji tarik pada filamen gabungan ABS dan PLA mengalami pecah ketika diuji, mengakibatkan nilai hasil uji tarik tidak optimal seperti nilai uji tarik pada 100% PLA dan 100% ABS sehingga berakibat pada grafik uji tarik (Gambar 4.10 dan Gambar 4.11)



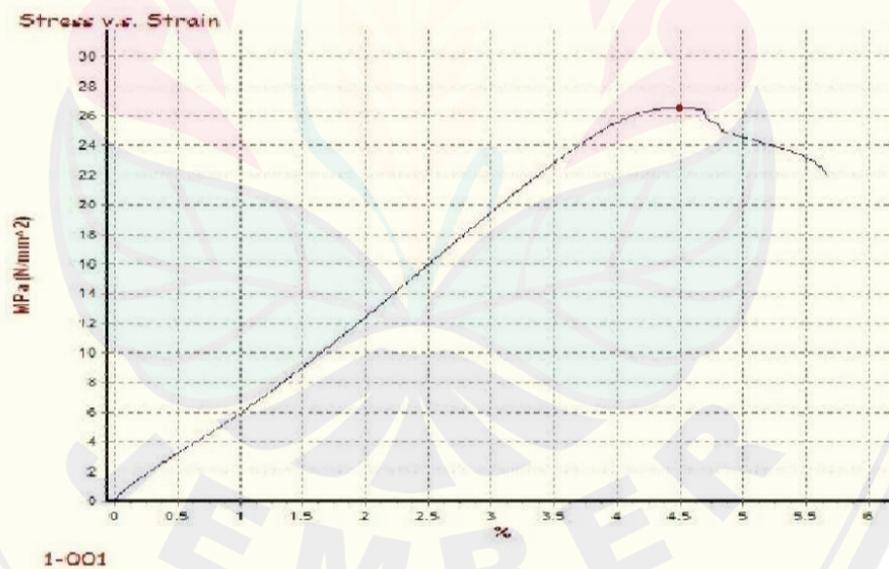
Gambar 4.10 Lapisan antara ABS dan PLA yang pecah dalam uji tarik

TEST REPORT

Test Description : ABS_PLA

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
25_75	18	477.8	26.08	24.17	26.54	15.14



Gambar 4.11 Hasil uji tarik gabungan filamen PLA 75% dan ABS 25%

Permasalahan yang dialami peneliti pada penelitian pendahuluan ini digunakan sebagai acuan tambahan dalam proses penelitian, sehingga peneliti dapat

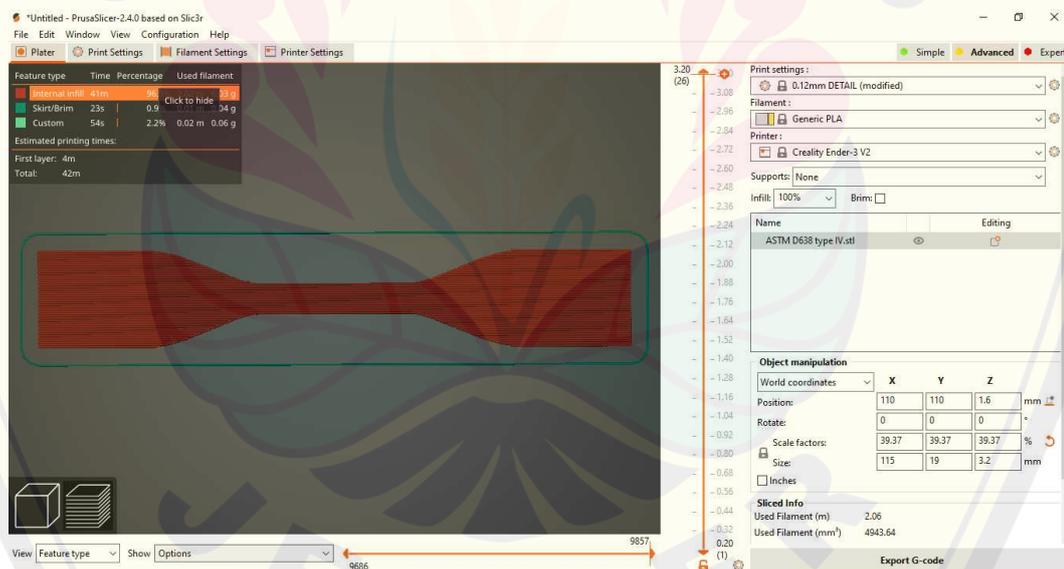
menghasilkan data yang spesifik dari spesimen yang diinginkan dan mempermudah hasil analisis dari data tersebut.

4.2 Hasil Cetak 3D Printer

Pada proses penelitian ini, pencetakan spesimen dimulai dengan design menggunakan *Software Inventor*, kemudian diubah menjadi kode menggunakan *software slicer* yang nantinya akan dibaca oleh mesin 3D printer hingga menghasilkan spesimen atau benda yang diinginkan.

4.2.1. Simulasi Slicer

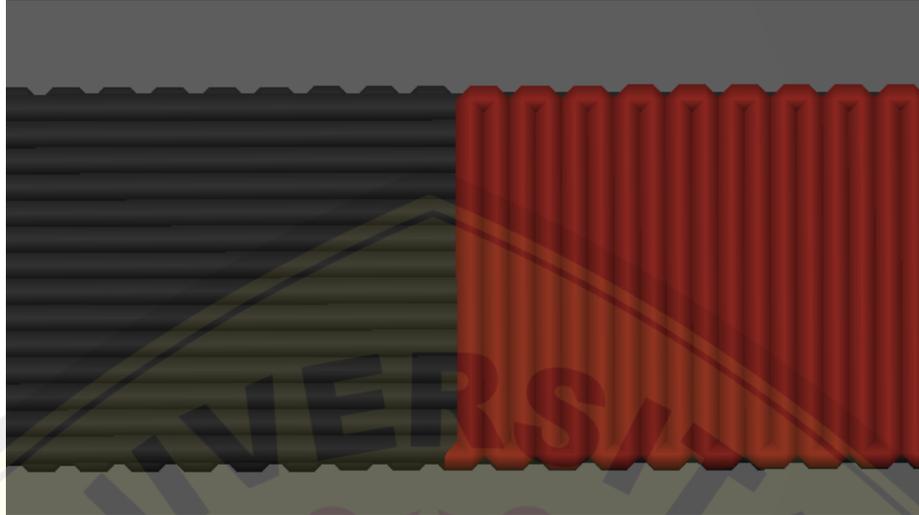
Proses ini menggunakan Aplikasi *Slicer* yaitu PrusaSlicer 2.3.0 buatan perusahaan Prusa. Proses cetak dengan aplikasi ini memiliki menu yang banyak yang bisa digunakan untuk mencetak benda 3D dengan banyak fitur berupa pengaturan awal yang dapat dipilih sesuai material dan dapat diubah sesuai keinginan.



Gambar 4.12 Gambar aplikasi PrusaSlicer 2.3.0

Pengaturan ini disesuaikan otomatis ketika memasukkan file CAD. Menu akan berwarna hijau sebagai rekomendasi proses cetak yang baik. Namun jika terdapat perubahan akan berubah menjadi kuning dan merah menyesuaikan kapasitas mesin cetak yang diatur pada aplikasi. Pada proses ini ketebalan diubah yaitu alas, dinding, dan penutup dihilangkan. Parameter lain disesuaikan seperti

yang di sesuaikan pada BAB 3. Hingga menghasilkan data seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.13 Tampak depan simulasi spesimen 100% dengan *pattern rectilinear*



Gambar 4.14 Tampak depan simulasi spesimen 80% dengan *pattern rectilinear*



Gambar 4.15 Tampak depan simulasi spesimen 60% dengan *pattern rectilinear Infill* pada *slicer* berfungsi untuk mengatur kerapatan jarak antar garis cetak. Proses pencetakan yang dimulai dari warna hijau sebagai garis bantu agar pengguna mengetahui apakah terjadi masalah terhadap proses cetak. Garis hijau merupakan garis bantu diawal cetak, garis ini menjadi parimeter saat proses cetak dilakukan, dimana apabila hasil extrusi filamen sesuai dengan garis maka benda dapat di cetak dengan baik, namun jika terdapat garis yang putus maka pengguna dapat menghentikan proses cetak dan megulang kembali proses persiapan alat dan pencetakan. Garis warna merah merupakan garis yang akan di lewati oleh *nozzle* hingga membentuk spesimen cetak, dimana proses akan dimulai dari garis berulang dan menumpuk hingga proses cetak selesai.

Sliced Info	
Used Filament (m)	2.02
Used Filament (mm ³)	4866.58
Used Filament (g)	6.03
Cost	1176.74
Estimated printing time:	
- normal mode	48m

Gambar 4.16 Informasi akhir yang ditunjukkan oleh aplikasi

Proses ini menunjukkan jumlah filamen yang digunakan baik berat, volume, harga, dan perkiraan waktu yang diperlukan pada proses cetak. Hasil ini dapat disesuaikan dengan mengubah pengaturan pada menu yang tersedia pada aplikasi

Slicer, Sehingga dapat memperhitungkan pada saat proses mencetak sebuah benda 3 dimensi.

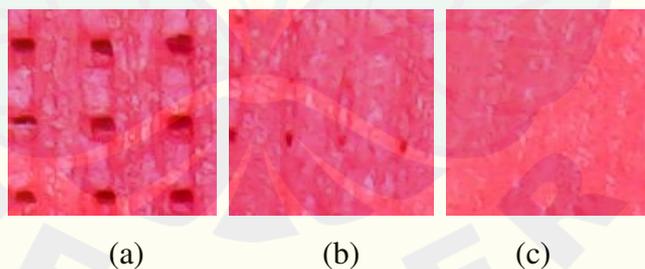
4.2.2. Hasil cetak

Setelah dilakukan simulasi *slicer*, dilakukan proses pencetakan dengan menginput data yang telah di simulasikan dalam bentuk GCODE. kemudian data tersebut dimasukan kedalam *Micro SD* agar dapat diproses lebih lanjut dengan 3D printer hingga proses cetak selesai. Gambar 4.17 menunjukkan hasil cetak tampak depan dan tampak samping.



Gambar 4.17 (a) Tampak depan Hasil cetak, (b) tampak samping hasil cetak

Hasil cetak spesimen uji disesuaikan dengan 3 variasi *Infill* yaitu 100%, 80%, dan 60% yang digunakan dalam penelitian. Variasi yang berbeda menunjukkan kerapatan hasil cetakan. Adapun hasil cetak spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut.



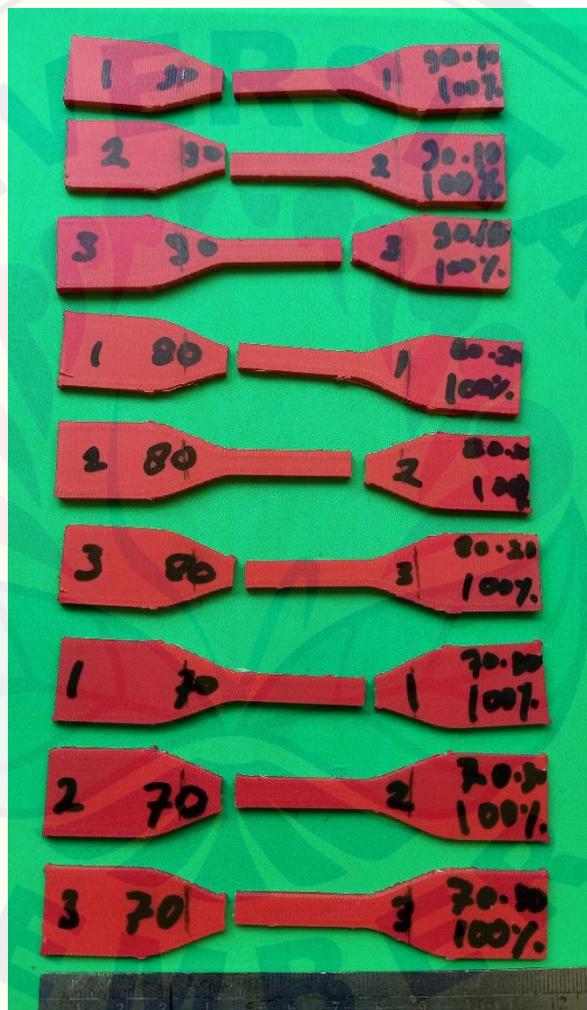
Gambar 4.18 Permukaan atas hasil cetak spesimen : (a) 60%, (b) 80%, (c) 100%

Dari Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa permukaan hasil cetak memiliki perbedaan. Spesimen (a) memiliki rongga dikarenakan nilai *infill* nya lebih kecil dibandingkan dengan spesimen lainnya, sedangkan spesimen (c) terlihat rapat dan

tidak berongga dikarenakan *infill* nya lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen (a).

4.3 Hasil Uji Tarik

Proses uji tarik spesimen uji dilakukan di FMIPA Universitas Jember. Spesimen uji tarik yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada standar ASTM D638-IV sesuai dengan Gambar 3.1. Berikut ini merupakan hasil uji tarik yang di kelompokkan berdasarkan *infill*.



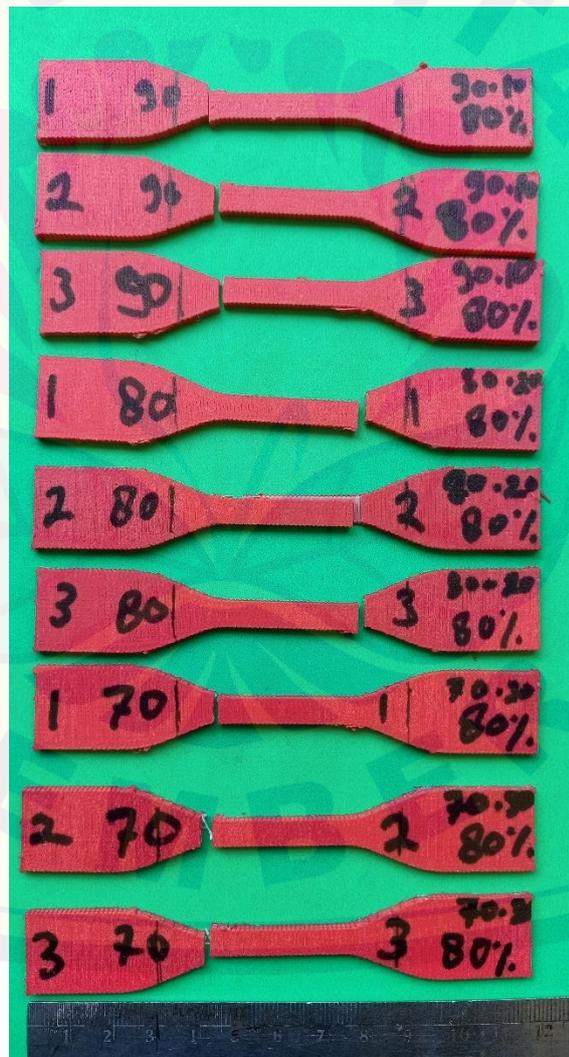
Gambar 4.19 Spesimen setelah dilakukan uji tarik dengan *infill* 100%

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa terjadi keseragaman pada patahan yang terjadi di area ukur. Patahan yang terjadi merupakan patahan sempurna sesuai yang di inginkan. Namun terdapat perbedaan tempat patahan yang bisa dilihat pada

gambar dimana kiri merupakan posisi atas saat uji tarik. Permukaan patahan dapat dilihat pada Gambar 4.20.

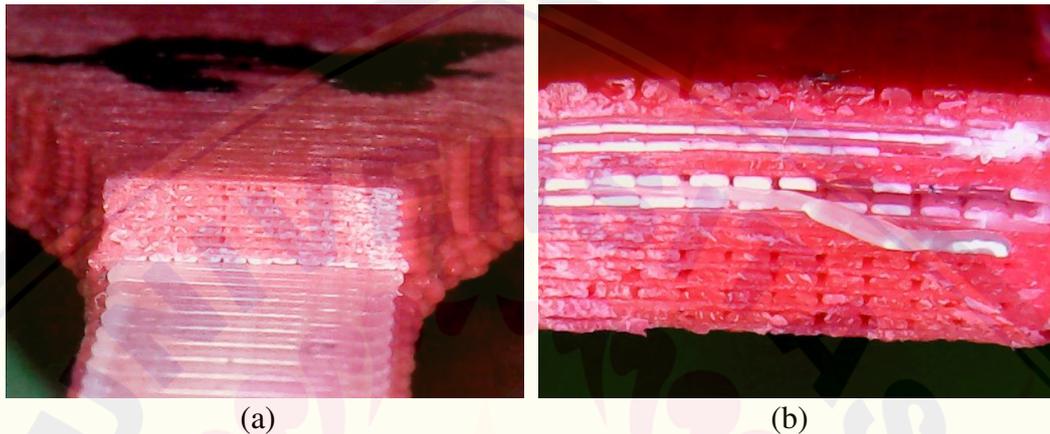


Gambar 4.20 Permukaan patahan pada *infill* 100%

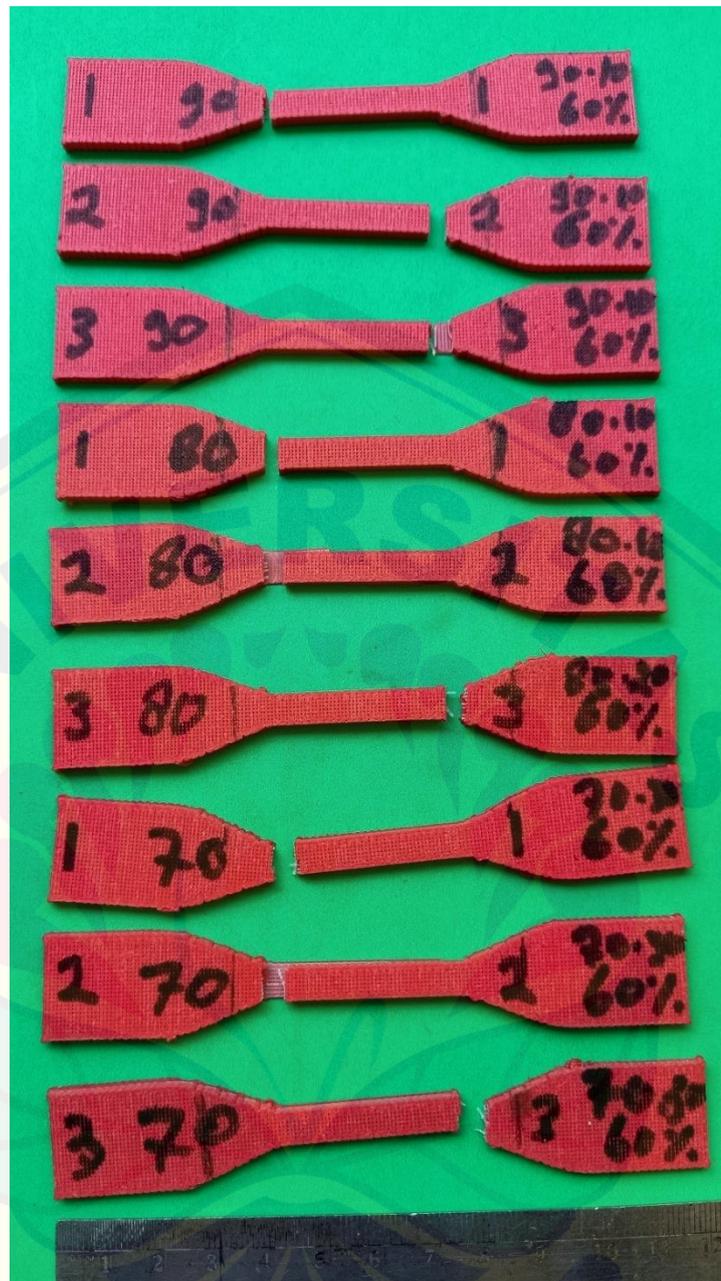


Gambar 4.21 Spesimen setelah dilakukan uji tarik pada *infill* 80%

Spesimen pada Gambar 4.21 memiliki beberapa bentuk patahan yang berbeda meskipun patahan terjadi di area ukur. Hal ini di tunjukkan pada komposisi 80% PLA dan 20% ABS dengan nomor 2, dimana terjadi delaminasi pada lapisan sebelum patah. Bentuk lainnya di area patahan ditunjukkan pada komposisi 70% PLA dan 30% ABS dengan nomor 2 dan 3 dimana terdapat serabut di area patahan. Permukaan patahan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.22.



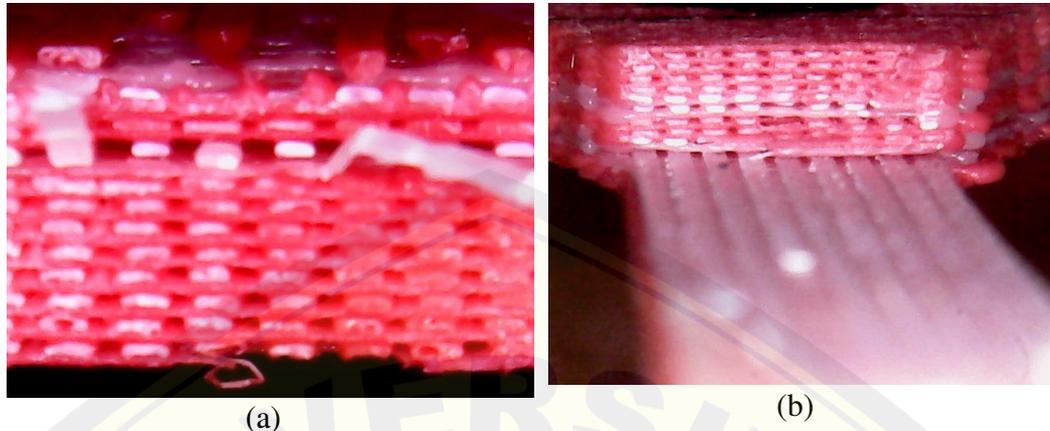
Gambar 4.22 Hasil patahan: (a) 80% PLA dan 20% ABS nomor 2, (b) 70% PLA dan 30% ABS nomor 2 dan 3



Gambar 4.23 Spesimen setelah dilakukan uji tarik dengan *infill* 60%

Gambar 4.23 Menunjukkan patahan terjadi pada area ukur dimana hasil uji tarik pada spesimen dengan *infill* 60%. Gambar 4.23 menunjukkan beberapa bentuk patahan, patahan serabut terjadi pada 80% PLA dan 20% ABS nomor 3, 70% PLA dan 30% ABS nomor 1 dan 3. Selain bentuk patahan serabut, terjadi patahan bentuk delaminasi pada 90% PLA dan 10% ABS nomor 3, 80% PLA dan 20% ABS nomor 2, dan 70% PLA dan 30% ABS nomor 2. Bentuk patahan ini terjadi karena

lepasnya permukaan ABS pada saat proses uji tarik sehingga berdampak pada hasil uji tarik. Patahan dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Bentuk patahan (a) Serabut (b) deliminasi

Pengujian tarik menghasilkan sejumlah data yang dapat diolah untuk dianalisis. Data yang diinginkan meliputi modulus elastisitas, *Yield Strength*, kekuatan tarik, dan elongasi. Data yang telah diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Data hasil uji tarik spesimen gabungan PLA dan ABS

Komposisi	Infill (%)	Pengulangan	Modulus Elastisitas (N/m ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Regangan (%)
10% ABS + 90% PLA	60	1	495.81	11.91	11.91	2.40
		2	484.81	5.52	12.05	2.49
		3	482.82	8.45	10.23	2.12
	80	1	754.93	21.77	24.55	3.25
		2	767.39	23.55	23.55	3.07
		3	773.03	22.69	22.69	2.94
	100	1	848.18	30.27	30.27	3.57
		2	743.50	11.37	28.64	3.85
		3	894.21	13.76	33.7	3.77
20% ABS + 80% PLA	60	1	487.41	5.35	13.09	2.69
		2	490.55	5.33	12.6	2.57
		3	443.27	10.55	11.83	2.67
	80	1	743.67	9.45	22.82	3.07
		2	731.21	10.23	25.73	3.52
		3	797.23	10.34	25.66	3.22
	100	1	756.21	26.23	26.23	3.47
		2	835.28	12.99	31.34	3.75
		3	793.36	11.63	30.43	3.84

Komposisi	Infill (%)	Pengulangan	Modulus Elastisitas (N/m ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Regangan (%)
30% ABS + 70% PLA	60	1	505.01	5.7	12.64	2.50
		2	484.58	11.34	12.69	2.62
		3	519.83	11.32	12.66	2.44
	80	1	707.27	8.61	21.35	3.02
		2	730.44	20.99	23.51	3.22
		3	739.39	22.69	22.69	3.07
	100	1	802.46	11.56	28.37	3.54
		2	723.78	11.67	29.81	4.12
		3	655.49	8.75	22.3	3.40

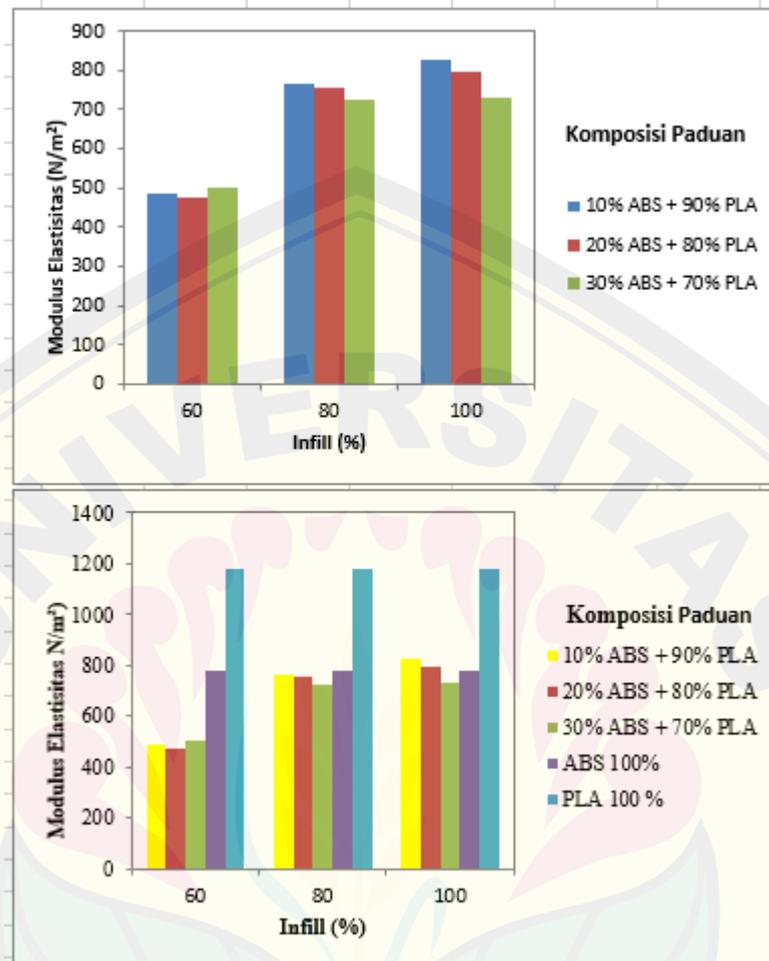
Hasil dari data di atas merupakan hasil uji tarik untuk spesimen pada masing-masing kombinasi variasi komposisi dan *infill*. Total spesimen yang diuji sebanyak 27 spesimen. Masing-masing kombinasi variasi dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pengulangan. Untuk mengetahui nilai spesifik pada tiap kombinasi, maka data yang diperoleh kemudian dirata-rata sehingga menghasilkan nilai hasil uji untuk tiap kombinasi variasi. Hasil uji tarik secara lengkap terdapat di lampiran. Adapun hasil rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Hasil rata-rata nilai uji spesimen gabungan PLA dan ABS

Komposisi	Infill (%)	Modulus Elastisitas (N/m ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Regangan (%)
10% ABS + 90% PLA	60	487.98	8.63	11.40	2.34
	80	764.80	22.67	23.60	3.09
	100	827.64	18.47	30.87	3.73
20% ABS + 80% PLA	60	473.56	7.08	12.51	2.64
	80	756.78	10.01	24.74	3.27
	100	795.93	16.95	29.33	3.69
30% ABS + 70% PLA	60	502.70	9.45	12.66	2.52
	80	725.87	17.43	22.52	3.10
	100	727.93	10.66	26.83	3.69
ABS 100%		781.03	42.35	45.30	5,8
PLA 100%		1178.55	60.49	64.82	5,5

Dari data di atas dapat dilihat bahwa hasil uji tarik diperoleh nilai yang bervariasi. Nilai dari elongasi yang diperoleh dari data pengujian tarik mengalami tren yang sama, sedangkan nilai dari modulus elastisitas, *yield strength* dan kekuatan tarik mengalami tren yang berbeda pada tiap variasi. Untuk modulus

elastisitas terdapat perbedaan pada tiap variasi. Untuk mengetahui perbedaan yang terjadi dapat dilihat pada diagram yang terdapat pada Gambar 4.18 berikut.



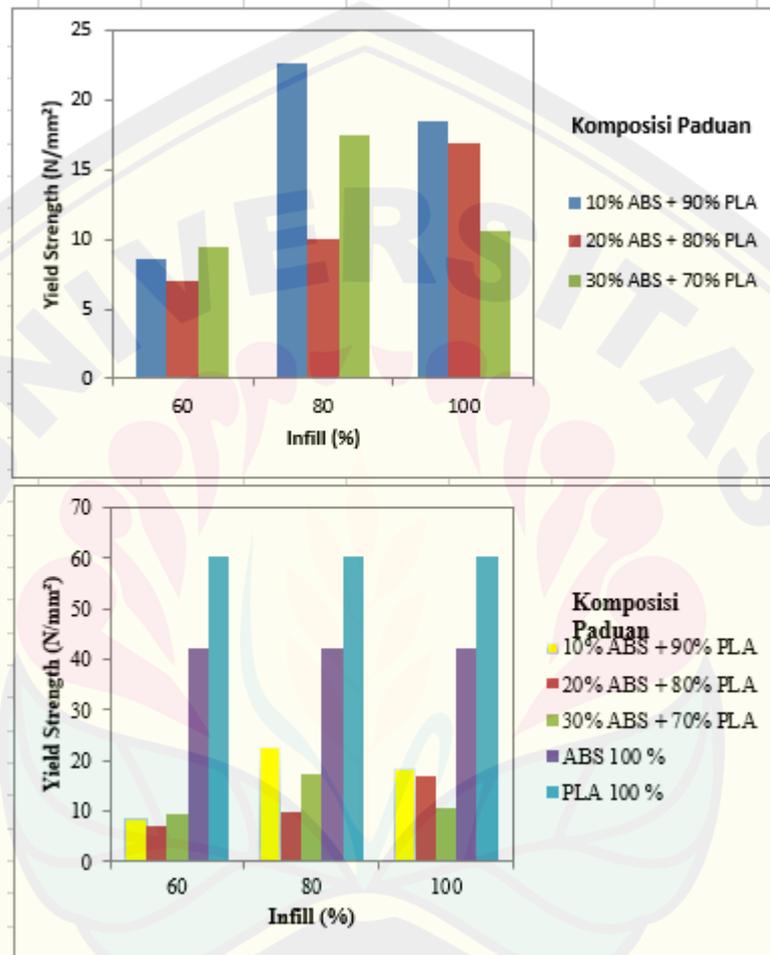
Gambar 4.19 Diagram modulus elastisitas gabungan PLA dan ABS

Gambar 4.19 menunjukkan diagram bahwa masing-masing kombinasi variasi memiliki nilai yang berbeda. Diagram pertama menunjukkan perbedaan nilai modulus elastisitas pada tiap variasi, diagram kedua menunjukkan perbedaan modulus elastisitas pada tiap variasi dengan nilai modulus elastisitas PLA dan ABS dengan komposisi 100%.

Dari diagram pertama dapat diketahui bahwa nilai tertinggi dari modulus elastisitas diperoleh pada variasi dengan komposisi 20% ABS + 80% PLA pada *infill* 100% dengan nilai modulus elastisitas sebesar 794,95 N/m². Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan modulus elastisitas ABS murni dengan selisih nilai

sebesar 13,92 N/mm². Sedangkan nilai terendah diperoleh pada komposisi yang sama dengan nilai *infill* 60% dengan nilai modulus elastisitas sebesar 473,74 N/mm².

Hasil pengujian *yield strength* pada spesimen menunjukkan perbedaan untuk tiap variasinya. Adapun perbedaan yang terjadi dapat dilihat pada diagram yang ditunjukkan pada Gambar 4.20.

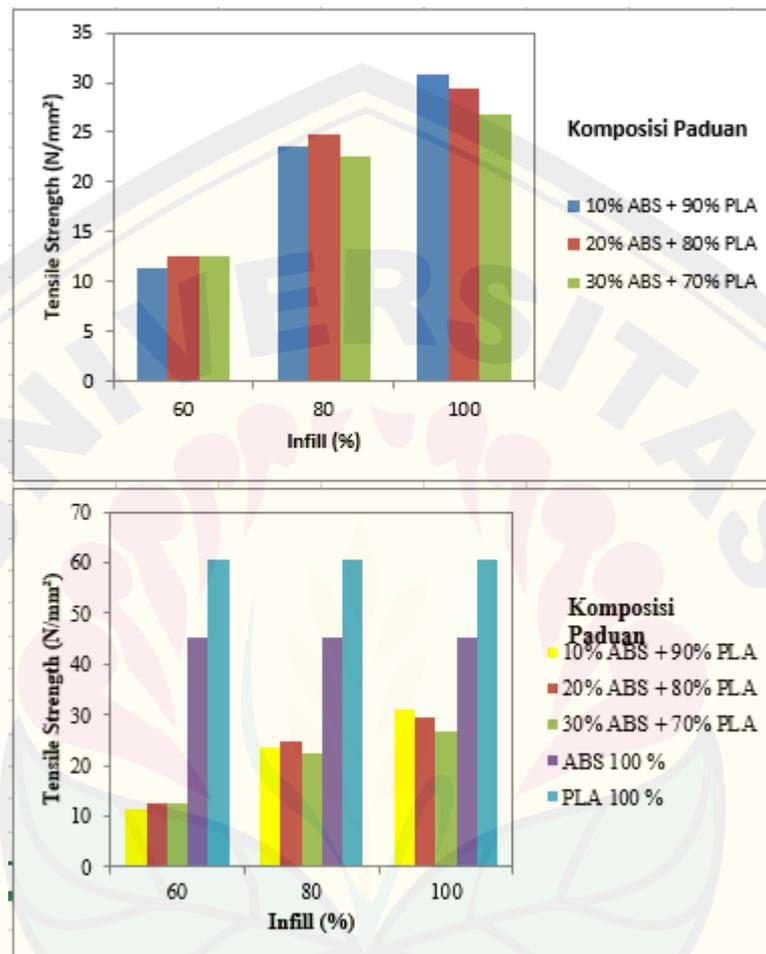


Gambar 4.20 Diagram *yield strength* gabungan PLA dan ABS

Diagram pertama menunjukkan perbedaan nilai *yield strength* pada tiap variasi, diagram kedua menunjukkan perbedaan *yield strength* pada tiap variasi dengan nilai *yield strength* PLA dan ABS dengan komposisi 100%. Nilai tertinggi dari *yield strength* diperoleh pada variasi dengan komposisi 10% ABS + 90% PLA pada *infill* 80% dengan nilai *yield strength* sebesar 22,67 N/mm². Nilai ini memiliki selisih angka yang terdekat dengan ABS 100% dengan selisih sebesar 19,68

N/mm^2 . Sedangkan nilai terendah diperoleh pada komposisi 20% ABS + 80% PLA dengan nilai *infill* 60% dengan nilai modulus elastisitas sebesar $7,08 \text{ N/mm}^2$.

Nilai *tensile strength* terdapat perbedaan pada tiap variasi nya. Adapun perbedaan yang terjadi dapat dilihat pada diagram (Gambar 4.21) sebagai berikut.



Gambar 4.21 Diagram *tensile strength* Gabungan PLA dan ABS

Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa masing-masing kombinasi variasi memiliki nilai yang berbeda. Diagram pertama menunjukkan perbedaan nilai *tensile strength* pada tiap variasi, diagram kedua menunjukkan perbedaan *tensile strength* pada tiap variasi dengan nilai *tensile strength* PLA dan ABS dengan komposisi 100%. Nilai tertinggi dari *tensile strength* diperoleh pada variasi dengan komposisi 20% ABS + 80% PLA pada *infill* 100% dengan nilai *tensile strength* sebesar $29,33 \text{ N/mm}^2$. Nilai ini memiliki selisih angka yang terdekat dengan ABS 100% dengan selisih sebesar $15,97 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan nilai terendah diperoleh

pada komposisi 10% ABS + 90% PLA dengan nilai *infill* 60% dengan nilai *tensile strenght* sebesar 11,40 N/mm².

4.4 Analisis

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, terdapat hasil yang berbeda pada kekuatan tarik nya. Adapun beberapa fenomena yang telah diamati dari pengujian tarik yaitu:

1. Terjadi perbedaan kekuatan tarik pada tiap-tiap kombinasi variasi. Kombinasi variasi dengan komposisi 20% ABS + 80% PLA dengan *infill* 100% memperoleh hasil terbaik dengan nilai modulus elastisitas yaitu 794,95 N/m² dan *tensile strenght* tertinggi yaitu 29,33 N/mm².
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari gabungan PLA dan ABS jika dibandingkan dengan 100% ABS memiliki selisih kekuatan tarik terendah, akan tetapi nilai yang dihasilkan tidak melebihi nilai dari 100% PLA. Hasil ini berbeda dengan karya Dhines dkk (2020) dimana peneliti menggunakan ASTM 638 type 1 dengan metode *sandwich* pada 80% PLA dan 20% ABS menghasilkan nilai kekuatan tarik lebih tinggi dari 100% PLA murni. Serta nilai regangannya lebih tinggi dari 100% ABS murni.
3. Nilai modulus elastisitas dari gabungan PLA dan ABS yaitu komposisi 20% ABS + 80% PLA dengan *infill* 100% memiliki nilai yang lebih tinggi dari 100% ABS, sehingga gabungan ini dapat digunakan sebagai alternatif untuk menggantikan bahan ABS.

Dari beberapa fenomena di atas, terdapat beberapa usulan yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan benda dengan gabungan PLA dan ABS yaitu sebagai berikut:

1. Gabungan dengan komposisi 20% ABS + 80% PLA dapat digunakan untuk menggantikan bahan 100% ABS. Hal ini dikarenakan gabungan ini memiliki kekuatan yang lebih baik dari bahan 100% ABS.
2. Dengan menggabungkan PLA dan ABS dapat mengurangi penggunaan bahan yang tidak dapat diuraikan (*non-degradable*). Hal ini dikarenakan bahan PLA memiliki sifat mudah diuraikan (*bio-degradable*). Avinc dan Khoddami

(2009) dalam penelitiannya mengatakan bahwa produk PLA dapat dengan mudah diuraikan atau didaur ulang dalam kondisi tertentu.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan tentang penggabungan bahan PLA dan ABS hasil 3D printing, diperoleh hasil yang dapat disimpulkan sebagai hasil akhir dari penelitian. Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yaitu proses penggabungan filamen PLA dan ABS ini menghasilkan beberapa perbedaan. Beberapa variasi menunjukkan adanya perbedaan yang lebih baik dari bahan 100% ABS dengan *infill* 100% yaitu variasi 80% PLA dan 20% ABS dengan *infill* 100%. Dimana nilai modulus elastisitas 100% ABS adalah 781.03 N/m², sedangkan untuk 80% PLA dan 20% ABS nilai modulus elastisitas yaitu 794,95 N/m². Sedangkan nilai tensile strenght 100% ABS lebih tinggi yaitu 45.30 N/mm² dimana hasil tensile strength 80% PLA dan 20% ABS tertinggi yaitu 29,33 N/mm². Nilai hasil uji tarik dari variasi PLA dan ABS tidak lebih baik dari bahan 100% PLA. Sehingga proses penggabungan PLA dan ABS dapat dijadikan sebagai salah satu material alternatif pengganti ABS untuk memperoleh material yang lebih ramah terhadap lingkungan dan mudah untuk didaur ulang.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya agar diperhatikan dalam proses penggabungan PLA dan ABS dengan 3D printing yaitu sebagai berikut.

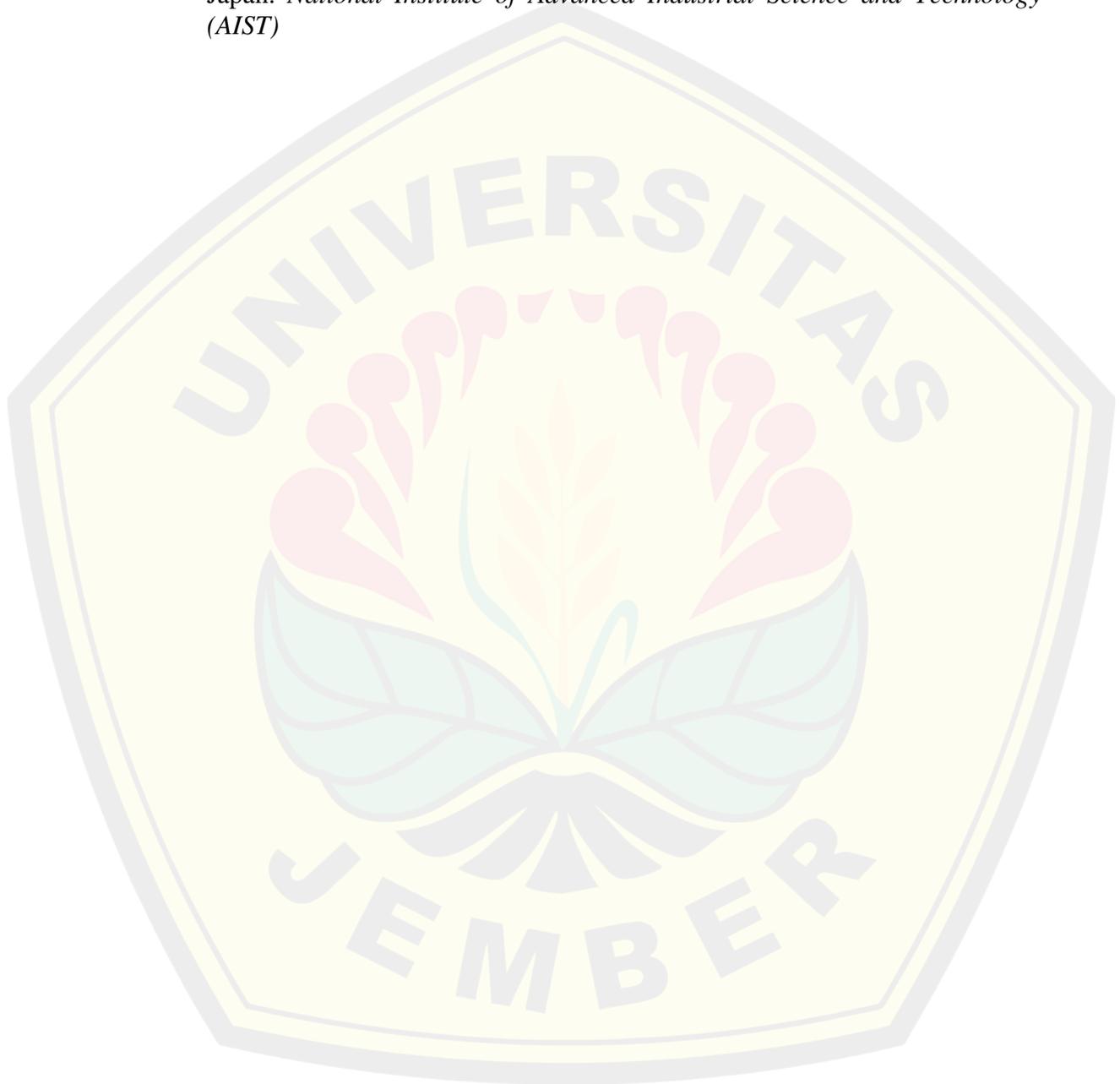
1. Menyesuaikan temperatur pendinginan dalam proses pembuatan benda dengan bahan campuran ABS agar hasil cetakan tidak menghasilkan kegagalan seperti melengkung saat benda didinginkan.
2. Apabila ingin membuat benda dengan gabungan PLA dan ABS, alangkah baiknya apabila menambahkan variasi penggabungan dan menggunakan metode yang berbeda baik *sandwitch* atau lainnya agar mendapatkan nilai yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameri B., F., Taheri-Behrooz, dan Aliha, M. 2020. *Fracture Loads Prediction of the Modified 3D-Printed ABS Specimens Under Mixed-Mode I / II Loading. Journals. Iran: School of Mechanical Engineering Iran University of Science and Technology.*
- Avinc, O., dan Khoddami, A. 2009. *Overview of Poly(LactidnAcid)(PLA) Fibre. Fibre Chemistry.* 41(6): 391-401.
- Berman. B. 2012. *3D Printing:The New Industrial Revolution. Business Horizon Vol.55, Hal 155-162. USA. Kelley School Of Business Indiana University.*
- Gibson, I., Rosen, D., dan Stucker., B., 2010. *Additive Manufacturing Technologies.* London. Springer New York Heidelberg Dordrecht.
- Dhinesh, S., Prakash, S., Arun, Kumar, K., Senthil, dan Megaligam, A., 2020. *Study On Flexural and tensile behavior of PLA, ABS, and PLA-ABS Materials. Material today:Proceedings. India: Department of Mechatronics Bannari Amman Institute Of Technology.*
- Farah, S., Anderson, D., dan Langer. R. 2016. *Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. Advanced Drug Delivery Reviews.* 26 : 1-26.
- Hashim, S., Hassan, A., dan Yen, S. 2006. *Mechanical, Chemical And Flammability Properties Of Abs/Pvc Blends.* Skripsi. Johor : Universiti Teknologi Malaysia.
- Letcher, T., dan Waytashek, M. 2014. *Material Property Testing Of 3D-Printed Specimen In PLA On An Entry-Level 3D Printer.* Proceedings of the ASME.
- Sugiyono, D., 2014. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D.* Bandung: Alfabeta.
- Salim, M., Termiti, Z., dan Saad, A. 2019. *Mechanical Properties on ABS/PLA Materials for Geospatial Imaging printed Product Using 3D Printing Technology. Jurnal.* Malaysia: Fakulti kejuruteraan Mekanikal Universitas Teknikal Malaysia Melaka.
- Sy, Do. 2015. *Material and Application Report 2015 Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) and 3D Printer.* Engineering Material Project. https://www.researchgate.net/publication/332538226_Material_and_Appliat

ion_Report_2015_Acrylonitrile_Butadiene_Styrene_ABS_and_3D_Printer_2 . [Diakses pada 7 juni 2021]

Wicaksono, T., Budiyanoro, C., dan Sosiati, H. 2019. *Karakterisasi Sifat Mekanis dan Sifat Thermal Campuran Daur ulang Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) dan Poly Carbonate (PC)*. Jurnal Material dan Proses Manufaktur. 1 (1) : 1-11.T., Ohji. 2013. *Testing and Evaluation of Mechanical Properties*. Japan. *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)*



Lampiran

1. Filamen PLA (merk Rajawali 3D/R3D)

R3Dmaker PLA **R3D**
RAJAWALI3D

**Red 7621-C**

Spesifikasi:

Material : PLA

Warna : Red / Merah

Diameter : 1.75mm

Diameter Tolerance : 0.02mm

Length : 330 mtr / kg

Density : 1.25 +/- 0.05 g/cm³

Printing Temperature : 190 220 C

Bed Temperature : No Need

Tensile Strength : 11 16 kgf (= 45 65 MPa)

Melt Flow Rate : 4 8 g / 10min (190, 2.16kg)

Print Speed : 50 100mm/s

No Bubble

Berat Bersih : 1.0 kg

Berat Kotor : 1.35 kg (2.2 lbs)

Ukuran Rol : Diameter 20 cm x 6.6cm

Inspection Report : ROHS/REACH

2. Filamen ABS



Material : ABS 1.75mm

Berat Bersih : 500 Gram

Print Temperature : 220 - 250 Degree Celcius (ABS)

Print Bed Temperature : 80 -120 Degree Celcius (ABS)

Panjang : +/- 195 meter

3. Mesin Uji Tarik



Merk : HT-2402

Kapasitas : 1-50KN

4. Mesin Foto mikro



Kapasitas Perbesaran :40-800x

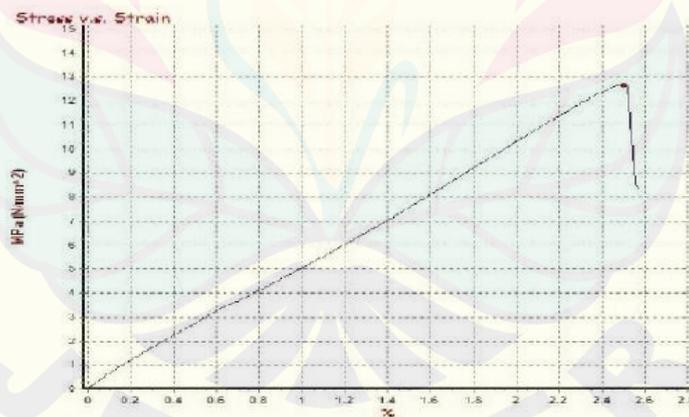
5. Hasil uji tarik
 - a. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 60% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_60%:70

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
1_60%:70	19.2	242.7	6.71	5.70	12.64	2.56



- b. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 60% pengulangan 2

TEST REPORT

Test Description : 2_60%_70

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_60%_70	19.2	243.6	12.69	11.34	12.69	2.56



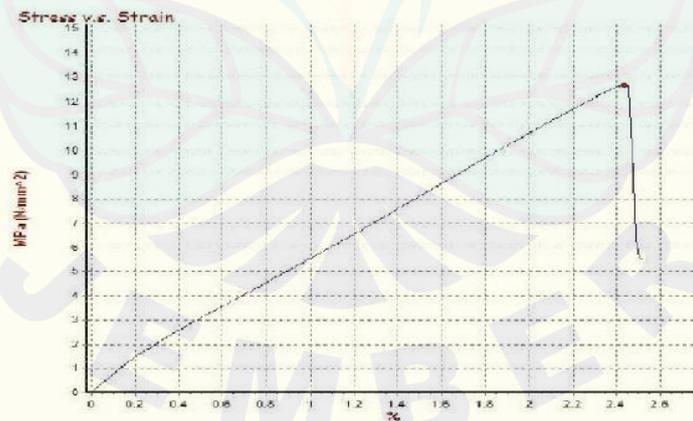
c. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 60% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_60%_70

Test No. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_60%_70	19.2	243.0	12.66	11.32	12.66	2.56



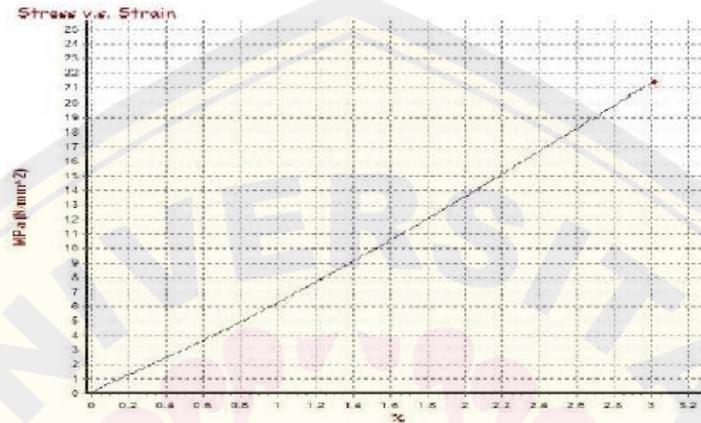
d. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 80% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_80%_70

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
1_80%_70	19.2	409.9	10.42	8.61	21.35	2.56



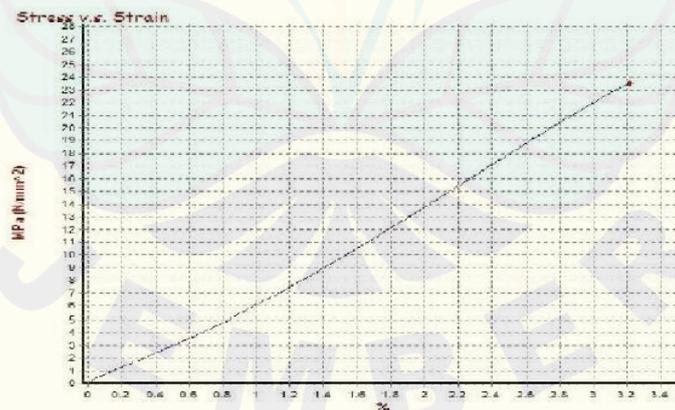
e. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 80% pengulangan 2.

TEST REPORT

Test Description : 2_80%_70

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_80%_70	19.2	451.5	23.51	20.99	23.51	2.56



f. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 80% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_80%_70

Test No. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_80%_70	19.2	435.6	11.24	22.69	22.69	2.56



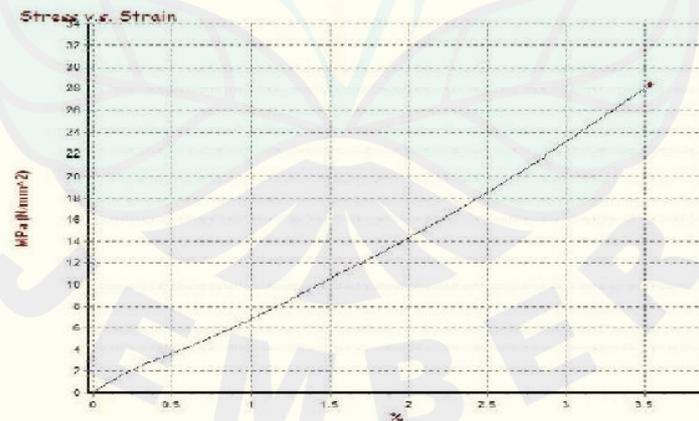
g. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 100% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_100%_70

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
1_100%_70	19.2	544.8	13.80	11.56	28.37	2.56



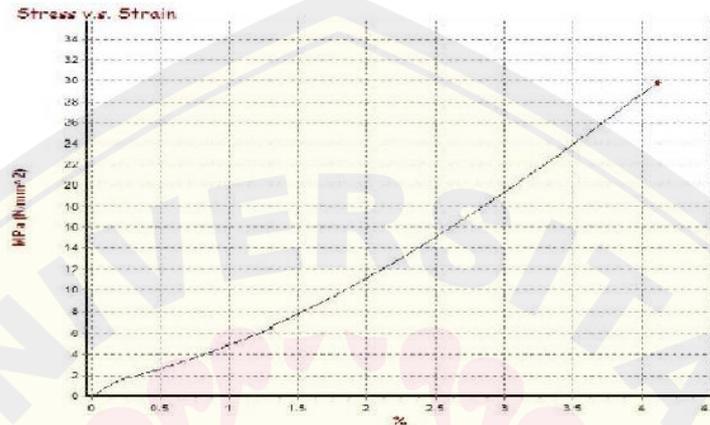
h. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 100% pengulangan 2.

TEST REPORT

Test Description : 2_100%_70

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_100%_70	19.2	572.4	14.53	11.67	29.81	2.56



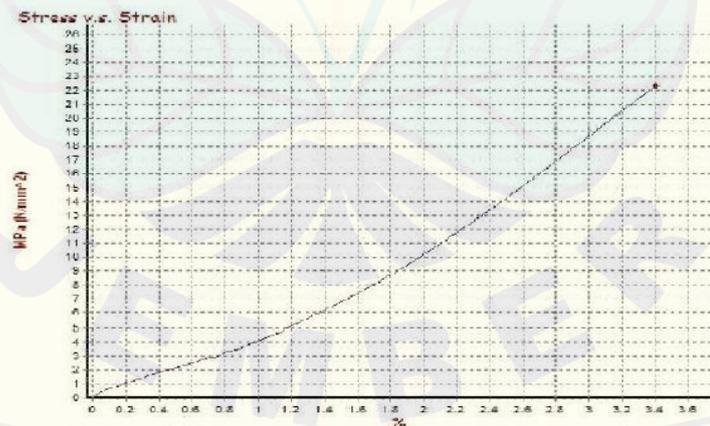
- i. 70% PLA dan 30% ABS dengan infill 100% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_100%_70

Test No. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_100%_70	19.2	428.2	11.26	8.75	22.30	2.56



- j. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 60% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_60%_80

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_60%_70	19.2	251.3	6.37	5.35	13.09	2.56



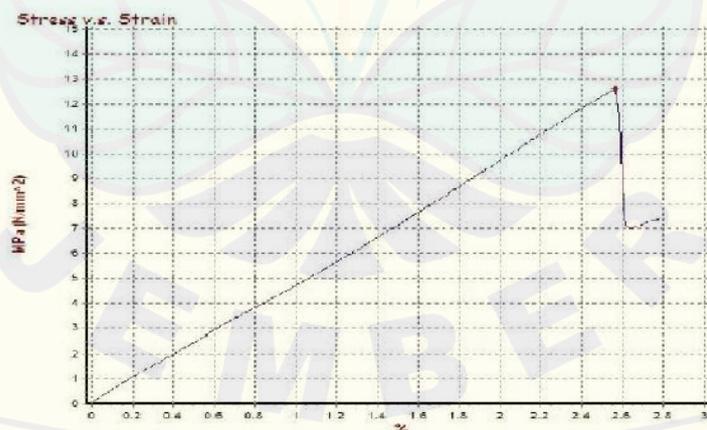
k. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 60% pengulangan 2.

TEST REPORT

Test Description : 2_60%_80

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_60%_80	19.2	241.9	6.30	5.33	12.60	2.56



l. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 60% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_60%_80

Test No. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_60%_80	19.2	227.1	11.83	10.55	11.83	2.56



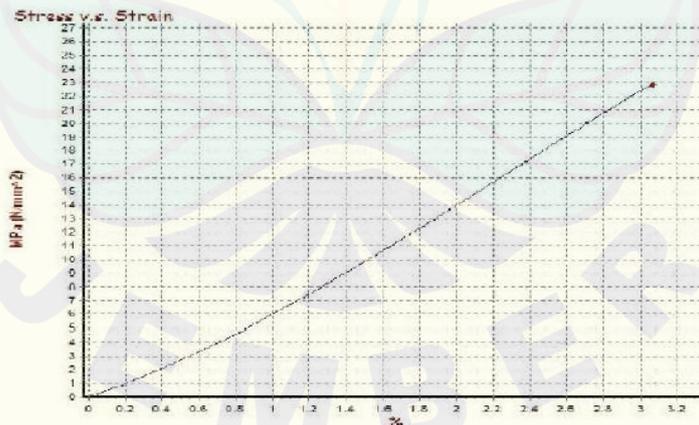
m. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 80% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_80%_80

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
1_80%_80	19.2	438.2	11.63	9.45	22.82	2.56



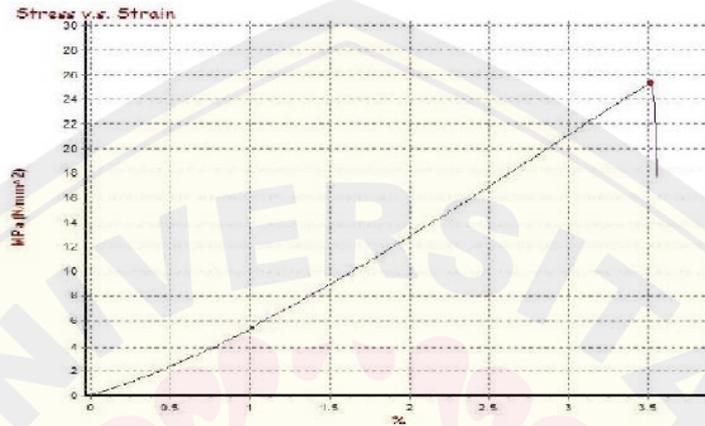
n. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 80% pengulangan 2.

TEST REPORT

Test Description : 2_80%_80

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_80%_80	19.2	487.1	12.59	10.23	25.37	2.56



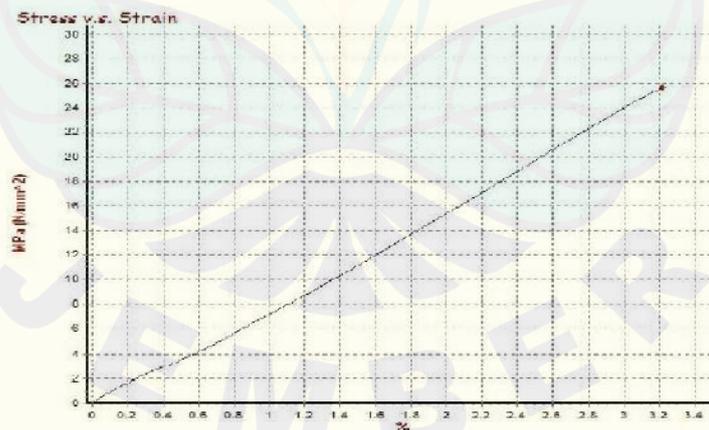
o. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 80% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_80%_80

Test No. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_80%_80	19.2	492.6	12.41	10.34	25.66	2.56



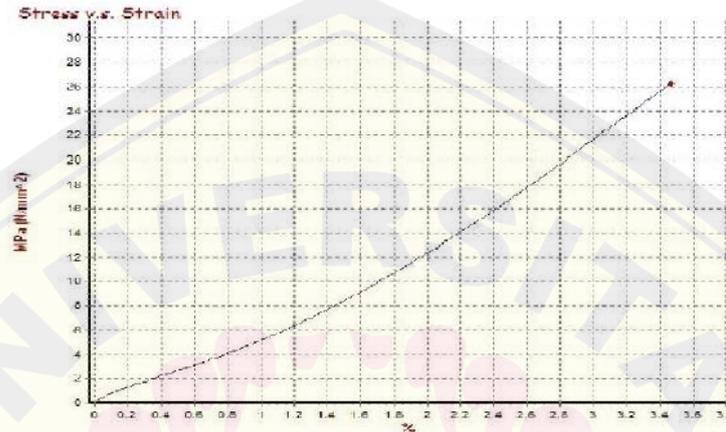
p. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 100% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_100%_80

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
1_100%_80	19.2	503.6	12.66	26.23	26.23	2.56



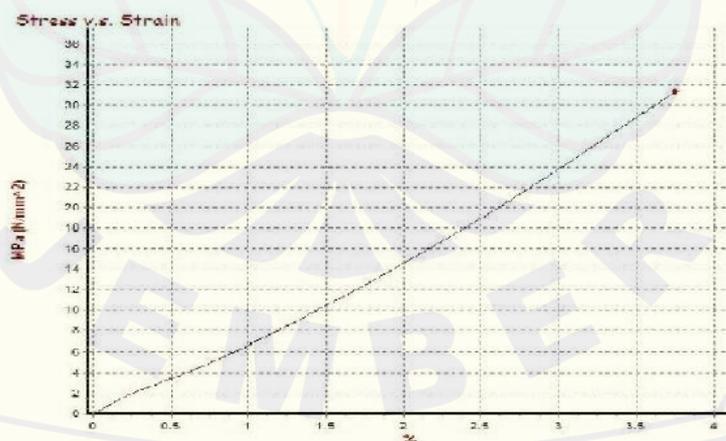
q. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 100% pengulangan 2.

TEST REPORT

Test Description : 2_100%_80

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_100%_80	19.2	601.8	15.85	12.99	31.34	2.56



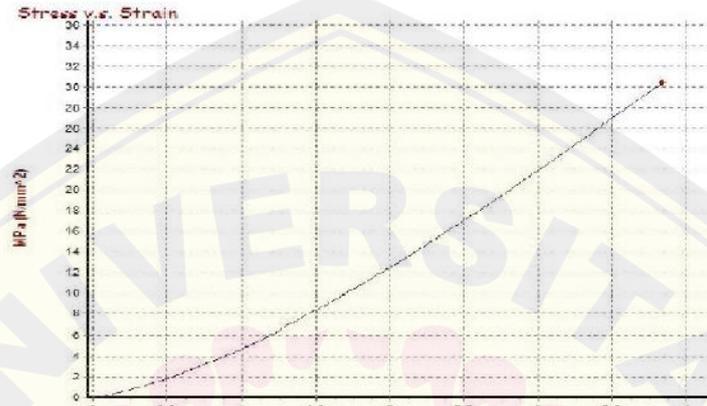
r. 80% PLA dan 20% ABS dengan infill 100% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_100%_80

TestNo. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_100%_80	19.2	584.2	14.73	11.63	30.43	2.56



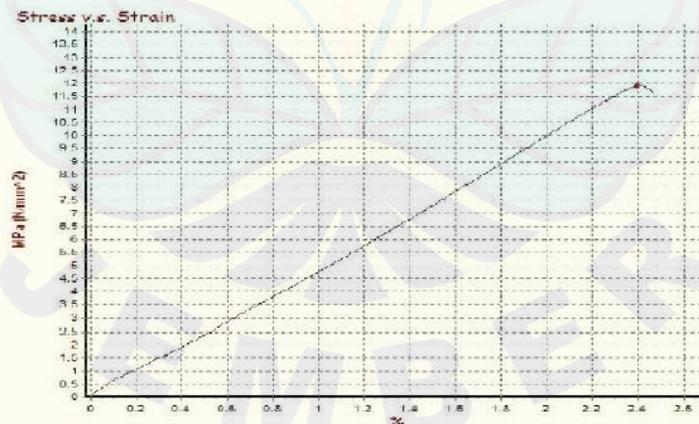
s. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 60% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_60%_90

TestNo. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
1_60%_90	19.2	228.8	6.02	11.91	11.91	2.56



t. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 60% pengulangan 2.

TEST REPORT

Test Description : 2_60%_90

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_60%_90	19.2	250.5	6.56	5.52	13.05	2.56



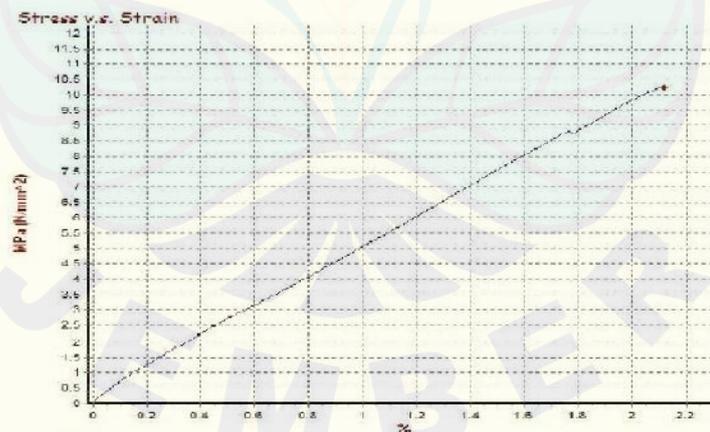
u. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 60% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_60%_90

Test No. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_60%_90	19.2	196.4	10.23	8.45	10.23	2.56



v. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 80% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_80%_90

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
1_80%_90	19.2	471.4	24.55	21.77	24.55	2.56



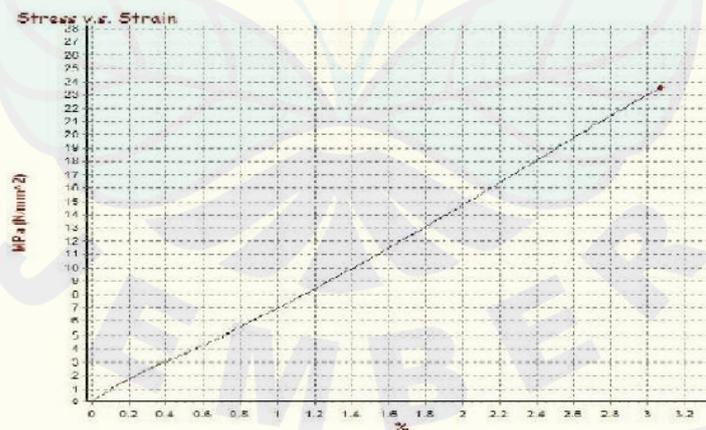
w. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 80% pengulangan 2.

TEST REPORT

Test Description : 2_80%_90

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_80%_90	19.2	452.2	11.77	23.55	23.55	2.56



x. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 80% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_80%_90

Test No. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_80%_90	19.2	435.6	11.29	22.69	22.69	2.56



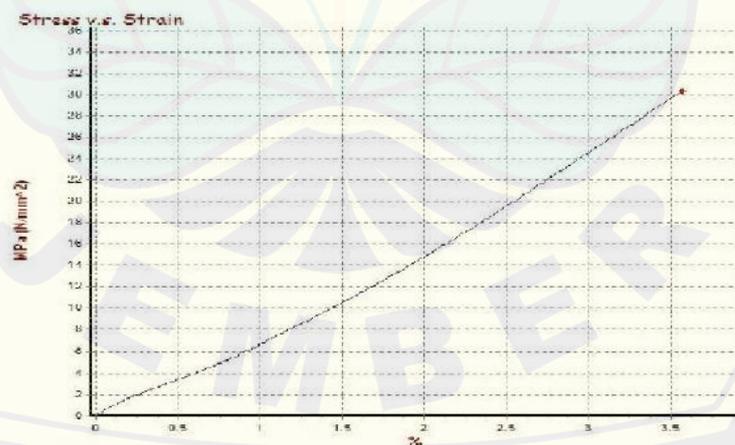
y. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 100% pengulangan 1.

TEST REPORT

Test Description : 1_100%_90

Test No. : 1

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
1_100%_90	19.2	581.1	15.10	30.27	30.27	2.56



z. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 100% pengulangan 2.

TEST REPORT

Test Description : 2_100%_90

Test No. : 2

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
2_100%_90	19.2	549.9	14.27	11.37	28.64	2.56



aa. 90% PLA dan 10% ABS dengan infill 100% pengulangan 3.

TEST REPORT

Test Description : 3_100%_90

Test No. : 3

Specimen	Area (mm ²)	Max. Force (N)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
3_100%_90	19.2	647.0	16.68	13.76	33.70	2.56

