Karakterisasi Hasil Pengujian Tarik Campuran Resin *Flex* dan Resin Standar untuk Model Pembuluh Arteri Koroner

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun Oleh :

Nama : Maulana Chairil Fahmi
No. Mahasiswa : 20525100
NIRM : 2008260279

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2025

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Karakterisasi Hasil Pengujian Tarik Campuran Resin *Flex* dan Resin Standar untuk Model Pembuluh Arteri Koroner

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Maulana Chairil Fahmi

No. Mahasiswa : 20525100

NIRM : 2008260279

Yogyakarta, 14 Januari 2025

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP	Ir. Donny Suryawan, S.T., M.Eng., IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Karakterisasi Hasil Pengujian Tarik Campuran Resin *Flex* dan Resin Standar untuk Model Pembuluh Arteri Koroner

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : **Maulana Chairil Fahmi**

No. Mahasiswa : **20525100**

NIRM : **2008260279**

Tim Penguji

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP
Ketua
Tanggal : 09 Februari 2025

Purtojo, S.T., M.Sc.
Anggota I
Tanggal : 03 Februari 2025

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.
Anggota II
Tanggal : 27 Januari 2025

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah Yang Maha Mengetahui, dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil karya saya pribadi kecuali kutipan secara tertulis yang telah saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pengakuan saya tidak benar serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual, maka saya akan bertanggung jawab serta bersedia menerima sanksi sesuai peraturan dan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 01 Januari 2025

Maulana Chairil Fahmi

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, puji dan syukur saya haturkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, Tugas Akhir ini dapat saya selesaikan dengan tepat waktu. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya, yaitu Ibu Huaina dan Bapak Muhammad Isrok atas segala bentuk kasih sayang, dukungan, serta doa yang selalu menyertai saya dalam setiap langkah; Keluarga serta para leluhur; Tenaga medis dan kesehatan di seluruh wilayah dunia; Diri saya sendiri yang selalu berjuang serta tidak mengenal kata lelah.

HALAMAN MOTTO

"Memayu Hayuning Bawana, Ambrasta dur Hangkara"

"Sura Dira Jayaningrat, Lebur Dening Pangastuti"

"Pelajarilah adab sebelum mempelajari ilmu.
Hanya dengan adab, engkau akan memahami ilmu"

"Tingkatkan kualitas kata-katamu, bukan level suaramu.
Hujanlah yang menumbuhkan bunga, bukan gemuruh petir"
(Jalaluddin Rumi)

"Tidak perlu menjelaskan tentang dirimu kepada siapa pun, karena yang menyukaimu tidak butuh itu. Dan yang membencimu tidak akan percaya itu"
(Ali bin Abi Thalib)

"Semakin tinggi ilmunya, semakin banyak melihat kebenaran orang lain.
Semakin tinggi makrifatnya, semakin tidak melihat kesalahan orang lain"
(Syekh Nawawi Al-Bantani)

"Tahunya manusia itu tidak terbatas, karena batasan dari tahunya manusia adalah ketidaktahuannya.
Padahal di saat manusia tidak tahu, sesungguhnya dia tetap tahu, yaitu tahu bahwa dirinya tidak tahu"
(Ki Ageng Suryomentaram)

"So which of the favors of your Lord would you deny?"
(Q.S Ar-Rahman : 13)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.
Bismillahirrahmanirrahim.

Segala puji dan syukur bagi Tuhan Semesta Alam yang telah banyak melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam juga tidak lupa saya haturkan kepada Kanjeng Nabi Besar Muhammad SAW yang telah membawa umat islam dari zaman kegelapan menuju ke zaman yang penuh cahaya.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Keberhasilan dalam pelaksanaan hingga penyusunan Laporan Tugas Akhir tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berbagai pihak, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Kedua orang tua saya tercinta, yaitu ibu Huaina dan bapak Muhammad Isrok yang telah banyak memberikan segala bentuk kasih sayang, dukungan, serta doa tulus yang tidak pernah terputus kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan serta pendampingan.
4. Bapak Ir. Donny Suryawan, S.T., M.Eng., IPP selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan serta pendampingan.
5. Saudari Alfi Syahrin Yuliantari, S.T., yang telah menemani serta selalu memberikan dukungan dalam berbagai bentuk kepada penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
6. Rekan seperjuangan saya, Muhammad Raihan Ammar.
7. Keluarga besar Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang menjadi tempat bertukar pemikiran, pandangan, serta pengalaman baru.
8. Seluruh pihak yang telah terlibat serta berkontribusi dalam membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis telah berusaha menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan sebaik mungkin, akan tetapi penulis menyadari jikalau dalam penulisan laporan tersebut masih terdapat kesalahan dan kekurangan. Maka dari itu, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila terdapat kekeliruan dalam penulisan laporan Tugas Akhir serta penulis berharap jika laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri penulis pribadi maupun pembaca sekalian.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.
Mugi Tansah Pinaringan Rahayu Sagung Dumadi.

Yogyakarta, 01 Januari 2025

Maulana Chairil Fahmi

ABSTRAK

Tingginya angka korban jiwa yang diakibatkan oleh penyakit jantung koroner (PJK) menjadikan penyakit tersebut salah satu masalah global yang harus ditangani secara serius. Salah satu metode penanganan yang dapat dilakukan adalah dengan penggunaan *stent* jantung. Di Indonesia, penelitian mengenai *stent* jantung sudah banyak dilakukan akan tetapi masih belum ada alat peraga yang dapat digunakan sebagai alat uji pemasangan *stent* jantung. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat material yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan alat peraga pemasangan *stent* jantung dengan metode teknologi 3D *print* SLA dengan variasi perbandingan antara resin *flex* dan resin standar 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20, 90 : 10, dan 100 : 0. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui karakteristik serta nilai modulus young yang dihasilkan dari campuran kedua bahan resin *flex* dan resin standar dengan membandingkan pembuluh arteri koroner asli. Dari pengujian yang telah dilakukan, dengan campuran bahan resin *flex* dan standar 50 : 50, diperoleh nilai modulus young 0,13 Mpa yang mana nilai tersebut paling mendekati dengan nilai modulus young pembuluh arteri kororer asli dibandingkan dengan variasi campuran lainnya. Selain itu, variasi campuran tersebut juga memiliki karakteristik material yang seimbang antara sifat ulet dan getas.

Kata Kunci: SLA, arteri koroner, pembuluh darah, jantung, resin

ABSTRACT

The high number of fatalities caused by coronary artery disease (CAD) has made it one of the global health issues that must be addressed seriously. One of the treatment methods that can be applied is the application of heart stents. In Indonesia, research on heart stents has been extensively conducted, but there is still no teaching tool that can be used as a testing device for stent implantation. Therefore, this research aims to develop a material that can be used as a base for creating a teaching tool for stent implantation using SLA 3D printing technology, with varying ratios of standard resin and flex resin at 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20, 90 : 10, and 100 : 0. Tensile testing was performed to determine the characteristics and Young's modulus values produced from the mixture of standard resin and flex resin, comparing them with the values of original coronary artery vessel. From the tests conducted, 50 : 50 mixture of standard and flex resin yielded a Young's modulus value of 0,13 MPa, which is the closest to the Young's modulus value of the original coronary artery compared to other mixture variations. In addition, this mixture also exhibited balanced material characteristics between ductile and brittle properties.

Keywords: *SLA, coronary artery, blood vessel, heart, resin*

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji iii
Pernyataan Keaslian iv
Halaman Persembahan v
Halaman Motto vi
Kata Pengantar vii
Abstrak ix
Abstract x
Daftar Isi xi
Daftar Gambar xiii
Daftar Tabel xv
Daftar Notasi xvi
Bab 1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
Bab 2 Tinjauan Pustaka 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 9
2.2.1 Arteri Koroner 9
2.2.2 3D *Print* 10
2.2.3 CAD 11
2.2.4 Pengujian Mekanik 12
2.2.5 *Universal Testing Machine* 12
2.2.6 Standar ASTM 13
2.2.7 *Fracture* pada Material Polimer 14

2.2.8 Keuletan 15
Bab 3 Metode Penelitian 16
3.1 Alur Penelitian 16
3.2 Kriteria Produk 17
3.3 Peralatan dan Bahan 17
3.4 Pembuatan Desain Spesimen 19
3.5 Pencampuran Bahan Resin 20
3.5.1 Pengukuran Volume Resin 21
3.5.2 Pengadukan Campuran Bahan Resin 22
3.5.3 Penyaringan Campuran Resin 22
3.5.4 Pemindahan Campuran ke Wadah 23
3.6 Pencetakan Spesimen 24
3.7 Pengujian Spesimen 25
3.8 Prosedur Pengujian 27
3.9 Pengujian Mikroskop 28
3.10 Pengujian Massa Jenis 29
Bab 4 Hasil dan Pembahasan 32
4.1 Pengaruh Variasi Campuran Resin *Flex* dan Resin Standar terhadap Kekuatan Material 32
Bab 5 Penutup 50
5.1 Kesimpulan 50
5.2 Saran untuk Penelitian Selanjutnya 50
Daftar Pustaka 51
LAMPIRAN 55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Pembuluh Arteri Koroner pada Jantung Manusia 9
Gambar 2-2 Ukuran Pembuluh Arteri Koroner 10
Gambar 2-3 Proses 3D *Print* SLA 11
Gambar 2-4 *Universal Testing Machine* 13
Gambar 2-5 Grafik Tegangan-Regangan Jenis-Jenis Polimer 14
Gambar 2-6 (a) Patah *Brittle* (b) Patah *Ductile* 14
Gambar 2-7 (a) Grafik Jenis Patahan pada Material (b) Grafik Sifat Patahan pada Material 15
Gambar 3-1 Alur Penelitian 16
Gambar 3-2 Desain Spesimen dengan Standar ASTM D638 Tipe I 19
Gambar 3-3 Proses *Extrude* Sketsa Desain Spesimen 20
Gambar 3-4 Hasil Desain 3D Model Spesimen 20
Gambar 3-5 Gelas Ukur dan Alat Suntik Sebagai Takaran 21
Gambar 3-6 Pengadukan Campuran Resin Menggunakan *Mixer* 22
Gambar 3-7 Penyaringan Campuran Resin 23
Gambar 3-8 Penyimpanan Resin dalam Wadah Botol 23
Gambar 3-9 Mesin 3D *Print* SLA 24
Gambar 3-10 Mesin *Curing* 25
Gambar 3-11 (a) Pengukuran Spesimen (b) Pengaturan Mesin Uji (c) Pemasangan Spesimen pada *Grip* Mesin 26
Gambar 3-12 (a) Spesimen Mengalami Putus (b) Pencatatan Hasil Pengujian 26
Gambar 3-13 Diagram Alir Prosedur Pengujian 27
Gambar 3-14 Diagram Alir Pengujian Mikroskop 28
Gambar 3-15 Posisi Pengamatan Spesimen menggunakan Mikroskop 29
Gambar 3-16 Daerah Patahan Spesimen 29
Gambar 3-17 Diagram Alir Pengujian Massa Jenis 30
Gambar 4-1 Grafik Tegangan-Regangan Variasi Campuran Resin 32
Gambar 4-2 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 50 : 50 34
Gambar 4-3 Struktur Mikro Patahan Spesimen 50 : 50 35

Gambar 4-4 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 60 : 40 36
Gambar 4-5 Struktur Mikro Patahan Spesimen 60 : 40 37
Gambar 4-6 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 70 : 30 38
Gambar 4-7 Struktur Patahan Spesimen 70 : 30 39
Gambar 4-8 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 80 : 20 40
Gambar 4-9 Struktur Mikro Patahan Spesimen 80 : 20 41
Gambar 4-10 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 90 : 10 42
Gambar 4-11 Struktur Mikro Patahan Spesimen 90 : 10 43
Gambar 4-12 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 100 : 0 44
Gambar 4-13 Struktur Mikro Patahan Spesimen 100 : 0 45
Gambar 4-14 Pengukuran Dimensi Balok..... 46
Gambar 4-15 Pengukuran Massa Balok 47
Gambar 4-16 Campuran Resin Mengalami Pengerasan..... 48
Gambar 4-17 Kerusakan pada Bagian Spesimen 49

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Ringkasan Tinjauan Pustaka 8
Tabel 3-1 Peralatan 17
Tabel 3-2 Bahan 19
Tabel 3-3 Perbandingan Jumlah Volume Campuran Resin 21
Tabel 3-4 Parameter 3D *Print* 24
Tabel 4-1 Ringkasan Nilai Modulus Young Seluruh Variasi Campuran Resin ... 46

DAFTAR NOTASI

3D = *Three-Dimensional*

SLA = *Stereolithography*

STL = *Standard Triangle Language*

UV = *Ultraviolet*

BMS = *Bare Metal Stents*

DMS = *Drug-Eluting Stents*

ρ = Massa Jenis

ϵ = Modulus Young

σ = Tegangan

ε = Regangan

V = Volume

m = Massa

v = Kecepatan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit jantung koroner atau *Coronary Artery Disease* (CAD) merupakan penyakit yang terjadi ketika pembuluh arteri koroner mengalami penyumbatan akibat adanya penumpukan plak, polutan, atau bahan kimia yang terkandung di dalam makanan, minuman, atau bentuk gas yang menumpuk di dinding pembuluh darah (Erdania et al., 2022). Penyakit tersebut dapat terjadi akibat beberapa macam faktor seperti merokok, tekanan darah yang tinggi, diabetes, obesitas, pola makan serta gaya hidup yang tidak sehat, adapun faktor seperti usia, jenis kelamin, dan genetik bawaan dari keluarga juga berpengaruh (Pane et al, 2022). Menurut data yang dikeluarkan oleh (World Health Organization, 2021), penyakit jantung menjadi ancaman global nomor satu yang mana terdapat 17,9 juta jiwa yang meninggal akibat penyakit kardiovaskular dan jumlah tersebut akan terus meningkat setiap tahunnya. Di Indonesia, jika mengacu pada data Riskesdas tahun 2018, bahwa terdapat 15 dari 1000 orang menderita penyakit kardiovaskular, atau jika dijumlahkan penderita penyakit kardiovaskular mencapai 4,2 juta orang. (Widyawati, 2021).

Terdapat beberapa metode penanganan yang dapat dilakukan terhadap penderita penyakit jantung koroner, yaitu dengan metode pemasangan *stent* atau dilakukan operasi *bypass* pada jantung. Pemasangan *stent* jantung cenderung lebih menjadi prioritas pilihan sebagai metode penanganan terhadap jenis penyakit tersebut dengan pertimbangan biaya operasional yang relatif murah daripada operasi *bypass*. *Stent* merupakan perangkat medis yang dapat menopang sistem kerja jantung yang mengalami penyumbatan, yang mana segala perlengkapan perangkat tersebut masih bergantung pada impor produk luar negeri (Mahardika et al., 2019).

Dalam pembuatan model ekspansi *stent* jantung, terdapat beberapa strategi yang dapat digunakan salah satunya dengan mengganti balon menjadi bidang silinder pada saat dilakukan proses simulasi (Shen et al., 2017). Simulasi juga

dilakukan dengan memberikan tekanan hanya pada model *stent* serta mengabaikan pengaruh kontak dengan plak dan pembuluh darah (Chua et al., 2002). Semua strategi yang ada akan dapat melengkapi satu sama lainnya, selain bertujuan memahami respon mekanis dari tahapan desain *stent*, penting juga memiliki pemahaman terhadap stress yang dialami pembuluh arteri akibat adanya perangkat *stent* tersebut (Gervaso et al., 2008). Strategi ekspansi dengan mengganti model *stent* menjadi bidang silinder memiliki kelebihan dalam menghemat waktu serta biaya yang dibutuhkan untuk proses simulasi.

Akan tetapi disamping kelebihan yang ada, proses simulasi dengan strategi mengganti model *stent* menjadi bidang silinder juga memiliki kekurangan yaitu tidak memberikan gambaran nyata proses kerja *stent* pada pembuluh arteri koroner, yang mana hal tersebut akan mengakibatkan tidak adanya pemahaman mengenai dampak penggunaan *stent* terhadap pembuluh arteri koroner. Penelitian mengenai pemodelan serta pembuatan *stent* jantung sudah banyak dilakukan di Indonesia, akan tetapi masih belum terdapat penelitian mengenai pembuatan alat peraga yang dapat digunakan untuk mengetahui dampak yang akan terjadi akibat pemasangan *stent* pada pembuluh arteri koroner asli. Maka dari itu, dibutuhkan pembuatan sebuah alat peraga pembuluh arteri koroner untuk mengetahui dampak dari pengaplikasian *stent* jantung pada pembuluh tersebut.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pembuatan alat peraga pembuluh arteri koroner, salah satunya yaitu dengan menggunakan teknologi 3D *print*. Dengan teknologi teresbut, alat peraga pembuluh darah dapat dibuat dengan mudah, cepat, dan rinci. Teknologi 3D *print* menjadi salah satu tren teknologi informasi dan komunikasi saat ini dikarenakan dapat mencetak, membuat model dan alat peraga untuk pendidikan, membuat model perhiasan, desain produk, dan memenuhi berbagai kebutuhan cetak dalam bentuk tiga dimensi (Putra & Sari, 2018).

Penelitian yang dilakukan menggunakan 3D *print* berjenis SLA dengan bahan campuran resin jenis standar dan resin jenis *flex* (lentur) serta berfokus pada pembuatan dan pengujian spesimen material dengan beberapa variasi jumlah campuran bahan resin. Referensi kekuatan modulus young dari hasil variasi campuran bahan antara resin berjenis *flex* dengan resin berjenis standar harus

mendekati dengan pembuluh arteri koroner yang asli. Spesimen tersebut nantinya akan dilakukan pengujian tarik (*tensile test*) dengan standar pengujian ASTM D638 dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari setiap variasi campuran bahan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik campuran antara resin jenis *flex* dengan resin jenis standar pada mesin 3D *print* berjenis SLA?
2. Bagaimana perbandingan nilai modulus young antara campuran resin jenis *flex* dan resin jenis standar yang paling mendekati pembuluh arteri koroner asli?

1.3 Batasan Masalah

1. Mesin 3D print menggunakan Anycubic Photon Mono X berjenis SLA.
2. Resin standar yang digunakan pada proses 3D print adalah eSUN Standar.
3. Resin lentur yang digunakan pada proses 3D print adalah Monocure Flex 100.
4. Pengujian spesimen menggunakan standar pengujian tarik ASTM D638 Tipe I.
5. Alat uji spesimen menggunakan *Universal Testing Machine*.
6. Kecepatan alat uji tarik konstan sebesar 10 mm/s.
7. Total jumlah volume campuran resin sebesar 170 ml.
8. Jumlah volume campuran antara resin *flex* dengan resin standar menggunakan variasi perbandingan 50 : 50, 60 : 40, 70 : 30, 80 : 20, 90 : 10, dan 100 : 0.
9. Kekuatan material yang dicari adalah nilai modulus young.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik campuran antara resin jenis *flex* dengan resin jenis standar pada mesin 3D *print* berjenis SLA.

2. Mengetahui perbandingan nilai modulus young antara campuran resin jenis *flex* dan resin jenis standar yang paling mendekati pembuluh arteri koroner asli.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini diharapkan dapat membantu tenaga medis dalam proses pembuatan model pembuluh arteri koroner agar dapat menentukan metode penanganan yang tepat terhadap kasus pasien yang berkaitan dengan penyakit jantung koroner.
2. Penelitian ini dapat menjadi referensi penggunaan material dalam pembuatan model pembuluh arteri koroner dengan campuran resin standar dan resin *flex* agar memiliki kekuatan seperti pembuluh arteri koroner yang asli.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN: berisikian latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA: menjelaskan mengenai kajian pustaka serta dasar teori yang digunakan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN: menjelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian serta metode penelitian yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN: menjelaskan mengenai hasil dan pembahasan berdasarkan penelitian serta perancangan yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP: berisikan kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Stent jantung merupakan perangkat medis vaskular yang berfungsi untuk membuka serta mempertahankan pembuluh arteri koroner yang mengalami penyempitan akibat penyakit tertentu. Sejarah pengembangan *stent* jantung pada dunia medis diawali dengan penemuan metode *angioplasty* balon dalam penanganan penyakit pembuluh arteri pada tahun 1977, prinsip kerja metode tersebut menggunakan balon yang dikempiskan dan akan dikelurakan bersama dengan kateter (Barton et al., 2014). Akan tetapi metode tersebut memiliki resiko terjadinya *restenosis*, yang berarti pembuluh arteri koroner akan kembali mengalami penyempitan bahkan dapat mengakibatkan *collapse*. Maka dari itu untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada tahun 1986 diciptakanlah *stent* jantung berbasis logam pertama yang disebut *Bare Metal Stents* (BMS).

BMS mampu meminimalisir terjadinya *collapse* pada pembuluh arteri koroner, akan tetapi masih kurang mampu mencegah terjadinya *restenosis*. Biasanya dalam kurun waktu enam bulan pembuluh arteri koroner akan mengalami penyempitan kembali. Maka dari itu, *stent* kembali dikembangkan dengan melapisi *stent* menggunakan obat yang mampu menghambat terjadinya *restenosis*. Jenis *stent* tersebut adalah *Drug-Eluting Stents* (DMS) yang dapat mengurangi tingkat terjadinya *restenosis* sampai dibawah 10%. Akan tetapi jenis *stent* tersebut memiliki resiko lain yang mengakibatkan terjadinya pembekuan darah setelah satu tahun atau lebih sejak waktu pemasangan *stent*. Menurut penelitian yang dilakukan (Schmidt et al., 2018) menunjukkan bahwa DES memiliki kinerja yang lebih unggul jika dibandingkan dengan BMS, akan tetapi DES menunjukkan ketidakcocokan dalam beberapa kasus yang memiliki kompleksitas tinggi.

Penelitian dan pengembangan *stent* jantung di Indonesia sudah banyak dilakukan. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Suryawan & Suyitno pada tahun 2016 yang membahas mengenai pemodelan ekspansi *stent* jantung dengan balon *hyper* elastis, kemudian dilanjutkan dengan penelitian pada

tahun 2017 mengenai pembuatan desain, model, dan *prototype stent* jantung menggunakan *electrical discharge machine*. Akan tetapi selama proses penelitian mengenai *stent* jantung yang telah dilakukan, masih belum ada pembahasan maupun simulasi yang dilakukan secara langsung mengenai dampak akibat dari penggunaan *stent* yang akan terjadi terhadap pembuluh arteri koroner. Padahal dampak yang diterima pembuluh arteri koroner tersebut dapat berujung sangat fatal apabila tidak dilakukan penelitian yang lebih mendalam. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah alat peraga yang dapat berfungsi sebagai sarana pengujian *stent*. Untuk mendapatkan hasil pengujian yang optimal, alat peraga juga harus memiliki sifat serta kekuatan seperti pembuluh arteri koroner yang asli.

Seiring dengan berkembangnya zaman, kebutuhan manusia pun semakin meningkat, hal tersebut menjadi dasar terciptanya kemajuan teknologi yang dapat memenuhi berbagai aspek di kehidupan manusia. Salah satu teknologi yang mengalami kemajuan adalah 3D *print* yang memungkinkan manusia dapat mencetak objek dengan bentuk maupun geometri yang kompleks. Teknologi 3D *print* pada dunia medis dapat digunakan dalam pembuatan perangkat medis yang dapat menyesuaikan anatomi serta data kebutuhan pasien. Perkembangan teknologi 3D *print* juga telah sampai pada tahapan yang memungkinkan untuk mencetak organ dan jaringan mahluk hidup yang dapat ditransplantasi (Jeong et al., 2024). Maka dari itu, bagian kajian pustaka akan berisikan gambaran mengenai karakteristik sifat hasil cetak bahan resin 3D *print* jika dibandingkan dengan pembuluh arteri koroner manusia yang asli.

Salah satu dari jenis teknologi 3D *print* adalah SLA (*stereolithography*) yang memungkinkan pengguna mencetak berbagai jenis model sesuai kebutuhan menggunakan material yang terbuat dari bahan resin cair. Pada proses pencetakannya dapat dilakukan pencampuran berbagai jenis bahan resin agar dapat mencapai spesifikasi serta sifat material produk tertentu. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Morita et al., 2023), pencetakan pembuluh arteri dapat dilakukan menggunakan bahan material resin berjenis *flex* yang transparan, penggunaan material tersebut dikarenakan memiliki sifat fleksibel yang memudahkan untuk dilakukan simulasi IR serta memenuhi standar kelayakan dalam pembuatan model vaskular pasien terkait. Adapun menurut penelitian yang dilakukan (Dyaksa et al.,

2024), pencampuran antara bahan material resin berjenis fleksibel dengan resin berjenis standar memungkinkan untuk dilakukan, pencampuran tersebut dimaksudkan untuk membuat alternatif objek yang kompleks tetapi masih memiliki sifat elastomer.

Penelitian terhadap pembuluh arteri koroner manusia pernah dilakukan Karimi et al., pada tahun 2013. Penelitian tersebut membahas mengenai pengujian *uniaxial* yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari pembuluh arteri koroner. Hasil penelitian tersebut menujukkan bahwa pada manusia dengan pembuluh arteri koroner yang sehat memiliki sifat mekanis material pembuluh arteri koroner, yaitu tegangan maksimum yang dapat diterima sebesar 0,51 Mpa, serta modulus young maksimum sebesar 0,81 Mpa. Untuk ringkasan dari keseluruhan tinjauan pustaka dapat dilihat pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Ringkasan Tinjauan Pustaka

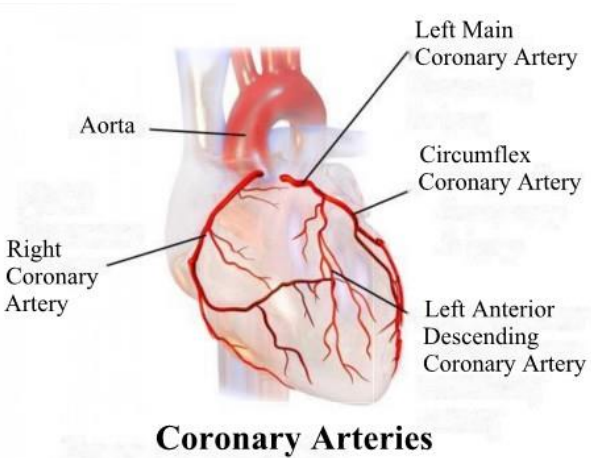
Tahun	Judul	Penulis
2013	*Measurement of the Uniaxial Mechanical Properties of Healthy and Atherosclerotic Human Coronary Arteries*	Alireza Karimi, Mahdi Navidbakhsh, Ahmad Shojaei, Shahab Faghihi
2014	*Balloon Angioplasty – The Legacy of* Andreas Grüntzig, M.D. (1939–1985)	Matthias Barton, Johannes Grüntzig, Marc Husmann, Josef Rösch
2016	Pemodelan Ekspansi S*tent* Jantung dengan Balon *Hyper*-Elastis	Donny Suryawan dan Suyitno
2017	Desain, Pemodelan, dan Pembuatan *Prototype Stent* Jantung menggunakan *Electrical Discharge Machine* (EDM)	Donny Suryawan dan Suyitno
2018	*Direct Comparison of Coronary Bare Metal vs. Drug-Eluting Stents: Same Platform, Different Mechanics?*	Wolfram Schmidt, Peter Lanzer, Peter Behrens, Christoph Brandt-Wunderlich, Alper Öner, Hüseyin Ince, Klaus-Peter Schmitz, Niels Grabow
2023	*Mechanical Properties of a 3 Dimensional–Printed Transparent Flexible Resin Used for Vascular Model Simulation Compared with Those of Porcine Arteries*	Ryo Morita, Takayuki Nonoyama, Daisuke Abo, Takeshi Soyama, Noriyuki Fujima, Tetsuaki Imai, Hiroyuki Hamaguchi, Takuto Kameda, Osamu Sugita, Bunya Takahashi, Naoya Kinota, Kohsuke Kudo
2024	Investigasi Eksperimental Karakteristik Kekuatan Tarik Resin Fleksibel Untuk Aplikasi 3D *Printing*	Gilang Argya Dyaksa, Achilleus Hermawan Astyanto, Felix Krisna Aji Nugraha, Oktavianus Nekson Hermawan, Mahendra Pratama Putra
2024	*Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview*	Min Jeong, Kyle Radomski, Diana Lopez, Jack T. Liu, Jason D. Lee, Sang J. Lee

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Arteri Koroner

Arteri koroner merupakan salah satu jenis pembuluh darah yang terdapat pada jantung manusia yang berperan sebagai saluran darah yang berasal dari jantung menuju ke seluruh tubuh manusia. Arteri koroner memiliki beberapa sifat yang membedakan pembuluh darah tersebut dari pembuluh darah lainnya, yaitu terletak agak kedalam, memiliki dinding yang tebal, kuat, dan juga elastis, darah yang dialirkan berasal dari jantung, denyut terasa, memiliki hanya satu katup yang terletak disatu tempat dekat dengan jantung, serta jika terluka maka darah akan memancar keluar (Noor, 2020).

Pembuluh arteri koroner memiliki jenis serta ukuran yang berbeda untuk setiap jenisnya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2-1 yang menunjukkan nama dan letak bagian pembuluh arteri koroner pada jantung.



Gambar 2-1 Pembuluh Arteri Koroner pada Jantung Manusia

Sumber: (Badalu & Kusman, 2023)

Dikarenakan pembuluh arteri terbagi menjadi beberapa jenis, pembuluh darah tersebut juga memiliki rentang ukuran yang berbeda. Gambar 2-2 menunjukkan rentang ukuran dari pembuluh arteri koroner.

B	LARGE ARTERIES	MEDIUM ARTERIES	SMALL ARTERIES
Diameter (mm)	> 10	6 - 10	1 – 6
Wall Thickness (μm)	1500	1000	125 – 800
Total Length (mm)	400	8000	160000
Pressure (mmHg)*	100	100	90 – 95

Gambar 2-2 Ukuran Pembuluh Arteri Koroner

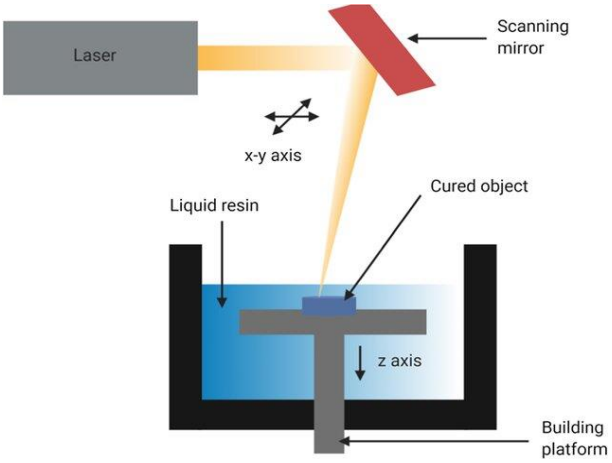
Sumber: (Camasão & Mantovani, 2021)

2.2.2 3D *Print*

3D *print* atau bisa disebut dengan *additive manufacturing* merupakan teknologi untuk mencetak file model yang bersifat digital menjadi objek solid tiga dimensi yang memiliki panjang, lebar, dan tinggi. Segala jenis proses yang terjadi pada 3D *print* berada dibawah kendali pemrograman komputer.

Teknologi 3D *print* dapat memproduksi serta merekonstruksi suatu produk yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi secara mendetail dan biaya yang murah serta juga sesuai dengan kebutuhan serta permintaan dari calon pengguna produk tersebut. Oleh karena itu, teknologi ini dapat diaplikasikan di berbagai industri bidang manufaktur, khusunya pada bidang medis seperti pembuatan alat medis, kedokteran gigi, rekayasa organ dan jaringan, model anatomi, *biological engineering*, *medical implant*, dsb (Sukiman et al., 2021).

Salah satu jenis dari 3D *print* tersebut adalah *stereolithography* (SLA). Proses pencetakan SLA menggunakan resin jenis cair *photopolymer liquid resin* yang sudah terisi ke dalam wadah khusus serta sinar UV yang berperan dalam pemadatan dan pengerasan resin. Proses pencetakan pada jenis SLA menggunakan metode fotokimia, yang mana pada saat benda kerja turun, lapisan demi lapisan resin akan terkena sinar UV sehingga campuran kimia resin akan saling terikat membentuk polimer hingga terbentuk objek 3D yang solid (Rafi & Muflikhun, 2023). Gambar 2-3 menunjukkan proses kerja dari mesin 3D *print* berjenis SLA.



Gambar 2-3 Proses 3D *Print* SLA

Sumber: (Vaz & Kumar, 2021)

2.2.3 CAD

CAD atau *Computer Aided Design* merupakan perangkat lunak komputer yang bermanfaat untuk proses mendesain gambar suatu produk berupa dua dan tiga dimensi, serta juga dapat dilihat melalui berbagai jenis proyeksi gambar, yang mana ruang lingkup penggunaannya terdapat pada berbagai macam bidang seperti teknik, arsitektur, mekanik, konstruksi, dsb (Rizki & Izzati, 2017). Implementasi dari pemanfaatan CAD juga berkembang pada bidang medis seperti radiologi, ortopedi, kedokteran gigi, dll dikarenakan fitur dari CAD yang memungkinkan hasil *scan* dari pencitraan medis dikonversi menjadi format 3D sehingga dapat dilakukan analisa dan penelitian yang lebih mendetail terhadap kasus medis terkait (Sekulić et al., 2017).

STL merupakan format pertama yang dikomersilkan dalam *Additive Manufacture* (AM) yang diciptakan pada tahun 1987 oleh 3D system (Jacobs, 1995). *StereoLithography* atau biasa disingkat menjadi STL, juga memiliki penyebutan lain yaitu *Standar Tessellation Language* dan *Standard Triangle Language* berfungsi sebagai penyimpanan deskripsi data sebuah model 3D dan telah menjadi data input standar untuk segala jenis *rapid prototyping systems* (Szilvási-Nagy & Mátyási, 2003). File dengan format STL memiliki format *binary* dan ASCII serta output yang dihasilkan berupa model tiga dimensi dengan tampilan permukaan *mesh* yang berbentuk segitiga tanpa terkandung representasi

warna, tekstur, serta atribut umum lainnya dari sebuah model 3D CAD (Cătălin Iancu et al., 2010).

2.2.4 Pengujian Mekanik

Pengujian mekanik merupakan jenis pengujian yang dilakukan untuk mengamati pengaruh dan respon suatu material apabila diberikan pembebanan dengan besaran tertentu yang mana jenis beban yang diberikan harus sesuai dengan standar pengujian material serta kondisi pembebanan yang dapat bersifat statis ataupun dinamis menurut fungsi waktunya (Gunawan & Sriyono, 2016).

Pengujian mekanik material terbagi menjadi beberapa jenis yaitu pengujian tarik (*tensile test*), pengujian kekerasan (*hardness test*), pengujian impak (*impact test*), pengujian fatik (*fatigue test*), pengujian mulur (*creep test*), pengujian puntir (*torsion test*), pengujian kekakuan (*toughness test*). Semua pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai dari sifat mekanis suatu bahan material seperti kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan luluh (*yield point*), keuletan (*ductility*), modulus elastisitas (modulus young), kekerasan (*hardness*), ketahanan mulur (*creep strength*), ketahanan aus (*wear resistance*). Pengujian-pengujian tersebut dapat dilakukan dengan keseluruhan sampel maupun dengan metode *sampling* yakni dilakukan pada beberapa sampel (Samnur & Anwar, 2022).

Pemilihan jenis pengujian yang akan dilakukan tergantung dari kebutuhan jenis material yang ingin diamati sifat mekanisnya, dikarenakan hasil dari pengujian akan merepresentasikan kondisi yang akan dialami oleh suatu material. Dari pengujian tersebut akan menghasilkan data-data berupa sifat mekanis material yang dapat menjadi acuan dalam pemilihan jenis bahan material yang tepat serta masih termasuk kedalam syarat minimal yang harus terpenuhi sesuai standar masing-masing dari jenis bahan material.

2.2.5 *Universal Testing Machine*

Universal Testing Machine (UTM) adalah sebuah alat yang berfungsi dalam melakukan pengujian terhadap suatu material demi mencapai standarisasi yang diinginkan. *Universal testing machine* dapat digunakan untuk pengujian tarik, tekan, dan *bending* yang mana dalam keseluruhan prosesnya dilengkapi oleh

monitoring system yang bersifat konstan dengan cara terintegrasi secara *real-time* dengan komputer yang nantinya dapat dijadikan sebagai acuan dalam melakukan proses pengujian berikutnya. *Universal testing machine* juga memungkinkan penggunanya untuk merekam proses penjalanan dan juga dapat menampilkan *output* data hasil pengujian berupa tampilan grafik (Risnasari et al., 2022). Bentuk dari *universal testing machine* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2-4.

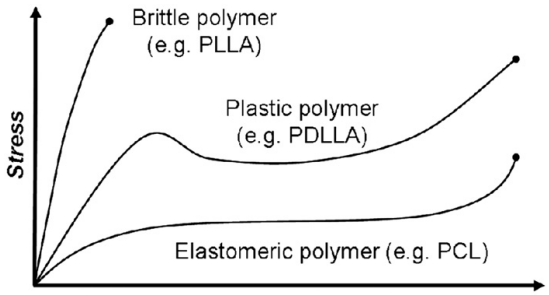
Gambar 2-4 *Universal Testing Machine*

2.2.6 Standar ASTM

American Society for Testing and Materials (ASTM) adalah organisasi standar internasional yang terdapat di Amerika yang mengeluarkan standar terhadap sistem operasional dan pengembangan di ruang lingkup teknis yang mencakup produk, perangkat instrumen, peralatan dan perlengkapan (Hanadya et al., 2017). Standar ASTM memiliki peran sebagai *controlling* terhadap kualitas, daya guna, serta keselamatan dari suatu produk ataupun jasa yang tersedia, standar ASTM seringkali dijadikan sebagai referensi oleh badan serta lembaga sertifikasi dan standarisasi sebagian besar wilayah di dunia. Organisasi ASTM juga berfokus terhadap pengembangan serta pembaharuan standar-standar yang telah dikeluarkan agar tetap relevan dengan teknologi dan kebutuhan industri yang selalu berkembang di setiap masanya.

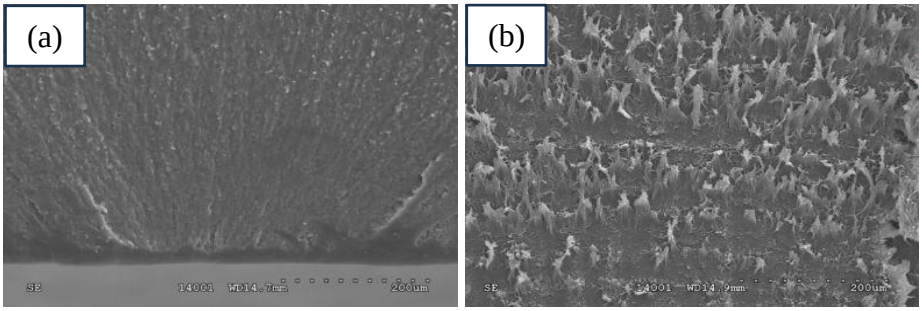
2.2.7 *Fracture* pada Material Polimer

Patahan (*fracture*) pada material berjenis polimer memiliki sifat yang berbeda dengan patahan yang terjadi pada bahan metal/logam. Material polimer dengan sifat rapuh (*brittle*) memiliki kekuatan yang lebih tinggi akan tetapi nilai fleksibilitasnya rendah dikarenakan ikatan antarmolekul penyusun material yang kuat, sementara itu polimer plastis dan elastomer memiliki kemampuan untuk menyelaraskan kembali rantai ikatannya dengan baik dibawah tekanan yang diberikan serta nilai mobilitas rantai yang lebih besar (Brown et al., 2009). Grafik tegangan-regangan polimer dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-5 Grafik Tegangan-Regangan Jenis-Jenis Polimer

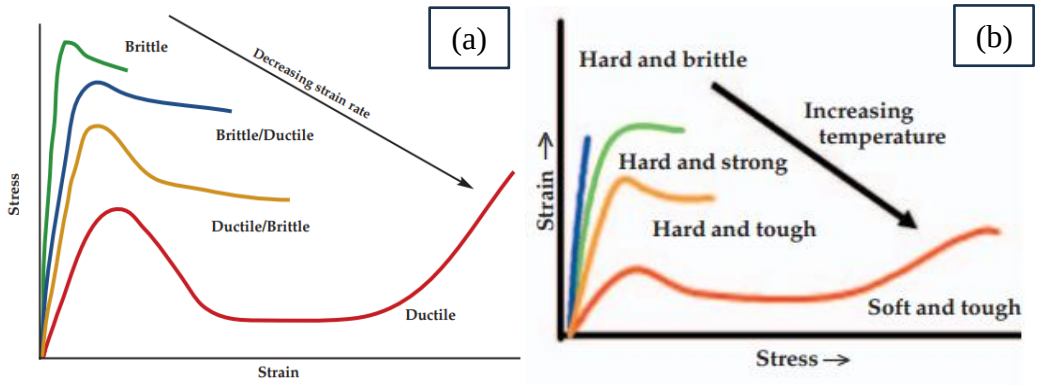
Struktur patahan antara jenis getas (*brittle*) dan ulet (*ductile*) memiliki bentuk serta karakteristik yang berbeda. Patah jenis getas memiliki struktur yang cenderung rata serta relatif halus, sementara patah jenis ulet (*ductile*) memiliki struktur yang cenderung kasar serta tidak merata. Struktur patahan yang terjadi pada material polimer berjenis *polyethylene* dapat dilihat pada Gambar 2-6.



Gambar 2-6 (a) Patah *Brittle* **(b)** Patah *Ductile*

Sumber: (Jansen, 2006a).

Struktur patahan yang terjadi pada material memiliki jenis serta sifat yang berbeda. Sifat dan karakteristik patahan material tergantung dari jenis patahan yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2-7.



Gambar 2-7 (a) Grafik Jenis Patahan pada Material **(b)** Grafik Sifat Patahan pada Material

Sumber: (Jansen, 2006b).

2.2.8 Keuletan

Keuletan merupakan kemampuan yang dimiliki suatu material untuk mengalami perubahan bentuk akibat adanya tegangan tarik (Zhu & Wu, 2018). Suatu material dapat didefinisikan sebagai material yang ulet jika mengalami putus setelah terjadinya deformasi plastis. Nilai keuletan suatu material dapat diketahui dengan menghitung besar selisih panjang sesudah serta sebelum dilakukan pengujian tarik (*tensile strength*). Perhitungan dapat dilakukan menggunakan rumus regangan seperti berikut:

$$\varepsilon = \frac{li - l0}{l0} \qquad (2.1)$$

Keterangan:

ε = Regangan (%)

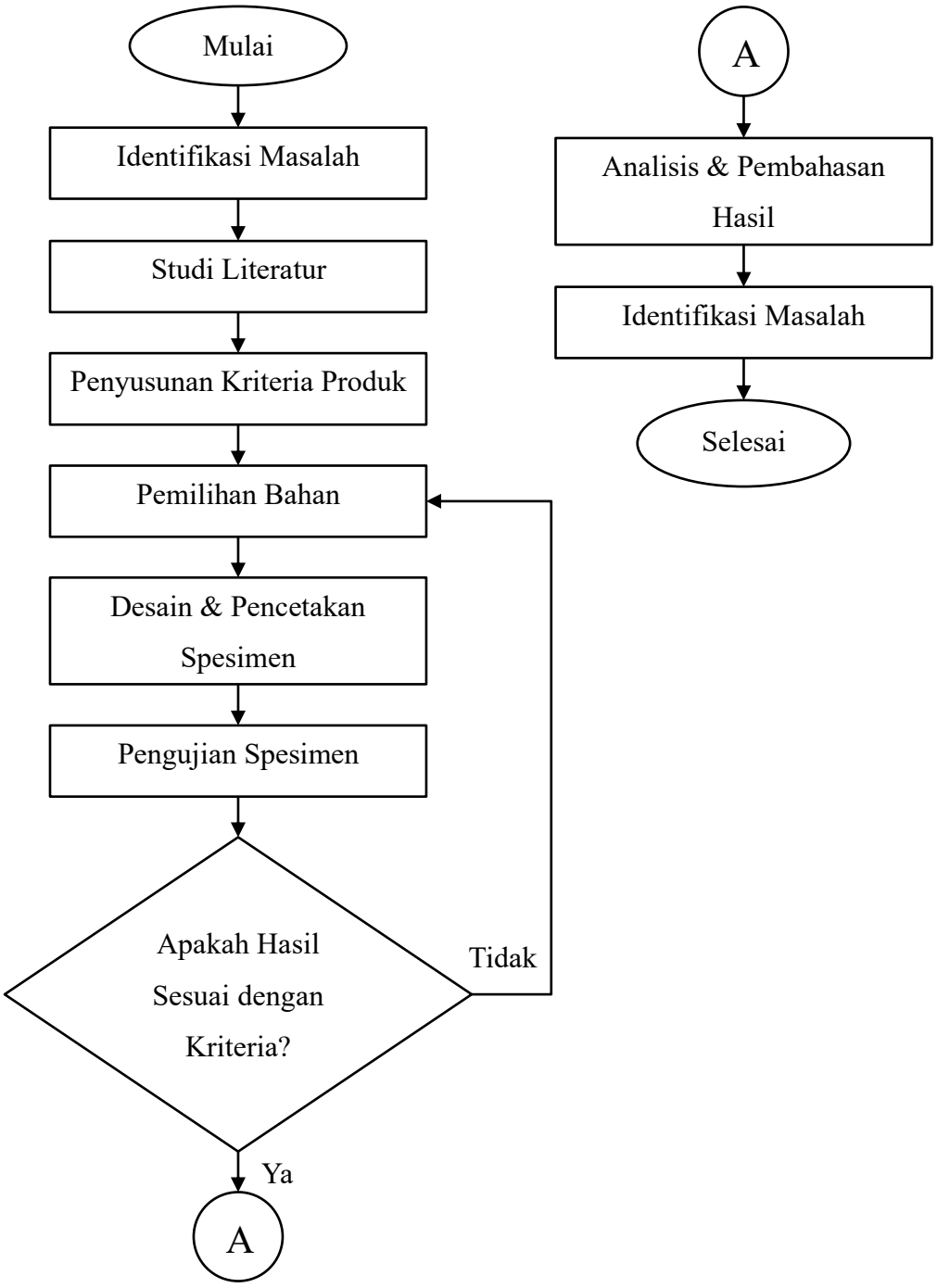
li = Panjang akhir (mm)

$l0$ = Panjang awal (mm)

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1 Alur Penelitian

3.2 Kriteria Produk

Berdasarkan pembahasan yang ada pada bab sebelumnya, maka dihasilkan kriteria produk yang ingin dicapai sebagai berikut:

1. Produk dapat dicetak menggunakan mesin 3D *print* berjenis SLA.
2. Acuan kekuatan produk berdasarkan nilai maksimum modulus young pembuluh arteri koroner sebesar 0,81 MPa.

3.3 Peralatan dan Bahan

Terdapat beberapa peralatan yang digunakan pada saat proses penelitian berlangsung, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Peralatan

No.	Peralatan	Fungsi
1	Laptop	Perangkat utama dalam keseluruhan proses desain serta pengaturan perangkat lunak
2	Solidworks 2022	Perangkat lunak untuk membuat desain dan model spesimen
3	Anycubic Photon Workshop	Perangkat lunak untuk mengatur paramter mesin 3D *print*
4	*Mixer*	Digunakan untuk mengaduk campuran resin agar tercampur merata
5	Mesin 3D *Print* SLA	Digunakan untuk mencetak model produk dan spesimen
6	Mesin *Curing* 3D *Print*	Digunakan untuk mengeringkan resin yang telah dicetak
7	*Universal Testing Machine*	Digunakan untuk melakukan pengujian tarik spesimen
8	*Flashdisk*	Digunakan untuk menyimpan file model 3D *print* yang akan dicetak

9	*Vernier Calliper*	Digunakan untuk mengukur spesimen yang sudah dicetak
10	*Tachometer*	Digunakan untuk mengukur besar kecepatan putaran *mixer*
11	Gelas Ukur 50 ml & 250 ml	Digunakan untuk mengukur kapasitas volume bahan resin
12	Alat Suntik 5 ml	Digunakan untuk mengukur kapasitas volume bahan resin
13	Gelas Plastik	Digunakan sebagai wadah selama proses pencampuran bahan resin
14	Lem Tembak	Digunakan untuk merekatkan *mixer* pada permukaan datar
15	Sekop Besi & Plastik	Digunakan untuk melepas spesimen dari benda kerja mesin 3D *print*
16	Botol Plastik	Digunakan sebagai wadah penyimpanan campuran bahan resin
17	Saringan	Digunakan untuk menyaring kotoran serta bagian resin yang mengeras
18	Corong	Digunakan sebagai alat bantu untuk menuangkan resin ke dalam wadah
19	Nampan Plastik	Digunakan sebagai wadah sementara spesimen cetak yang masih basah

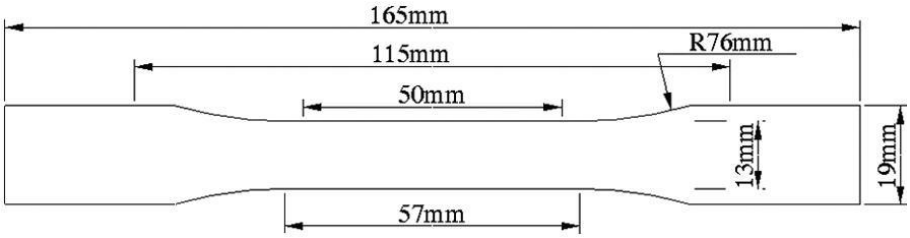
Adapun untuk bahan-bahan yang digunakan selama proses penelitian berlangsung dapat dilihat pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Bahan

No.	Bahan	Fungsi
1	File Model Spesimen dengan Standar ASTM D638	Sebagai bahan utama dalam penelitian
2	Resin Standar eSUN Clear SLA	Sebagai bahan campuran dalam pembuatan produk dan spesimen
3	Resin Lentur Monocure *Flex* 100	Sebagai bahan campuran dalam pembuatan produk dan spesimen
4	*Isopropyl Alcohol* (IPA)	Digunakan untuk membersihkan sisa resin hasil 3D *print*
5	Sarung Tangan Plastik	Digunakan untuk melindungi tangan dari terkena paparan resin

3.4 Pembuatan Desain Spesimen

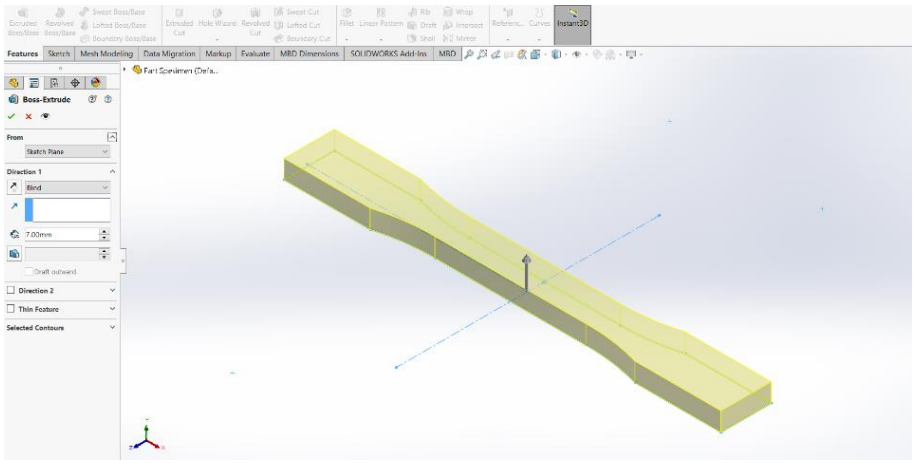
Acuan dari pembuatan desain spesimen berdasarkan dari standar pengujian yang dikeluarkan oleh ASTM yaitu ASTM D638, dikarenakan pengujian ini merupakan standar yang paling umum digunakan untuk menentukan sifat kekuatan tarik material plastik yang telah diperkuat maupun yang tidak diperkuat. Desain serta standar ukuran dari spesimen dapat dilihat pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 Desain Spesimen dengan Standar ASTM D638 Tipe I

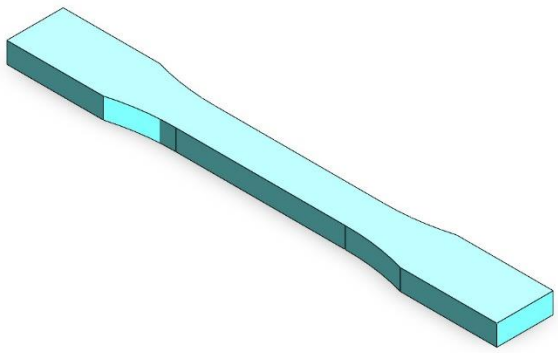
Jika sudah mengetahui acuan bentuk dan ukuran dari spesimen yang akan dicetak, maka desain spesimen dapat dibuat menggunakan perangkat lunak Solidworks. Adapun langkah pertama yang dapat dilakukan adalah membuat sketsa spesimen dengan menggunakan fitur *sketch* yang terdapat pada *menu bar* perangkat lunak Solidworks.

Setelah itu dilanjutkan dengan menggunakan fitur *extrude* yang berfungsi untuk membuat ketebalan dari sketsa desain spesimen yang telah selesai dibuat. Gambar 3-3 menunjukkan pilihan fitur *extrude* beserta besar nilai yang digunakan. Apabila ketebalan dari desain spesimen telah berhasil dibuat, maka dapat menyimpan file dengan format STL menggunakan fitur *save as* yang terdapat pada perangkat lunak Solidworks.



Gambar 3-3 Proses *Extrude* Sketsa Desain Spesimen

Kemudian untuk hasil akhir dari pembuatan desain model spesimen dengan pandangan *isometric* dapat dilihat pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 Hasil Desain 3D Model Spesimen

3.5 Pencampuran Bahan Resin

Dalam proses pencampuran antara bahan resin jenis standar dengan resin jenis *flex* terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu sebagai berikut:

3.5.1 Pengukuran Volume Resin

Proses pengukuran campuran bahan resin didasari oleh jumlah perbandingan volume resin, jumlah perbandingan kedua jenis resin tersebut memiliki total nilai volume sebesar 170 ml, yang didapatkan berdasarkan volume batas garis bawah bak resin mesin 3D *print*. Untuk nilai volume masing-masing jenis resin dapat dilihat pada Tabel 3-3.

Tabel 3-3 Perbandingan Jumlah Volume Campuran Resin

No.	Variasi Campuran Resin		Perbandingan Volume Resin	
	***Flex* (%)**	**Standar (%)**	***Flex* (ml)**	**Standar (ml)**
1	50	50	85	85
2	60	40	102	68
3	70	30	119	51
4	80	20	136	34
5	90	10	153	17
6	100	0	170	0

Jika nilai volume masing-masing jenis resin sudah diketahui, maka proses pengukuran dapat dimulai dengan memindahkan masing masing jenis resin ke gelas ukur sesuai dengan jumlah yang sudah ditentukan. Gelas ukur yang digunakan berkapasitas 50 ml dan 250 ml, adapun penggunaan alat suntik berguna untuk memindahkan jumlah resin hingga sebesar 1 ml. Gambar 3-5 menunjukkan penggunaan gelas ukur dan alat suntik dalam pengukuran jumlah resin.

Gambar 3-5 Gelas Ukur dan Alat Suntik Sebagai Takaran

3.5.2 Pengadukan Campuran Bahan Resin

Setelah dipindahkan pada gelas ukur, kemudian masing-masing dari jenis resin ditampung dalam satu wadah dan akan dilakukan pengadukan menggunakan alat *mixer*. Alat *mixer* yang digunakan memiliki spesifikasi kecepatan sebesar 1.326 rpm, serta harus diletakkan pada permukaan yang datar dan stabil. Proses pengadukan juga dilakukan dengan waktu lima menit dan dicatat menggunakan *stopwatch*. Proses pengadukan campuran kedua bahan resin dapat dilihat pada Gambar 3-6.

Gambar 3-6 Pengadukan Campuran Resin Menggunakan *Mixer*

3.5.3 Penyaringan Campuran Resin

Setelah proses pengadukan menggunakan *mixer* selesai, dilanjutkan dengan memindahkan campuran resin ke dalam wadah penampungan berupa botol. Sebelum dipindahkan, harus dipastikan jika kotoran serta sisa resin yang mengeras telah tersaring dengan bersih sehingga tidak akan menyebabkan kegagalan saat proses pencetakan spesimen berlangsung. Proses penyaringan campuran resin yang telah diaduk dapat dilihat pada Gambar 3-7.

Gambar 3-7 Penyaringan Campuran Resin

3.5.4 Pemindahan Campuran ke Wadah

Jika proses penyaringan telah selesai, maka campuran resin sudah siap untuk digunakan. Wadah yang telah berisi campuran resin harus diletakkan di tempat yang bersuhu ideal serta tidak boleh terkena paparan sinar matahari secara langsung dikarenakan akan mengakibatkan campuran resin mengeras. Penyimpanan campuran bahan resin dalam wadah dapat dilihat pada Gambar 3-8.

Gambar 3-8 Penyimpanan Resin dalam Wadah Botol

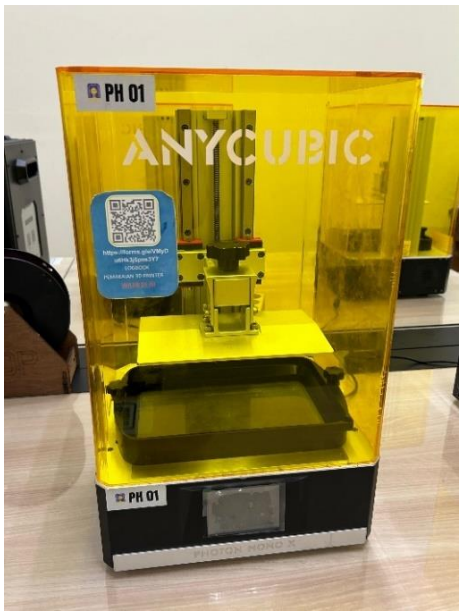
3.6 Pencetakan Spesimen

Sebelum melakukan pencetakan spesimen, pengaturan mesin 3D *print* harus menggunakan parameter pengaturan yang tepat serta sesuai dengan jenis resin, adapun parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-4. Parameter tersebut didapatkan berdasarkan *datasheet* parameter rekomendasi yang dikeluarkan oleh produsen merk resin terkait. Model dari objek juga akan berpengaruh pada hasil proses 3D *print*ing.

Tabel 3-4 Parameter 3D *Print*

Parameter	Nilai
Layer Thickness	0,05 mm
Normal Exposure Time	8 s
Off Time	2 s
Bottom Exposure Time	40 s
Bottom Layers	6

Mesin 3D *print* yang digunakan pada keseluruhan proses penelitian adalah Anycubic Photon Mono X dengan menggunakan jenis resin SLA. Gambar 3-9 menunjukkan mesin 3D *print* Anycubic Photon Mono X berjenis SLA.



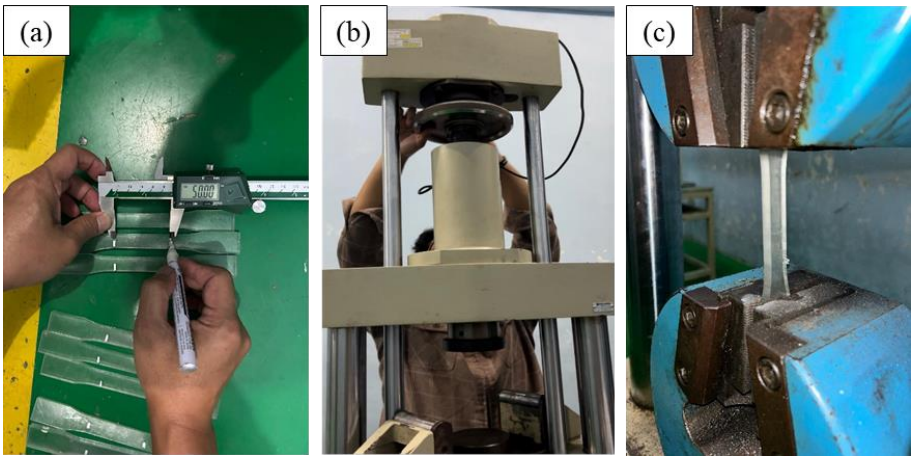
Gambar 3-9 Mesin 3D *Print* SLA

Jika proses pencetakan sudah selesai, maka produk hasil cetak dapat dipindahkan ke wadah penampungan menggunakan sekop besi, serta dapat dibersihkan menggunakan cairan alkohol. Setelah dibersihkan, makan produk hasil cetak dapat dilakukan pengeringan menggunakan mesin *curing* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-10 dengan suhu 60℃ dalam waktu 30 menit.

Gambar 3-10 Mesin *Curing*

3.7 Pengujian Spesimen

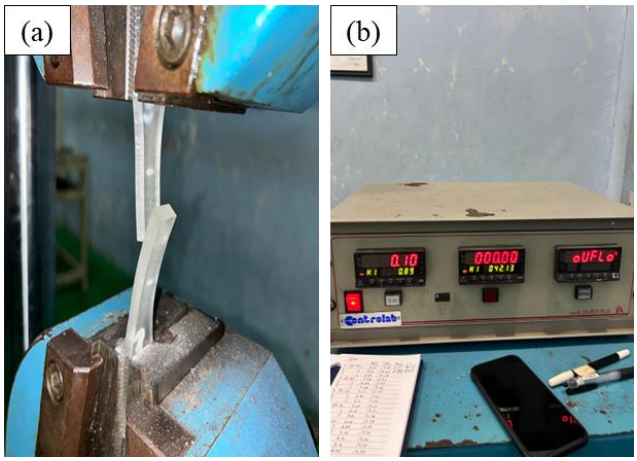
Proses pengujian spesimen diawali dengan melakukan pengukuran pada spesimen menggunakan alat ukur *vernier calliper* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-11 (a), pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui panjang serta ketebalan dari spesimen, kemudian dilanjutkan dengan membuat garis pembatas area uji spesimen dengan jarak sebesar 50 mm dari titik pusat spesimen sesuai dengan standar pengujian yang digunakan.



Gambar 3-11 (a) Pengukuran Spesimen **(b)** Pengaturan Mesin Uji **(c)** Pemasangan Spesimen pada *Grip* Mesin

Setelah proses pengukuran selesai, dapat melakukan persiapan serta pengaturan pada mesin pengujian tarik, alat uji diatur agar memiliki posisi dan tata letak sehingga spesimen yang akan diuji dapat tegak lurus dengan *grip* mesin uji, proses pengaturan mesin dilakukan secara manual seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-11 (b).

Apabila mesin uji telah diatur dan siap digunakan, dapat dilakukan pemasangan spesimen pada bagian *grip* mesin uji. Pada proses ini harus dipastikan jika spesimen telah terpasang dengan benar serta grip mesin harus dalam keadaan terkunci agar dapat meminimalisir terjadinya kesalahan saat proses pengujian tarik berlangsung. Gambar 3-11 (c) menunjukkan spesimen yang telah terpasang pada bagian *grip* mesin uji.



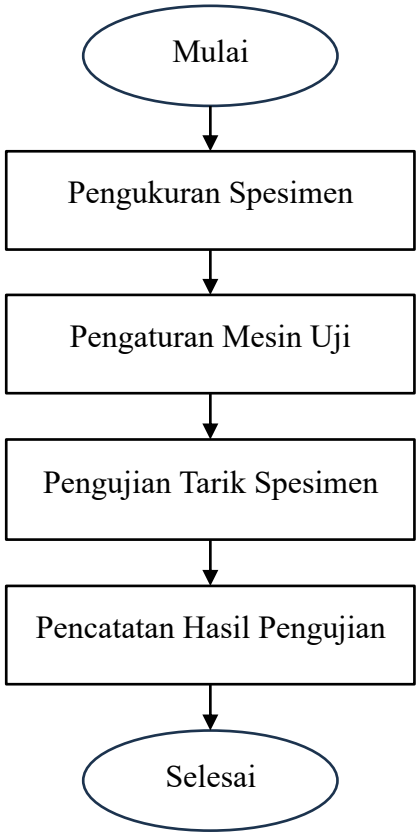
Gambar 3-12 (a) Spesimen Mengalami Putus **(b)** Pencatatan Hasil Pengujian

Jika spesimen telah terpasang dan terkunci pada *grip* mesin, maka proses pengujian tarik dapat dimulai, kecepatan tarik yang digunakan pada proses tersebut sebesar 10 mm/s. Proses pengujian tarik akan dilakukan hingga spesimen mengalami putus seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-12 (a).

Ketika spesimen telah mengalami putus, maka proses pengujian tarik dapat dihentikan, kemudian diakhiri dengan mencatat data hasil pengujian yang terdapat pada indikator mesin uji seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-12 (b).

3.8 Prosedur Pengujian

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan material dari campuran bahan resin. Pengujian tersebut dilakukan sebanyak tiga kali per variasi campuran bahan resin. Ketika pengujian selesai dilakukan, maka akan didapat nilai kekuatan seperti tegangan dan regangan yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui nilai modulus young dari campuran bahan resin. Pengujian yang dilakukan menggunakan diagram alir seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-13.



Gambar 3-13 Diagram Alir Prosedur Pengujian

Dari data hasil pengujian tarik yang sudah selesai dilakukan, dapat dilanjutkan dengan mencari nilai modulus young campuran bahan resin menggunakan rumus modulus young sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{3.1}$$

Keterangan:

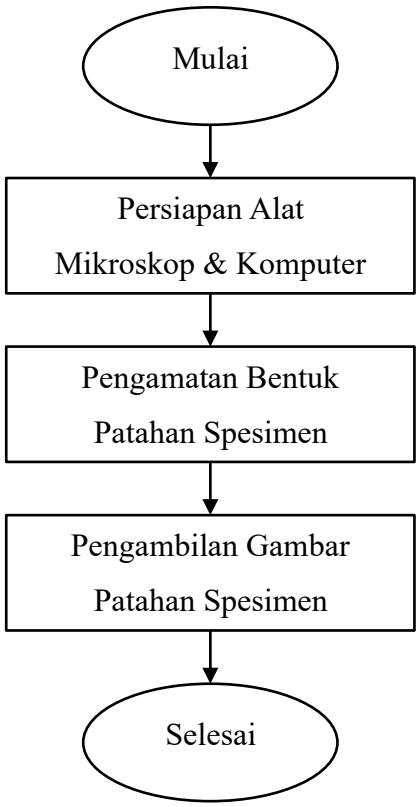
$E =$ Modulus Young (MPa)

$\sigma =$ Tegangan (MPa)

$\varepsilon =$ Regangan (%)

3.9 Pengujian Mikroskop

Pengujian mikroskop dilakukan untuk mengamati tekstur serta bentuk patahan yang terjadi pada spesimen akibat proses pengujian tarik. Pengamatan bentuk patahan tersebut akan bermanfaat dalam menganalisis sifat material yang terdapat pada variasi campuran bahan resin. Proses pengujian mikroskop menggunakan diagram alir pada Gambar 3-14.

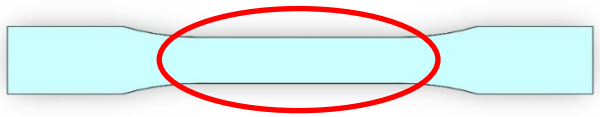


Gambar 3-14 Diagram Alir Pengujian Mikroskop

Dalam mengamati spesimen menggunakan mikroskop, terdapat beberapa posisi tata letak dari spesimen uji yang dapat digunakan. Adapun penelitan yang dilakukan menggunakan posisi tata letak spesimen seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3-15.

Gambar 3-15 Posisi Pengamatan Spesimen menggunakan Mikroskop

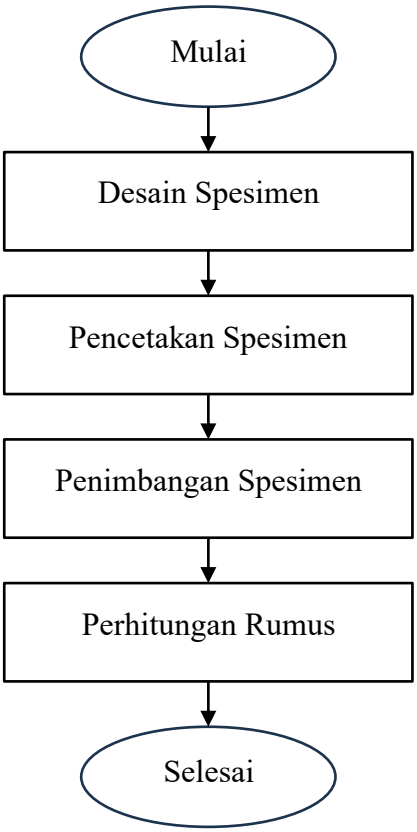
Kemudian untuk daerah spesimen yang dilakukan pengamatan untuk pertambahan panjang yang dialami sebagai hasil dari proses pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 3-16



Gambar 3-16 Daerah Patahan Spesimen

3.10 Pengujian Massa Jenis

Proses pengujian massa jenis bermanfaat dalam mengetahui besar kerapatan suatu zat ataupun benda. Adapun dalam pengujian massa jenis campuran bahan resin menggunakan diagram alir pada Gambar 3-17.



Gambar 3-17 Diagram Alir Pengujian Massa Jenis

Pada tahapan perhitungan rumus, dapat menghitung volume spesimen yang berbentuk balok dengan menggunakan rumus volume balok berikut:

$$V = p \; x \; l \; x \; t \qquad (3.2)$$

Keterangan:

V = Volume (m^3)

p = Panjang (m)

l = Lebar (m)

t = Tinggi (m)

Setelah nilai volume campuran bahan resin diketahui, dapat dilanjutkan dengan melakukan perhitungan massa jenis campuran bahan resin menggunakan rumus massa jenis berikut.

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{3.3}$$

Keterangan:

ρ = Massa Jenis (Kg/m^3)

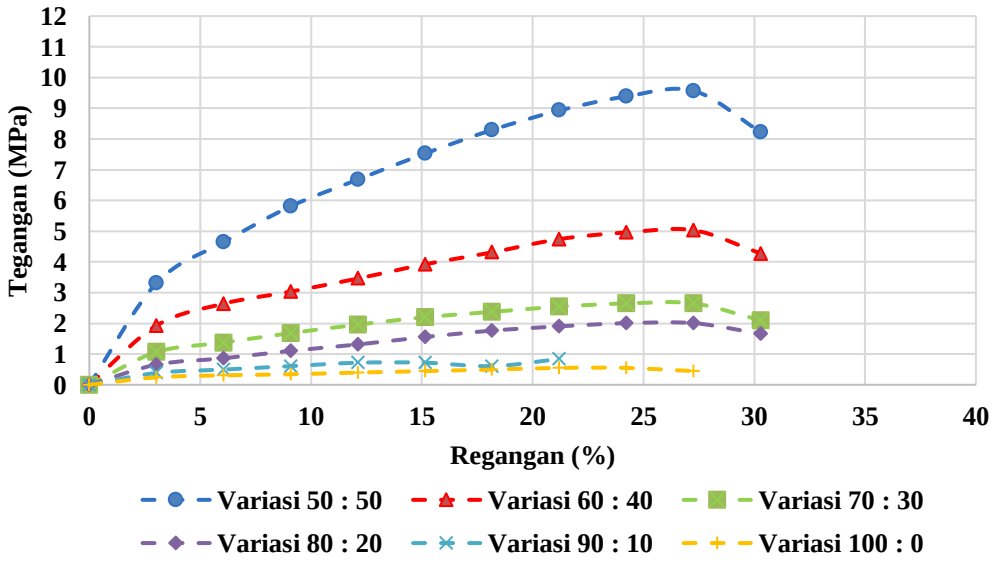
m = Massa (Kg)

v = Volume (m^3)

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi Campuran Resin *Flex* dan Resin Standar terhadap Kekuatan Material

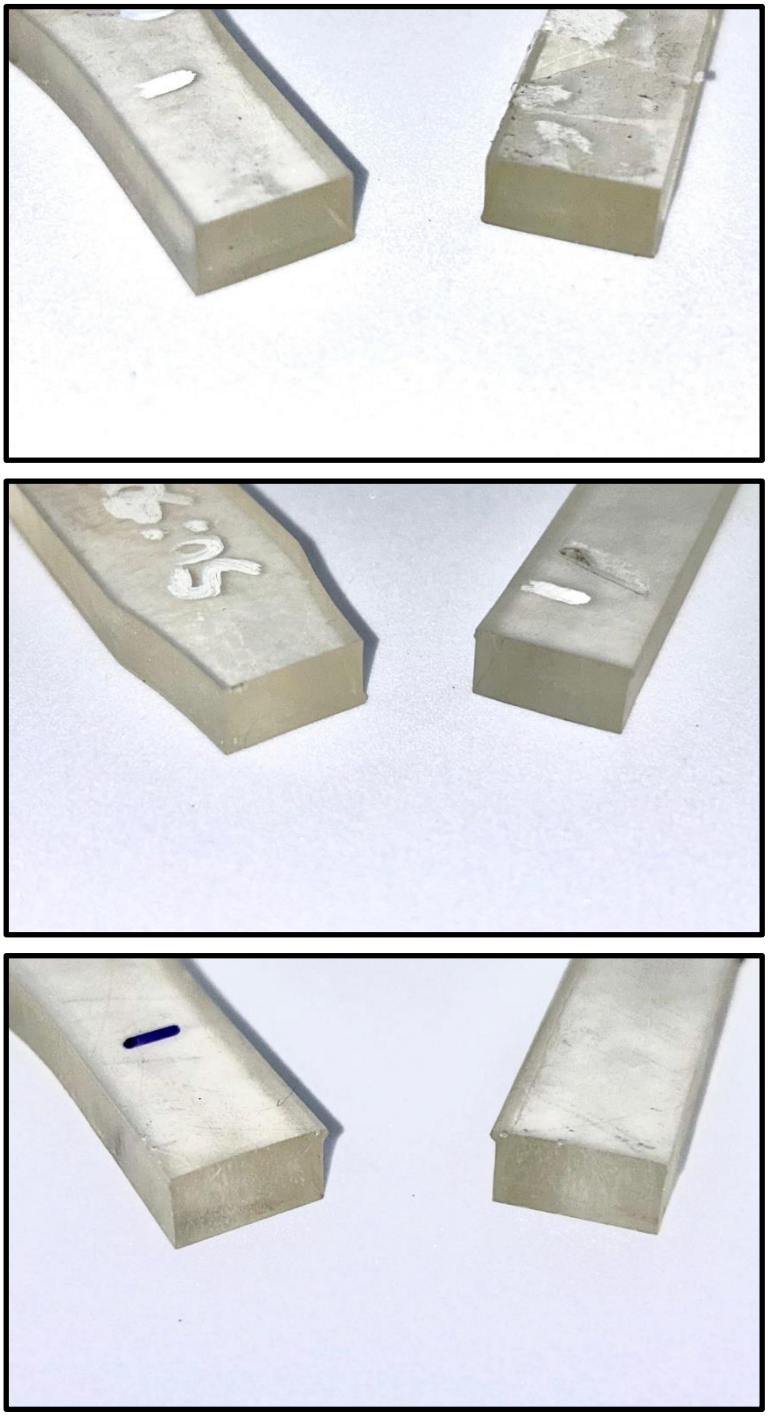
Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik spesimen dengan variasi campuran bahan resin *flex* dan resin standar berupa data nilai beban maksimal, perubahan panjang, tegangan dan regangan. Data tersebut akan ditinjau kembali kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui kekuatan dari campuran bahan resin, untuk lebih lengkapnya data hasil pengujian dapat dilihat pada bagian Lampiran. Dari data yang sudah ada kemudian dapat dibuat grafik kekuatan tegangan-regangan spesimen seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1 Grafik Tegangan-Regangan Variasi Campuran Resin

Jika mengamati Gambar 4-1, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan kekuatan material yang cukup signifikan diantara setiap variasi campuran bahan resin yang ada. Baik jumlah campuran resin *flex* maupun resin standar, akan saling berkaitan serta dapat mempengaruhi besar kekuatan dari spesimen yang ada. Untuk nilai tegangan dan regangan pada modulus young setiap variasi campuran dihitung menggunakan data pertambahan panjang spesimen hasil pengujian tarik dengan

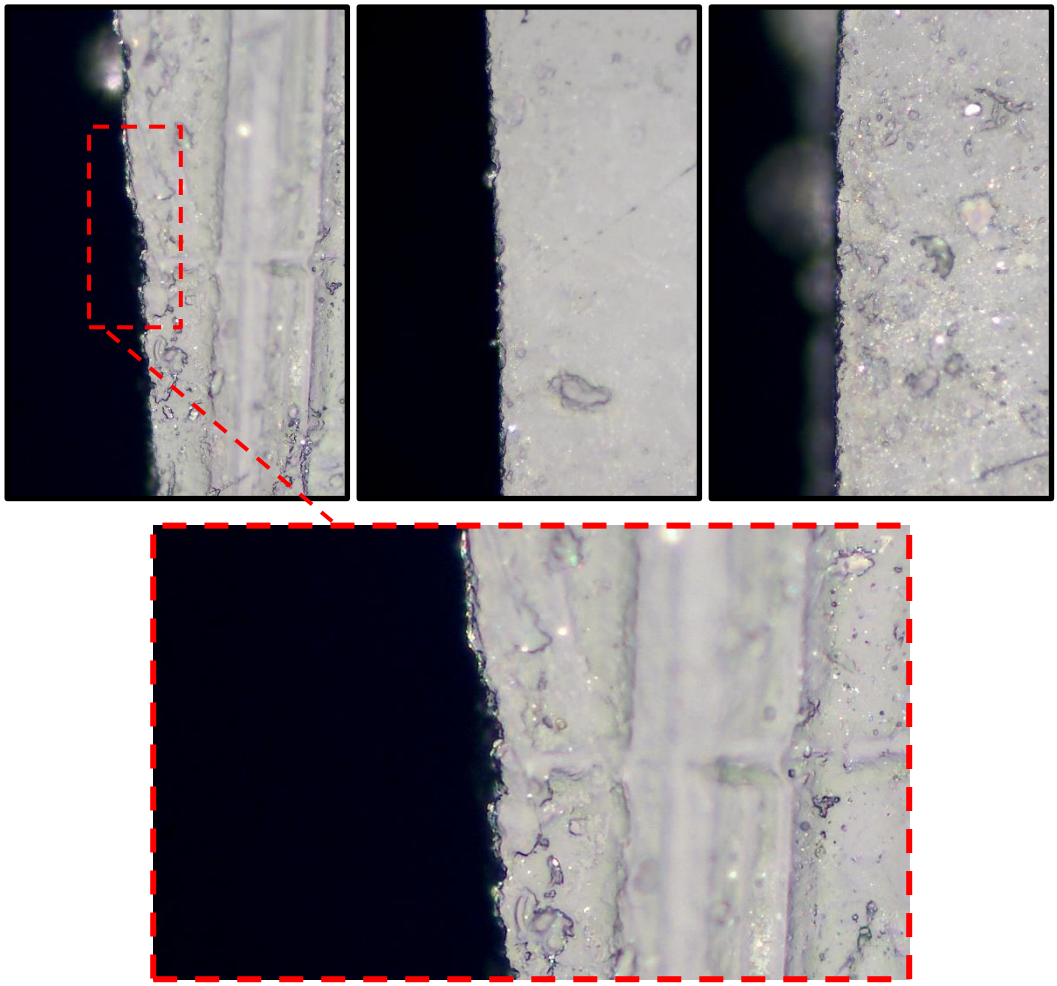
pertambahan panjang sebesar 5 mm dan 10 mm seperti yang dapat dilihat pada bagian Lampiran, kemudian dari ketiga buah spesimen uji masing-masing campuran dibuat rata-rata nilai modulus young untuk menghasilkan output data berupa grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-1. Variasi campuran resin 50 : 50 mengalami besar tegangan tertinggi yaitu sebesar 9,57 MPa sebelum akhirnya mengalami putus pada saat diberi beban sebesar 0,91 KN serta perubahan panjang sebesar 45 mm. Dengan jumlah campuran variasi yang seimbang antara kedua jenis resin, menjadikan variasi campuran resin 50 : 50 memiliki sifat yang elastis namun tetap mampu mempertahankan sifat getasnya, hal tersebut terbukti melalui data hasil pengujian tarik bahwa variasi campuran 50 : 50 standar memiliki nilai modulus young tertinggi diantara variasi lainnya, yaitu sebesar 0,13 MPa. Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 4-1, variasi 50 : 50 menghasilkan garis daerah elastis yang paling tegak diantara variasi lainnya. Hal tersebut menunjukkan jika variasi 50 : 50 termasuk material yang getas. Adapun bentuk patahan yang terjadi pada spesimen variasi 50 : 50 standar dapat dilihat pada Gambar 4-2.



Gambar 4-2 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 50 : 50

Berdasarkan Gambar 4-2, dapat dilihat jika patahan yang terjadi pada spesimen memiliki bentuk yang rata, serta tanpa disertai adanya goresan maupun bekas patahan yang kasar. Dengan karakteristik patahan yang ada, dapat menjadi indikasi bahwa spesimen mengalami patah getas. Hal tersebut diperkuat dengan

bentuk struktur mikro patahan spesimen yang diamati menggunakan mikroskop seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-3.

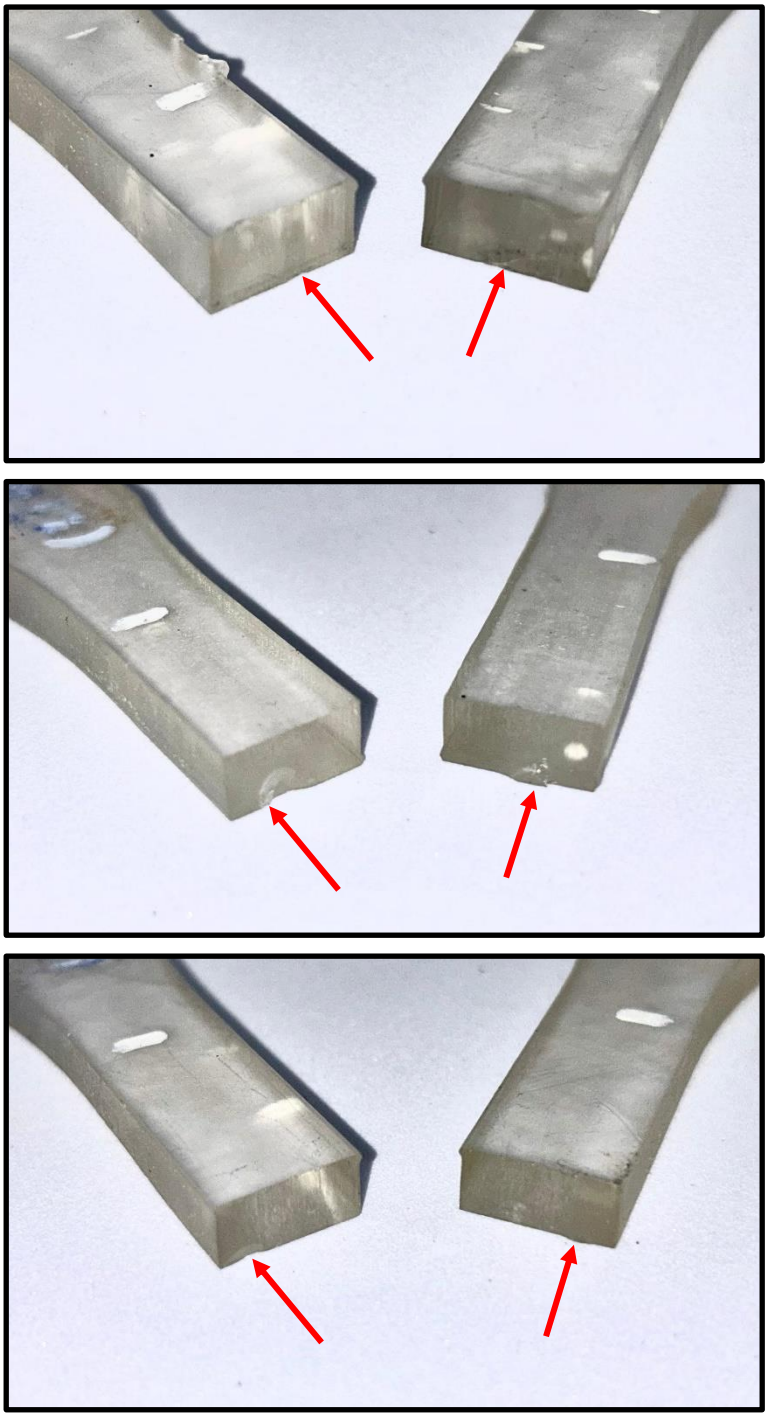


Gambar 4-3 Struktur Mikro Patahan Spesimen 50 : 50

Karakteristik bentuk struktur mikro pada bagian ujung patahan tersebut dapat terjadi pada material yang memiliki sifat getas, yaitu material bersifat rapuh akan tetapi masih mampu dalam mempertahankan bentuknya ketika diberi gaya tarik yang tinggi (tangguh).

Kemudian untuk variasi campuran resin 60 : 40, mengalami besar tegangan maksimal sebesar 5,03 MPa sebelum akhirnya mengalami putus pada saat diberi beban maksimal sebesar 0,47 KN dan perubahan panjang sebesar 45 mm. Variasi campuran resin 60 : 40 standar memiliki nilai modulus young sebesar 0,08 MPa, yang mana nilai tersebut lebih rendah daripada variasi campuran 50 : 50, akan tetapi hanya memiliki selisih perbedaan nilai yang tidak terlalu signifikan. Adapun

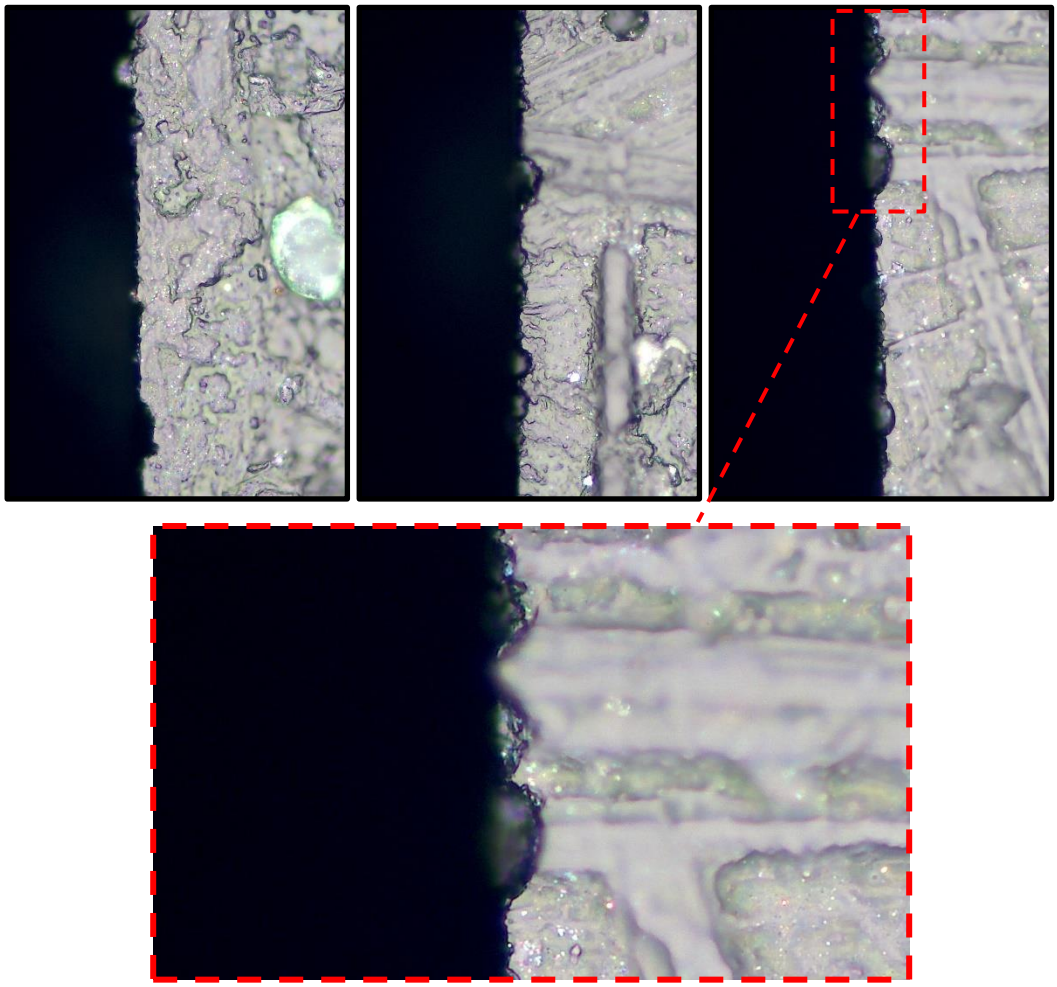
untuk bentuk patahan yang terjadi pada spesimen variasi campuran 60 : 40 dapat dilihat pada Gambar 4-4.



Gambar 4-4 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 60 : 40

Jika mengamati Gambar 4-4, pada bagian spesimen yang mengalami patah sebagian besar bekas patahan masih memiliki tekstur yang rata dan halus, akan

tetapi mulai terdapat bekas patahan yang timbul serta mencuil. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan berkurangnya jumlah campuran resin standar serta meningkatnya campuran resin *flex*. Untuk lebih lengkapnya dapat mengamati struktur mikro patahan yang terdapat pada Gambar 4-5.

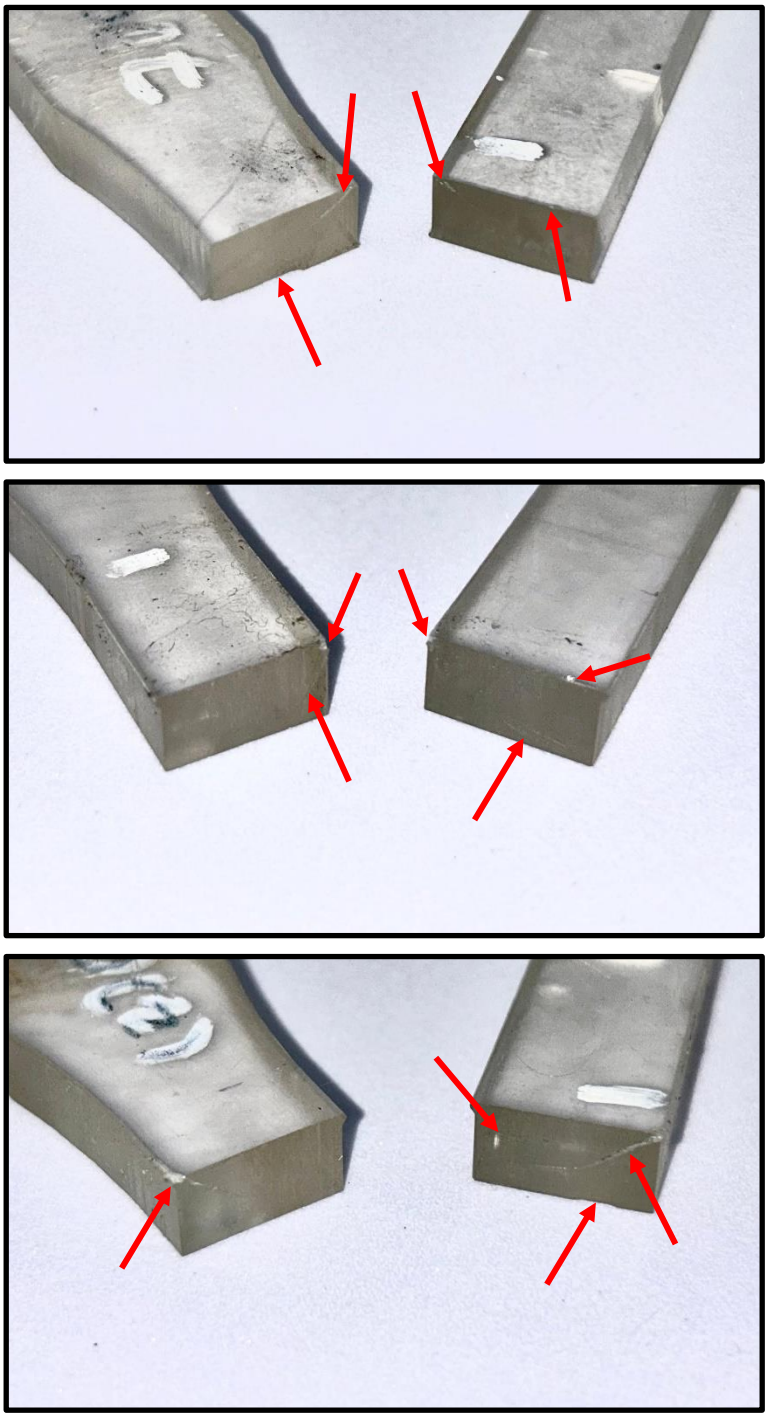


Gambar 4-5 Struktur Mikro Patahan Spesimen 60 : 40

Bagian ujung patahan spesimen tersebut menunjukkan struktur mikro yang terdapat pada variasi campuran 60 : 40 menunjukkan bahwa spesimen mulai mengalami bentuk patahan yang mengarah ke patah ulet, meskipun masih didominasi oleh bentuk patah getas, yang mana selaras dengan berkurangnya jumlah campuran resin standar, serta meningkatnya jumlah campuran resin *flex*.

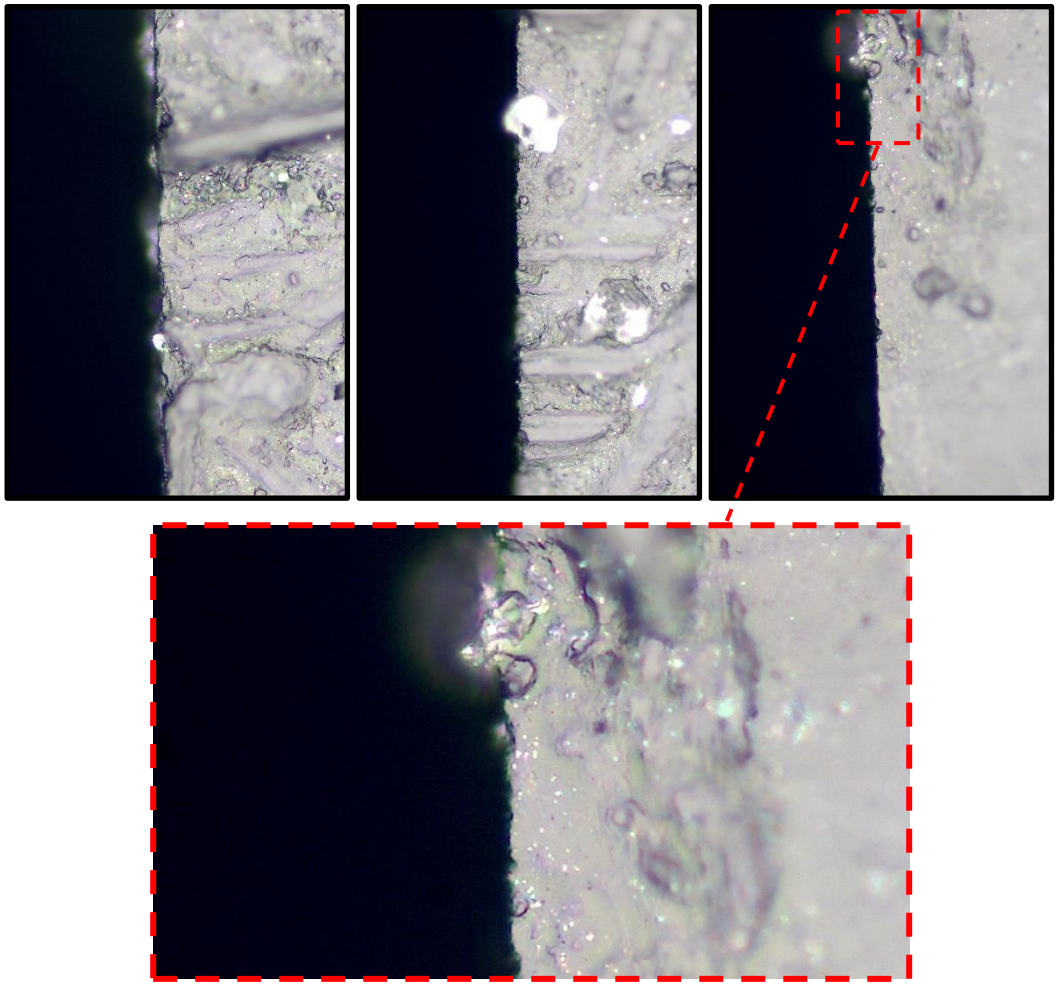
Selanjutnya pada variasi campuran 70 : 30 mengalami besar tegangan maksimal sebesar 2,65 MPa sebelum akhirnya mengalami putus pada saat diberi beban maksimal sebesar 0,26 KN dan perubahan panjang sebesar 40-45 mm.

Variasi campuran tersebut memiliki nilai modulus young sebesar 0,03 MPa, yang mana nilai tersebut tidak berbeda jauh dengan nilai yang dimiliki oleh variasi campuran 60 : 40. Untuk bentuk patahan spesimen dengan variasi campuran resin 70 : 30 yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 70 : 30

Berdasarkan Gambar 4-6, terdapat beberapa bagian patahan yang dialami spesimen memiliki tekstur timbul serta mencuil. Jumlah tekstur tersebut semakin meningkat seiring dengan berkurangnya variasi campuran resin standar serta meningkatnya variasi campuran resin *flex*. Untuk lebih jelasnya, dapat mengamati struktur mikro patahan seperti yang terdapat pada Gambar 4-7.

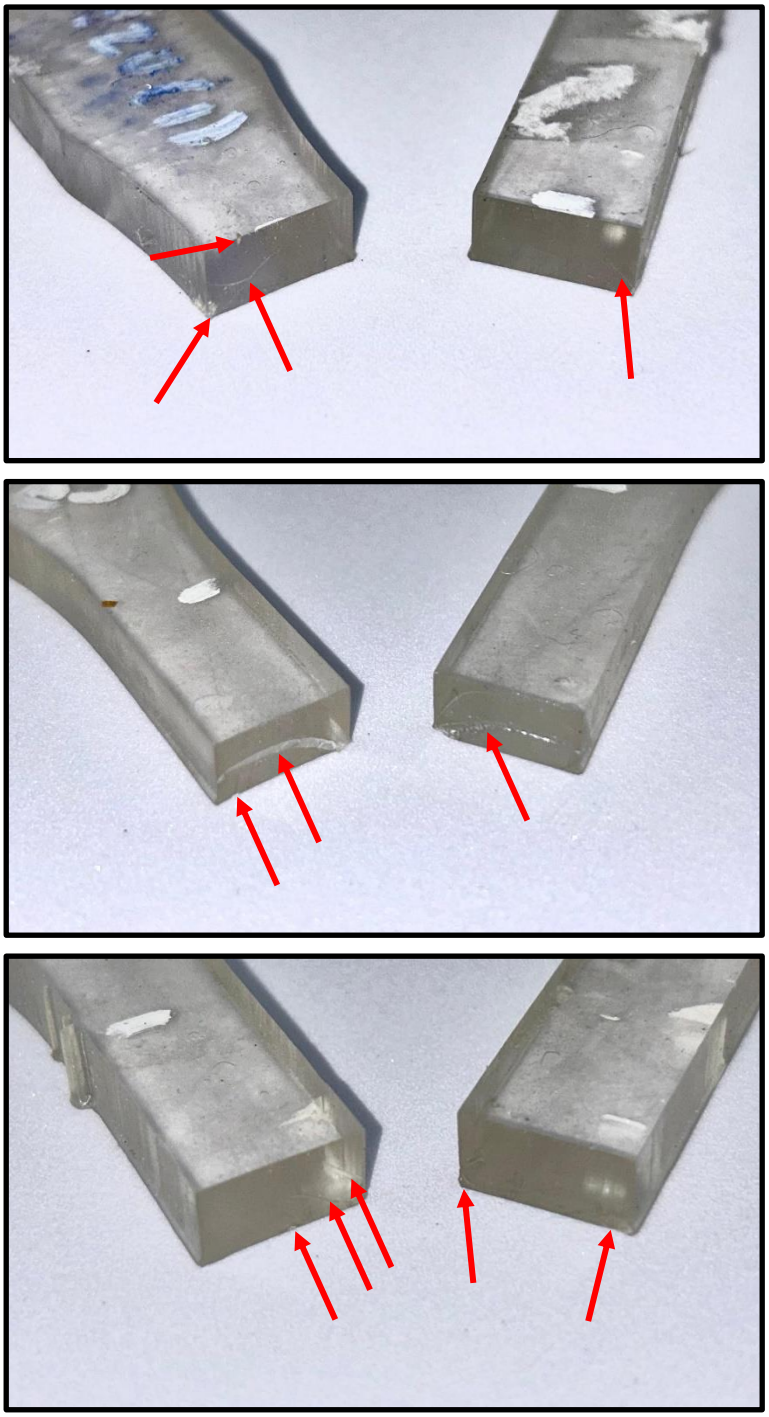


Gambar 4-7 Struktur Patahan Spesimen 70 : 30

Struktur mikro yang terdapat pada bagian ujung patahan spesimen dengan variasi 70 : 30 masih memiliki bentuk struktur yang hampir sama dengan yang dimiliki oleh variasi campuran 60 : 40, yaitu didominasi oleh struktur getas akan tetapi mulai mengarah ke bentuk ulet.

Dilanjutkan dengan variasi campuran 80 : 20 yang mengalami besar tegangan maksimal sebesar 2,01 MPa sebelum akhirnya mengalami putus pada saat diberi beban maksimal sebesar 0,19 KN dan perubahan panjang sebesar 40-45

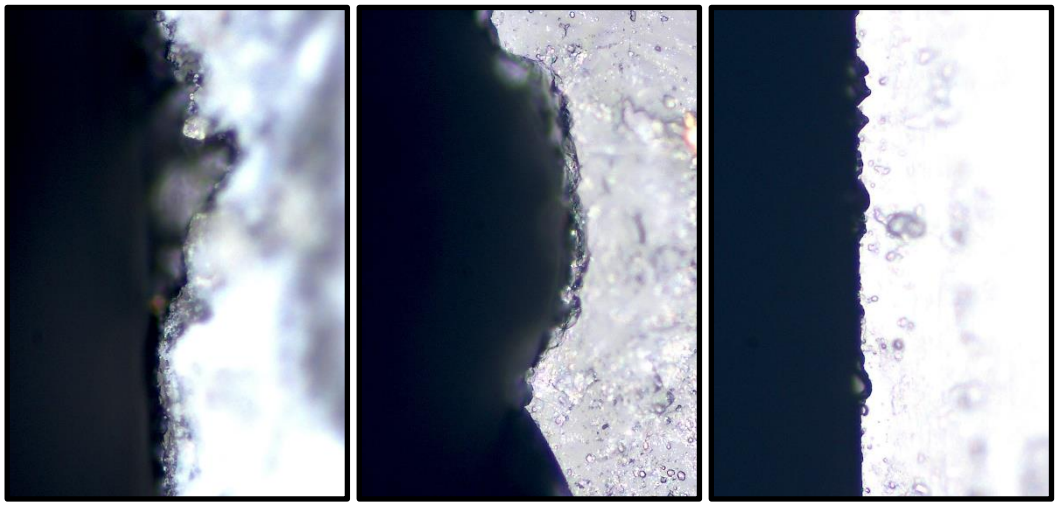
mm. Variasi tersebut memiliki nilai modulus young sebesar 0,02 MPa. Adapun bentuk patahan dari spesimen variasi 80 : 20 dapat dilihat pada Gambar 4-8.



Gambar 4-8 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 80 : 20

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-8, spesimen dengan variasi campuran 80 : 20 memiliki bentuk bekas patahan yang lebih besar dan lebar

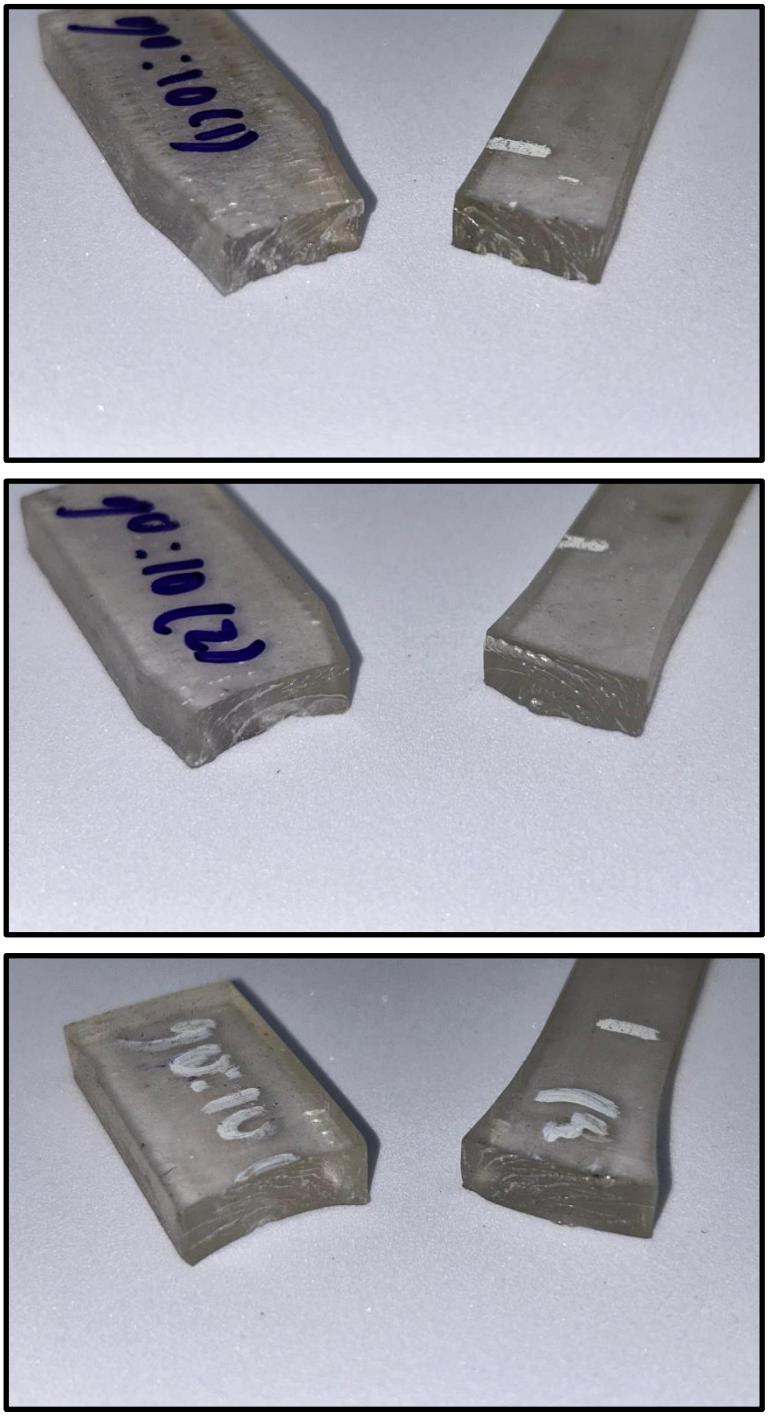
daripada variasi campuran sebelumnya. Bentuk patahan tersebut menjadi indikasi bahwa variasi campuran memiliki sifat material yang ulet, yang mana hal tersebut diperkuat dengan bentuk struktur mikro patahan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-9.



Gambar 4-9 Struktur Mikro Patahan Spesimen 80 : 20

Struktur mikro pada Gambar 4-9, memiliki bentuk struktur yang dominan kasar dan berserat. Struktur mikro tersebut menjadi petunjuk bahwa variasi 80 : 20 sudah termasuk material yang ulet dengan nilai sifat getas yang kecil.

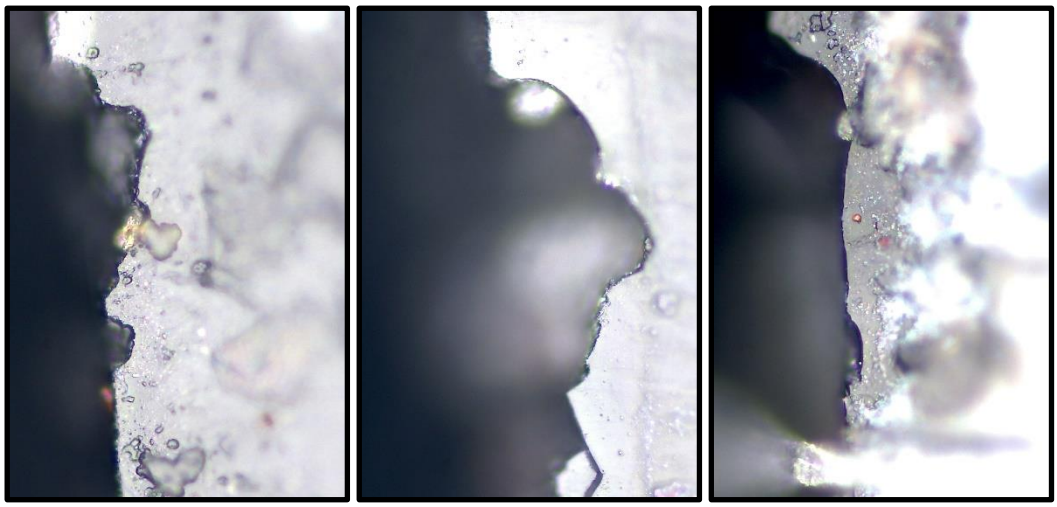
Selanjutnya pada variasi campuran resin 90 : 10 terdapat perbedaan nilai titik patahan yang terjadi antara spesimen satu dan dua dengan spesimen tiga. Pada spesimen satu dan dua mengalami nilai tegangan maksimal sebesar 0,72 MPa sebelum akhirnya mengalami putus pada saat diberi beban maksimal sebesar 0,07 KN dan perubahan panjang sebesar 25 mm. Sementara untuk spesimen tiga mengalami nilai tegangan maksimal sebesar 0,72 MPa serta mengalami putus pada saat diberi beban maksimal sebesar 0,09 KN dan perubahan panjang sebesar 30 mm. Untuk ketiga spesimen memiliki nilai rata-rata modulus young sebesar 0,01 MPa. Bentuk patahan spesimen dengan variasi campuran resin 90 : 10 dapat dilihat pada Gambar 4-10.



Gambar 4-10 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 90 : 10

Berdasarkan Gambar 4-10 , variasi campuran resin 90 : 10 memiliki pola bentuk patahan yang kasar serta timbul. Pola bentuk patahan yang terjadi menunjukkan bahwa material memiliki sifat yang ulet serta bersifat elastis. Berdasarkan bentuk patahan yang terjadi, campuran resin standar yang bernilai

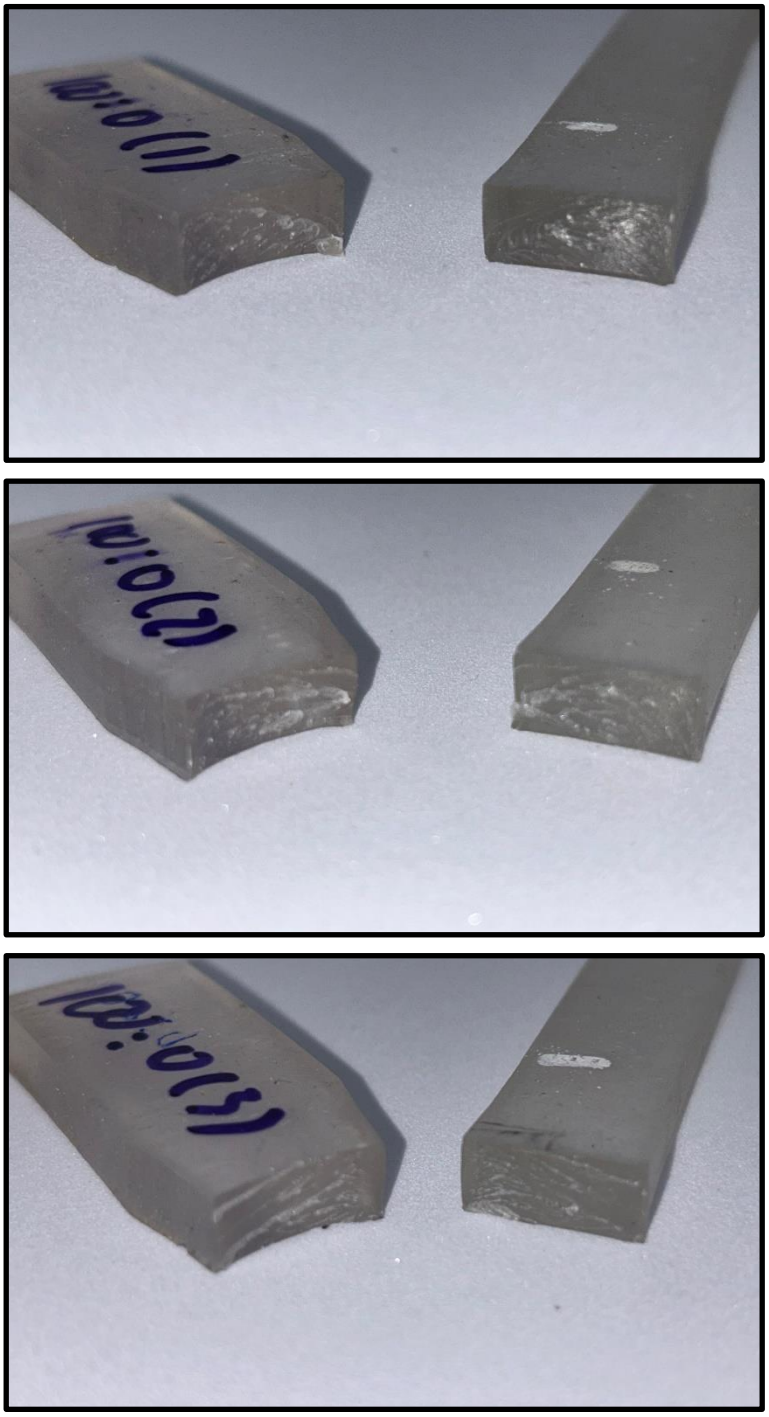
sebesar 10% hampir tidak terlihat pengaruhnya. Hal tersebut didukung dengan bentuk struktur mikro pada patahan spesimen seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-11.



Gambar 4-11 Struktur Mikro Patahan Spesimen 90 : 10

Melalui Gambar 4-11, dapat dilihat bahwa spesimen 90 : 10 memiliki bentuk struktur mikro pada bagian ujung patahan yang menjadi indikasi bahwa material mengalami patah ulet.

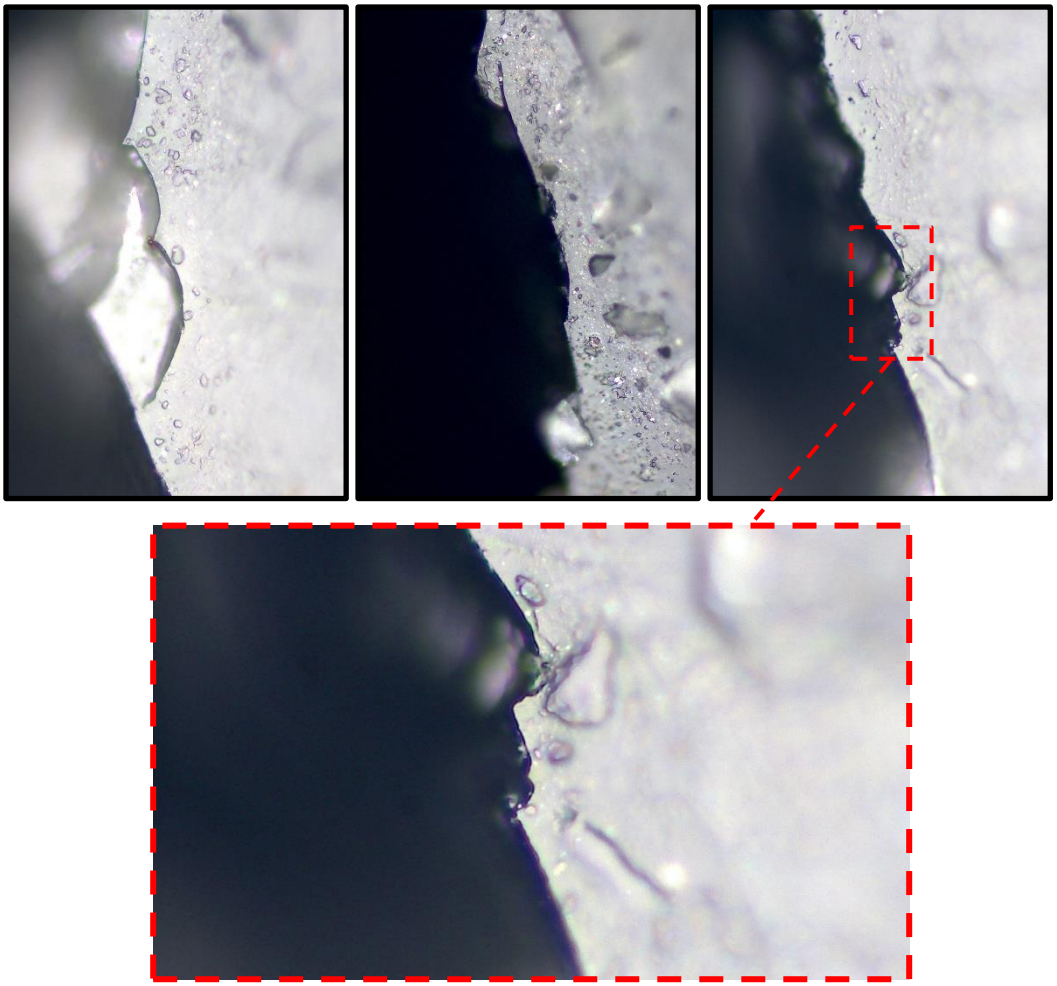
Dan variasi yang terakhir merupakan campuran dengan jumlah resin *flex* tertinggi serta tanpa disertai adanya campuran resin standar, yaitu variasi campuran 100 : 0. Variasi tersebut mengalami besar tegangan maksimal sebesar 0,55 MPa sebelum akhirnya mengalami putus pada saat diberi beban maksimal sebesar 0,05 KN dan perubahan panjang sebesar 40 mm, dengan nilai modulus young sebesar 0,007 MPa. Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 4-1, variasi 100 : 0 menghasilkan garis daerah elastis yang paling miring diantara variasi lainnya. Hal tersebut menunjukkan jika variasi 100 : 0 termasuk material yang paling ulet. Dikarenakan variasi campuran tersebut merupakan variasi dengan jumlah resin *flex* paling besar, maka hasil spesimen campuran juga memiliki tingkat elastisitas yang tinggi. Hal tersebut dapat didukung dengan bentuk patahan yang terjadi pada spesimen seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-12.



Gambar 4-12 Bentuk Patahan Spesimen Variasi 100 : 0

Pada Gambar 4-12, dapat dilihat bahwa bentuk patahan yang terjadi pada spesimen memiliki tekstur yang kasar serta timbul. Patahan yang terjadi juga membentuk pola yang acak. Karakteristik patahan tersebut merupakan karakteristik yang terjadi pada patah ulet, serta menunjukkan bahwa material

memiliki tingkat keuletan yang tinggi. Hal tersebut juga didukung dengan bentuk struktur mikro seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4-13.



Gambar 4-13 Struktur Mikro Patahan Spesimen 100 : 0

Berdasarkan Gambar 4-13, bagian patah yang dialami spesimen memiliki struktur mikro yang menjadi salah satu penanda bahwa suatu material memiliki tingkat elastis yang tinggi, serta termasuk material yang memiliki sifat paling ulet diantara variasi campuran lainnya. Ringkasan dari nilai modulus young seluruh variasi campuran resin dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Ringkasan Nilai Modulus Young Seluruh Variasi Campuran Resin

Variasi Campuran	Modulus Young (Mpa)	Standar Deviasi
50 : 50	0,13	0,00072
60 : 40	0,07	0,01287
70 : 30	0,03	0,00136
80 : 20	0,02	0,00048
90 : 10	0,01	0,00038
100 : 0	0,006	0,00061

Setelah melakukan pengamatan terhadap kekuatan material setiap variasi campuran resin, dilanjutkan dengan mengukur massa jenis campuran bahan resin, dengan cara membuat model dalam bentuk balok yang memiliki peran sebagai representasi campuran bahan resin. Model balok tersebut memiliki dimensi panjang 35 mm, lebar 16 mm, dan tinggi 14 mm. Akan tetapi ketika dilakukan pengukuran ulang menggunakan *vernier calliper*, terdapat perbedaan ukuran antara model desain dengan hasil cetak. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4-14.

Gambar 4-14 Pengukuran Dimensi Balok

Dari hasil pengukuran model balok yang sudah dicetak tersebut, diketahui jika balok memiliki panjang 34,98 mm, lebar 15,99 mm, dan tinggi 14,04 mm. Setelah itu dilanjutkan dengan mengukur volume balok dan akan didapat nilai sebesar 0,0000078529 m^3.

Jika besar volume balok sudah diketahui dapat dilakukan pengukuran menggunakan timbangan gram untuk mengetahui massa dari balok. Pengukuran massa balok dapat dilihat pada Gambar 4-15.

Gambar 4-15 Pengukuran Massa Balok

Dari hasil pengukuran massa balok menggunakan timbangan gram, dapat diketahui jika balok memiliki massa sebesar 9,4 g atau sebesar 0,0094 kg. Setelah itu dapat dilakukan perhitungan massa jenis balok. Berdasarkan perhitungan tersebut, spesimen balok yang juga berperan sebagai representasi campuran bahan resin memiliki massa jenis sebesar 1.197 Kg/m^3.

Berdasarkan dari keseluruhan pembahasan yang ada, setiap variasi campuran bahan resin memiliki besar nilai modulus young yang berbeda. Kemudian dari setiap nilai yang didapat, dibuat perbandingan dengan nilai modulus young arteri koroner asli, dengan cara nilai modulus young masing-masing variasi campuran resin dibagi dengan nilai modulus young arteri koroner asli kemudian dikalikan 100%. Dimulai dari variasi campuran 50 : 50 standar memiliki perbandingan nilai modulus young sebesar 16,05%, variasi campuran bahan resin 60 : 40 standar perbandingan nilai sebesar 9,88%, variasi campuran bahan resin 70 : 30 perbandingan nilai sebesar 3,70%, variasi campuran bahan resin 80 : 20 perbandingan nilai sebesar 2,47%, variasi campuran bahan resin 90 : 10

perbandingan nilai sebesar 1,24%, variasi campuran bahan resin 100 : 0 perbandingan nilai sebesar 0,87%.

Adapun terdapat beberapa kendala yang dialami selama proses penelitian berlangsung seperti resin yang mengalami pengerasan pada saat proses pengadukan campuran resin menggunakan alat *mixer*. Pengerasan tersebut dapat menjadi kendala dikarenakan proses pengadukan dilakukan di ruang terbuka serta secara tidak langsung terkena dampak dari panas matahari, yang mana kendala tersebut dapat mengganggu proses penelitian akibat adanya pengurangan jumlah volume bahan campuran resin dari yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk bentuk campuran bahan resin yang mengalami pengerasan dapat dilihat pada Gambar 4-16.

Gambar 4-16 Campuran Resin Mengalami Pengerasan

Kendala yang dialami berikutnya adalah spesimen yang mengalami kerusakan pada saat proses pelepasan spesimen dari bagian *printer bed* mesin 3D *print*. Kendala tersebut dapat berdampak secara langsung terhadap proses pengujian tarik yang akan dilakukan dikarenakan terdapat kerusakan pada bagian spesimen yang mana akan dapat mengurangi kekuatan material dari campuran bahan resin. Kerusakan yang terdapat pada spesimen dapat dilihat pada Gambar 4-17.

Gambar 4-17 Kerusakan pada Bagian Spesimen

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya, kesimpulan dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Campuran bahan resin *flex* dan resin standar dengan variasi 50 : 50, 60 : 40, dan 70 : 30 memiliki memiliki sifat material dominan getas. Sementara campuran dengan variasi 80 : 20, 90 : 10, dan 100 : 0 memiliki sifat material yang dominan ulet.
2. Campuran bahan resin 50 *flex* : 50 standar merupakan variasi dengan nilai modulus young yang paling mendekati pembuluh arteri koroner asli serta terdapat perbandingan nilai modulus young sebesar 16,05% jika dibandingkan pembuluh arteri koroner asli.

5.2 Saran untuk Penelitian Selanjutnya

1. Menggunakan variasi perbandingan campuran bahan resin yang lebih beragam.
2. Menggunakan jenis serta produk bahan resin yang lebih bervariasi.
3. Pada saat proses pengadukan campuran bahan resin sebaiknya dilakukan pada tempat tertutup agar tidak terkena sinar maupun panas matahari.
4. Ketika melepas spesimen dari benda kerja 3D *print* harus dilakukan secara perlahan untuk meminimalisir terjadinya kerusakan pada spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

Badalu, M. A. S. B., & Kusman, K. (2023). Penatalaksanaan Pemeriksaan Coronary Angiongraphy Pada Kasus Congestive Heart Failure. *Antigen : Jurnal Kesehatan Masyarakat Dan Ilmu Gizi*, *1*(4), 36–44. https://doi.org/10.57213/antigen.v1i4.56

Barton, M., Grüntzig, J., Husmann, M., & Rösch, J. (2014). Balloon Angioplasty – The Legacy of Andreas Grüntzig, M.D. (1939–1985). *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, *1*, 1–25. https://doi.org/10.3389/fcvm.2014.00015

Brown, D. A., Lee, E. W., Loh, C. T., & Kee, S. T. (2009). A New Wave in Treatment of Vascular Occlusive Disease: Biodegradable Stents-Clinical Experience and Scientific Principles. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, *20*(3), 315–324. https://doi.org/10.1016/j.jvir.2008.11.007

Camasão, D. B., & Mantovani, D. (2021). The mechanical characterization of blood vessels and their substitutes in the continuous quest for physiological-relevant performances. A critical review. *Materials Today Bio*, *10*(February). https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2021.100106

Cătălin Iancu, P., Daniela Iancu, E., & Alin Stăncioiu, D. (2010). From CAD Model To 3D Print Via "STL" File Format. *Fiability & Durability*, *1*, 73–80.

Chua, S. N. D., Mac Donald, B. J., & Hashmi, M. S. J. (2002). Finite-element simulation of stent expansion. *Journal of Materials Processing Technology*, *120*(1–3), 335–340. https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01127-X

Dyaksa, G. A., Hermawan, A. A., Nugraha, F. K. A., Hermawan, O. N., & Putra, M. P. (2024). Investigasi Eksperimental Karakteristik Kekuatan Tarik Resin Fleksibel untuk Aplikasi 3D Printing. *Deseminasi Riset Dan Inovasi FST*.

Erdania, E., Faizal, M., & Anggraini, R. B. (2022). Faktor – Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Penyakit Jantung Koroner (PJK) di RSUD Dr. (H.C.) Ir. Soekarno Provinsi Bangka Belitung. *Jurnal Keperawatan*, *12*(1), 17–25. https://doi.org/10.47560/kep.v12i1.472

Gervaso, F., Capelli, C., Petrini, L., Lattanzio, S., Di Virgilio, L., & Migliavacca, F. (2008). On the effects of different strategies in modelling balloon-expandable stenting by means of finite element method. *Journal of*

Biomechanics, *41*(6), 1206–1212. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.01.027

Gunawan, P. ., & Sriyono. (2016). Uji Mekanik Material Struktur Aluminium Tangki Reaktor untuk Menentukan Keandalan Operasionalnya. *Seminar Nasional Teknoka_FT UHamka*, 149–161.

Hanadya, A., Firmansyah, E., & Nugroho, H. A. (2017). Protokol Komunikasi ASTM pada Alat Automated Clinical Analyzer TMS50I Superior. *Universitas Gajah Mada*.

Jacobs, P. F. (1995). Stereolithography and Other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling. *Society of Manufacturing Engineers*, *4*(2). https://doi.org/10.1177/1063293X9600400209

Jansen, J. A. (2006). Ductile-to-brittle transition of plastic materials. *Advanced Materials and Processes*, *164*(2), 39–42.

Jeong, M., Radomski, K., Lopez, D., Liu, J. T., Lee, J. D., & Lee, S. J. (2024). Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview. *Dentistry Journal*, *12*(1), 1–15. https://doi.org/10.3390/dj12010001

Karimi, A., Navidbakhsh, M., Shojaei, A., & Faghihi, S. (2013). Measurement of the uniaxial mechanical properties of healthy and atherosclerotic human coronary arteries. *Materials Science and Engineering C*, *33*(5), 2550–2554. https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.02.016

Mahardika, M., Miftakhudin, M., & Setianto, B. Y. (2019). Desain Wire Winding Machine Sebagai Alat Bantu Pembuatan Kabel Pemandu Stent Koroner. *Journal of Mechanical Design and Testing*, *1*(1), 1. https://doi.org/10.22146/jmdt.46738

Morita, R., Nonoyama, T., Abo, D., Soyama, T., Fujima, N., Imai, T., Hamaguchi, H., Kameda, T., Sugita, O., Takahashi, B., Kinota, N., & Kudo, K. (2023). Mechanical Properties of a 3 Dimensional–Printed Transparent Flexible Resin Used for Vascular Model Simulation Compared with Those of Porcine Arteries. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, *34*(5), 871-878.e3. https://doi.org/10.1016/j.jvir.2023.01.008

Noor, Y. (2020). Anatomi Dan Fisiologi Sistem Urinaria Disusun Oleh. *Anatomi*

Dan Fisiologi Sistem Urinaria, 0–14.

Pane et al. (2022). Faktor-Faktor Risiko Penyakit Kardivaskular Berbasis Masyarakat. *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, *4*(4), 1183–1192.

Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi 2018*, 1–6.

Rafi, M., & Muflikhun, M. A. (2023). Proses Manufaktur Model 3D Print Dengan Menggunakan SLA dari Bahan Resin yang Diperkuat Glass Powder. *Universitas Gajah Mada*.

Risnasari, I., Karolina, R., Fathurrahman, Pulungan, I. H., & Handinata, O. (2022). *Alat Universal Testing Machine UTM dan Pengoperasiannya* (Issue May).

Rizki, A., & Izzati, F. V. R. (2017). Implementasi CAD (Computer Aided Design) dalam Proses Desain Produk. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, *xx*. http://josi.ft.unand.ac.id/

Samnur, & Anwar, B. (2022). *Pengujian Bahan Teknik*. Deepublish.

Schmidt, W., Lanzer, P., Behrens, P., Brandt-Wunderlich, C., Öner, A., Ince, H., Schmitz, K. P., & Grabow, N. (2018). Direct comparison of coronary bare metal vs. drug-eluting stents: Same platform, different mechanics? *European Journal of Medical Research*, *23*(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/s40001-017-0300-y

Sekulić, D., Anderla, A., & Dakić, D. (2017). *The Role of CAD systems in field of Medicine*. 228–231. http://www.iim.ftn.uns.ac.rs/is17

Shen, X., Ji, S., Xie, Z., & Deng, Y. (2017). Effect of different expansion strategies on coronary stent deployment in a tapered artery. *Technology and Health Care*, *25*(S1), S21–S28. https://doi.org/10.3233/THC-171302

Sukiman, B., Junaidy, I., Karim, A., & Mukhlis, M. (2021). *Analisis Pengaruh Internal Geometri Terhadap Properti Mekanik Material Dental Resin Menggunakan SLA 3D Printer Tipe Anycubic*. *6*, 34–38.

Suryawan, D., & Suyitno. (2016). Pemodelan Ekspansi Stent Jantung Dengan Balon Hyper - Elastis. *Teknoin*, *22*(7). https://doi.org/10.20885/teknoin.vol22.iss7.art2

Suryawan, D., & Suyitno. (2017). Desain, Pemodelan, dan Pembuatan Prototype

Ring Jantung Menggunakan Electrical Discharge Machining (EDM). *Universitas Gadjah Mada*, 376455.

Szilvási-Nagy, M., & Mátyási, G. (2003). Analysis of STL Files. *Mathematical and Computer Modelling*, *38*(7–9), 945–960. https://doi.org/10.1016/s0895-7177(03)90079-3

Vaz, V. M., & Kumar, L. (2021). 3D Printing as a Promising Tool in Personalized Medicine. *AAPS PharmSciTech*, *22*(1). https://doi.org/10.1208/s12249-020-01905-8

Widyawati. (2021). *Penyakit Jantung Koroner Didominasi Masyarakat Kota*. 1. https://sehatnegeriku.kemkes.go.id/baca/umum/20210927/5638626/penyakit-jantung-koroner-didominasi-masyarakat-kota/

World Health Organization. (2021). *Cardiovascular Diseases (CVDs)*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwjY64BhCaARIsAIfc7YbiT8FpD4vF3TkiKuDqNQ7Qt2WRqXtajx8xSIsZhac_apa1K8AFiRsaAqwxEALw_wcB

Zhu, Y. T., & Wu, X. L. (2018). Ductility and plasticity of nanostructured metals: differences and issues. *Materials Today Nano*, *2*, 15–20. https://doi.org/10.1016/j.mtnano.2018.09.004

LAMPIRAN

1. Data Hasil Pengujian Tarik Spesimen

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)
1	50:50 (1)	7.14	13.70	0.89	1.75	9.10	3.50
2	50:50 (2)	7.13	13.72	0.89	1.72	9.10	3.44
3	50:50 (3)	6.86	13.04	0.94	1.77	10.51	3.54
4	60:40 (1)	7.20	13.70	0.50	1.91	5.07	3.82
5	60:40 (2)	6.89	13.54	0.44	1.90	4.72	3.80
6	60:40 (3)	6.49	13.65	0.47	1.88	5.31	3.76
7	70:30 (1)	7.33	13.77	0.27	2.06	2.68	4.12
8	70:30 (2)	6.90	13.41	0.26	2.01	2.81	4.02
9	70:30 (3)	7.15	13.65	0.24	2.09	2.46	4.18
10	80:20 (1)	7.14	13.30	0.19	2.53	2.00	5.06
11	80:20 (2)	7.17	13.30	0.18	2.44	1.89	4.88
12	80:20 (3)	7.25	13.66	0.21	2.53	2.12	5.06
13	90:10 (1)	6.64	13.39	0.06	3.08	0.67	6.16
14	90:10 (2)	6.89	13.33	0.07	2.93	0.76	5.86
15	90:10 (3)	7.14	13.35	0.09	3.02	0.94	6.04
16	100:0 (1)	6.91	13.44	0.06	3.31	0.65	6.62
17	100:0 (2)	7.14	13.36	0.05	3.37	0.52	6.74
18	100:0 (3)	6.75	13.39	0.05	3.40	0.55	6.80

2. Nilai Pertambahan Panjang Spesimen

Pertambahan Panjang (mm)	**Beban (KN)**																	
	50:50 (1)	50:50 (2)	50:50 (3)	60:40 (1)	60:40 (2)	60:40 (3)	70:30 (1)	70:30 (2)	70:30 (3)	80:20 (1)	80:20 (2)	80:20 (3)	90:10 (1)	90:10 (2)	90:10 (3)	100:0 (1)	100:0 (2)	100:0 (3)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,30	0,31	0,33	0,19	0,17	0,18	0,11	0,10	0,10	0,07	0,05	0,07	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02	0,02
10	0,43	0,44	0,45	0,25	0,25	0,24	0,14	0,13	0,13	0,09	0,07	0,09	0,04	0,05	0,06	0,04	0,03	0,03
15	0,52	0,54	0,59	0,29	0,28	0,28	0,17	0,16	0,16	0,12	0,09	0,11	0,05	0,06	0,07	0,04	0,03	0,03
20	0,62	0,63	0,65	0,34	0,31	0,32	0,20	0,18	0,19	0,14	0,11	0,13	0,06	0,07	0,08	0,05	0,04	0,04
25	0,70	0,70	0,74	0,39	0,35	0,36	0,22	0,21	0,21	0,17	0,13	0,15	0,06	0,07	0,09	0,05	0,04	0,04
30	0,78	0,78	0,80	0,44	0,38	0,39	0,24	0,23	0,22	0,19	0,15	0,17	0,05	0,06	0,09	0,06	0,05	0,05
35	0,83	0,85	0,86	0,47	0,43	0,43	0,26	0,25	0,23	0,20	0,17	0,18			0,08	0,06	0,05	0,05
40	0,88	0,88	0,91	0,49	0,44	0,46	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,19				0,06	0,05	0,05
45	0,89	0,89	0,94	0,50	0,44	0,47	0,27	0,26	0,24	0,21	0,18	0,19				0,05	0,04	0,04
50	0,68	0,78	0,87	0,45	0,37	0,38	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,16						

3. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 50 : 50 (1)

50 : 50 (1)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,14	13,70	0	0	0
5	0,30	7,14	13,70	3,07	3066920,20	3,03
10	0,43	7,14	13,70	4,40	4395918,95	6,06
15	0,52	7,14	13,70	5,32	5315995,01	9,09
20	0,62	7,14	13,70	6,34	6338301,74	12,12
25	0,70	7,14	13,70	7,16	7156147,13	15,15
30	0,78	7,14	13,70	7,97	7973992,52	18,18
35	0,83	7,14	13,70	8,49	8485145,88	21,21
40	0,88	7,14	13,70	9,00	8996299,25	24,24
45	0,89	7,14	13,70	9,10	9098529,92	27,27
50	0,68	7,14	13,70	6,95	6951685,78	30,30

4. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 50 : 50 (2)

50 : 50 (2)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,13	13,72	0	0	0
5	0,31	7,13	13,72	3,17	3168969,45	3,03
10	0,44	7,13	13,72	4,50	4497892,12	6,06
15	0,54	7,13	13,72	5,52	5520140,33	9,09
20	0,63	7,13	13,72	6,44	6440163,72	12,12
25	0,70	7,13	13,72	7,16	7155737,47	15,15
30	0,78	7,13	13,72	7,97	7973536,04	18,18
35	0,85	7,13	13,72	8,69	8689109,79	21,21
40	0,88	7,13	13,72	9,00	8995784,25	24,24
45	0,89	7,13	13,72	9,10	9098009,07	27,27
50	0,78	7,13	13,72	7,97	7973536,04	30,30

5. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 50 : 50 (3)

50 : 50 (3)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,86	13,04	0	0	0
5	0,33	6,86	13,04	3,69	3689030,39	3,03
10	0,45	6,86	13,04	5,03	5030495,98	6,06
15	0,59	6,86	13,04	6,60	6595539,18	9,09
20	0,65	6,86	13,04	7,27	7266271,98	12,12
25	0,74	6,86	13,04	8,27	8272371,17	15,15
30	0,80	6,86	13,04	8,94	8943103,97	18,18
35	0,86	6,86	13,04	9,61	9613836,77	21,21

40	0,91	6,86	13,04	10,17	10172780,77	24,24
45	0,94	6,86	13,04	10,51	10508147,17	27,27
50	0,87	6,86	13,04	9,73	9725625,57	30,30

6. Nilai Rata - Rata Tegangan Regangan Spesimen 50 : 50

50 : 50						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,04	13,49	0	0	0
5	0,31	7,04	13,49	3,31	3308306,68	3,03
10	0,44	7,04	13,49	4,64	4641435,69	6,06
15	0,55	7,04	13,49	5,81	5810558,18	9,09
20	0,63	7,04	13,49	6,68	6681579,15	12,12
25	0,71	7,04	13,49	7,53	7528085,26	15,15
30	0,79	7,04	13,49	8,30	8296877,51	18,18
35	0,85	7,04	13,49	8,93	8929364,15	21,21
40	0,89	7,04	13,49	9,39	9388288,09	24,24
45	0,91	7,04	13,49	9,57	9568228,72	27,27
50	0,78	7,04	13,49	8,22	8216949,13	30,30

7. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 60 : 40 (1)

60 : 40 (1)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,20	13,70	0	0	0
5	0,19	7,20	13,70	1,93	1926196,27	3,03
10	0,25	7,20	13,70	2,53	2534468,78	6,06
15	0,29	7,20	13,70	2,94	2939983,78	9,09
20	0,34	7,20	13,70	3,45	3446877,53	12,12
25	0,39	7,20	13,70	3,95	3953771,29	15,15
30	0,44	7,20	13,70	4,46	4460665,04	18,18
35	0,47	7,20	13,70	4,76	4764801,30	21,21
40	0,49	7,20	13,70	4,97	4967558,80	24,24
45	0,50	7,20	13,70	5,07	5068937,55	27,27
50	0,45	7,20	13,70	4,56	4562043,80	30,30

8. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 60 : 40 (2)

60 : 40 (2)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,89	13,54	0	0	0
5	0,17	6,89	13,54	1,82	1822262,91	3,03
10	0,25	6,89	13,54	2,68	2679798,39	6,06
15	0,28	6,89	13,54	3,00	3001374,20	9,09
20	0,31	6,89	13,54	3,32	3322950,01	12,12
25	0,35	6,89	13,54	3,75	3751717,75	15,15
30	0,38	6,89	13,54	4,07	4073293,56	18,18
35	0,43	6,89	13,54	4,61	4609253,24	21,21
40	0,44	6,89	13,54	4,72	4716445,17	24,24
45	0,44	6,89	13,54	4,72	4716445,17	27,27
50	0,37	6,89	13,54	3,97	3966101,62	30,30

9. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 60 : 40 (3)

60 : 40 (3)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,49	13,65	0	0	0
5	0,18	6,49	13,65	2,03	2031866,44	3,03
10	0,24	6,49	13,65	2,71	2709155,25	6,06
15	0,28	6,49	13,65	3,16	3160681,13	9,09
20	0,32	6,49	13,65	3,61	3612207,00	12,12
25	0,36	6,49	13,65	4,06	4063732,88	15,15
30	0,39	6,49	13,65	4,40	4402377,28	18,18
35	0,43	6,49	13,65	4,85	4853903,16	21,21
40	0,46	6,49	13,65	5,19	5192547,57	24,24
45	0,47	6,49	13,65	5,31	5305429,03	27,27
50	0,38	6,49	13,65	4,29	4289495,81	30,30

6. Nilai Rata - Rata Tegangan Regangan Spesimen 60 : 40

60 : 40						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,86	13,63	0	0	0
5	0,18	6,86	13,63	1,93	1926775,21	3,03
10	0,25	6,86	13,63	2,64	2641140,81	6,06
15	0,28	6,86	13,63	3,03	3034013,04	9,09
20	0,32	6,86	13,63	3,46	3460678,18	12,12
25	0,37	6,86	13,63	3,92	3923073,97	15,15
30	0,40	6,86	13,63	4,31	4312111,96	18,18
35	0,44	6,86	13,63	4,74	4742652,56	21,21

40	0,46	6,86	13,63	4,96	4958850,51	24,24
45	0,47	6,86	13,63	5,03	5030270,59	27,27
50	0,40	6,86	13,63	4,27	4272547,08	30,30

7. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 70 : 30 (1)

70 : 30 (1)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,33	13,77	0	0	0
5	0,11	7,33	13,77	1,09	1089819,99	3,03
10	0,14	7,33	13,77	1,39	1387043,63	6,06
15	0,17	7,33	13,77	1,68	1684267,26	9,09
20	0,20	7,33	13,77	1,98	1981490,89	12,12
25	0,22	7,33	13,77	2,18	2179639,98	15,15
30	0,24	7,33	13,77	2,38	2377789,07	18,18
35	0,26	7,33	13,77	2,58	2575938,16	21,21
40	0,27	7,33	13,77	2,68	2675012,71	24,24
45	0,27	7,33	13,77	2,68	2675012,71	27,27
50	0,22	7,33	13,77	2,18	2179639,98	30,30

8. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 70 : 30 (2)

70 : 30 (2)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,90	13,41	0	0	0
5	0,10	6,90	13,41	1,08	1080742,25	3,03
10	0,13	6,90	13,41	1,40	1404964,93	6,06
15	0,16	6,90	13,41	1,73	1729187,61	9,09
20	0,18	6,90	13,41	1,95	1945336,06	12,12
25	0,21	6,90	13,41	2,27	2269558,73	15,15
30	0,23	6,90	13,41	2,49	2485707,18	18,18
35	0,25	6,90	13,41	2,70	2701855,63	21,21
40	0,26	6,90	13,41	2,81	2809929,86	24,24
45	0,26	6,90	13,41	2,81	2809929,86	27,27
50	0,20	6,90	13,41	2,16	2161484,51	30,30

9. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 70 : 30 (3)

70 : 30 (3)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,15	13,65	0	0	0
5	0,10	7,15	13,65	1,02	1024616,41	3,03
10	0,13	7,15	13,65	1,33	1332001,33	6,06

15	0,16	7,15	13,65	1,64	1639386,25	9,09
20	0,19	7,15	13,65	1,95	1946771,18	12,12
25	0,21	7,15	13,65	2,15	2151694,46	15,15
30	0,22	7,15	13,65	2,25	2254156,10	18,18
35	0,23	7,15	13,65	2,36	2356617,74	21,21
40	0,24	7,15	13,65	2,46	2459079,38	24,24
45	0,24	7,15	13,65	2,46	2459079,38	27,27
50	0,19	7,15	13,65	1,95	1946771,18	30,30

6. Nilai Rata - Rata Tegangan Regangan Spesimen 70 : 30

70 : 30						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,13	13,61	0	0	0
5	0,10	7,13	13,61	1,07	1065059,55	3,03
10	0,13	7,13	13,61	1,37	1374669,96	6,06
15	0,16	7,13	13,61	1,68	1684280,37	9,09
20	0,19	7,13	13,61	1,96	1957866,04	12,12
25	0,21	7,13	13,61	2,20	2200297,73	15,15
30	0,23	7,13	13,61	2,37	2372550,79	18,18
35	0,25	7,13	13,61	2,54	2544803,85	21,21
40	0,26	7,13	13,61	2,65	2648007,32	24,24
45	0,26	7,13	13,61	2,65	2648007,32	27,27
50	0,20	7,13	13,61	2,10	2095965,22	30,30

10. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 80 : 20 (1)

80 : 20 (1)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,14	13,30	0	0	0
5	0,07	7,14	13,30	0,74	737136,96	3,03
10	0,09	7,14	13,30	0,95	947747,52	6,06
15	0,12	7,14	13,30	1,26	1263663,36	9,09
20	0,14	7,14	13,30	1,47	1474273,92	12,12
25	0,17	7,14	13,30	1,79	1790189,76	15,15
30	0,19	7,14	13,30	2,00	2000800,32	18,18
35	0,20	7,14	13,30	2,11	2106105,60	21,21
40	0,21	7,14	13,30	2,21	2211410,88	24,24
45	0,21	7,14	13,30	2,21	2211410,88	27,27
50	0,17	7,14	13,30	1,79	1790189,76	30,30

11. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 80 : 20 (2)

80 : 20 (2)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,17	13,30	0	0	0
5	0,05	7,17	13,30	0,52	524323,36	3,03
10	0,07	7,17	13,30	0,73	734052,70	6,06
15	0,09	7,17	13,30	0,94	943782,05	9,09
20	0,11	7,17	13,30	1,15	1153511,39	12,12
25	0,13	7,17	13,30	1,36	1363240,74	15,15
30	0,15	7,17	13,30	1,57	1572970,08	18,18
35	0,17	7,17	13,30	1,78	1782699,43	21,21
40	0,18	7,17	13,30	1,89	1887564,10	24,24
45	0,18	7,17	13,30	1,89	1887564,10	27,27
50	0,15	7,17	13,30	1,57	1572970,08	30,30

12. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 80 : 20 (3)

80 : 20 (3)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,25	13,66	0	0	0
5	0,07	7,25	13,66	0,71	706820,82	3,03
10	0,09	7,25	13,66	0,91	908769,63	6,06
15	0,11	7,25	13,66	1,11	1110718,43	9,09
20	0,13	7,25	13,66	1,31	1312667,24	12,12
25	0,15	7,25	13,66	1,51	1514616,04	15,15
30	0,17	7,25	13,66	1,72	1716564,85	18,18
35	0,18	7,25	13,66	1,82	1817539,25	21,21
40	0,19	7,25	13,66	1,92	1918513,66	24,24
45	0,19	7,25	13,66	1,92	1918513,66	27,27
50	0,16	7,25	13,66	1,62	1615590,45	30,30

13. Nilai Rata - Rata Nilai Tegangan Regangan Spesimen 80 : 20

80 : 20						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,19	13,42	0	0	0
5	0,06	7,19	13,42	0,66	656093,71	3,03
10	0,08	7,19	13,42	0,86	863523,28	6,06
15	0,11	7,19	13,42	1,11	1106054,61	9,09
20	0,13	7,19	13,42	1,31	1313484,18	12,12
25	0,15	7,19	13,42	1,56	1556015,51	15,15
30	0,17	7,19	13,42	1,76	1763445,08	18,18
35	0,18	7,19	13,42	1,90	1902114,76	21,21

40	0,19	7,19	13,42	2,01	2005829,55	24,24
45	0,19	7,19	13,42	2,01	2005829,55	27,27
50	0,16	7,19	13,42	1,66	1659583,43	30,30

14. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 90 : 10 (1)

90 : 10 (1)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,64	13,39	0	0	0
5	0,03	6,64	13,39	0,34	337421,38	3,03
10	0,04	6,64	13,39	0,45	449895,17	6,06
15	0,05	6,64	13,39	0,56	562368,97	9,09
20	0,06	6,64	13,39	0,67	674842,76	12,12
25	0,06	6,64	13,39	0,67	674842,76	15,15
30	0,05	6,64	13,39	0,56	562368,97	18,18

15. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 90 : 10 (2)

90 : 10 (2)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,89	13,33	0	0	0
5	0,04	6,89	13,33	0,44	435522,52	3,03
10	0,05	6,89	13,33	0,54	544403,15	6,06
15	0,06	6,89	13,33	0,65	653283,79	9,09
20	0,07	6,89	13,33	0,76	762164,42	12,12
25	0,07	6,89	13,33	0,76	762164,42	15,15
30	0,06	6,89	13,33	0,65	653283,79	18,18

16. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 90 : 10 (3)

90 : 10 (3)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,14	13,35	0	0	0
5	0,05	7,14	13,35	0,52	524554,39	3,03
10	0,06	7,14	13,35	0,63	629465,27	6,06
15	0,07	7,14	13,35	0,73	734376,15	9,09
20	0,08	7,14	13,35	0,84	839287,03	12,12
25	0,09	7,14	13,35	0,94	944197,90	15,15
30	0,09	7,14	13,35	0,94	944197,90	18,18
35	0,08	7,14	13,35	0,84	839287,03	21,21

17. Nilai Rata - Rata Nilai Tegangan Regangan Spesimen 90 : 10

90 : 10						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,89	13,36	0,00	0,00	0
5	0,04	6,77	13,36	0,39	386471,95	3,03
10	0,05	6,77	13,36	0,50	497149,16	6,06
15	0,06	6,77	13,36	0,61	607826,38	9,09
20	0,07	6,77	13,36	0,72	718503,59	12,12
25	0,07	6,77	13,36	0,72	718503,59	15,15
30	0,07	6,77	13,36	0,61	607826,38	18,18
35	0,08	7,14	13,35	0,84	839287,03	21,21

18. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 100 : 0 (1)

100 : 0 (1)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,33	13,77	0	0	0
5	0,03	7,33	13,77	0,30	297223,63	3,03
10	0,04	7,33	13,77	0,36	356668,36	6,06
15	0,04	7,33	13,77	0,40	396298,18	9,09
20	0,05	7,33	13,77	0,45	445835,45	12,12
25	0,05	7,33	13,77	0,50	495372,72	15,15
30	0,06	7,33	13,77	0,54	544910,00	18,18
35	0,06	7,33	13,77	0,59	594447,27	21,21
40	0,06	7,33	13,77	0,59	594447,27	24,24
45	0,05	7,33	13,77	0,50	495372,72	27,27

19. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 100:0 (2)

100: 0 (2)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	6,90	13,41	0	0	0
5	0,02	6,90	13,41	0,23	226955,87	3,03
10	0,03	6,90	13,41	0,29	291800,41	6,06
15	0,03	6,90	13,41	0,32	324222,68	9,09
20	0,04	6,90	13,41	0,39	389067,21	12,12
25	0,04	6,90	13,41	0,43	432296,90	15,15
30	0,05	6,90	13,41	0,49	486334,01	18,18
35	0,05	6,90	13,41	0,54	540371,13	21,21
40	0,05	6,90	13,41	0,54	540371,13	24,24
45	0,04	6,90	13,41	0,43	432296,90	27,27

20. Nilai Tegangan Regangan Spesimen 100 : 0 (3)

100 : 0 (3)						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,15	13,65	0	0	0
5	0,02	7,15	13,65	0,20	204923,28	3,03
10	0,03	7,15	13,65	0,28	276646,43	6,06
15	0,03	7,15	13,65	0,31	307384,92	9,09
20	0,04	7,15	13,65	0,36	358615,74	12,12
25	0,04	7,15	13,65	0,41	409846,56	15,15
30	0,05	7,15	13,65	0,46	461077,38	18,18
35	0,05	7,15	13,65	0,51	512308,20	21,21
40	0,05	7,15	13,65	0,51	512308,20	24,24
45	0,04	7,15	13,65	0,41	409846,56	27,27

21. Nilai Rata - Rata Nilai Tegangan Regangan Spesimen 100 : 0

100 : 0						
ΔL (mm)	**(KN)**	**Tebal (mm)**	**Lebar (mm)**	**Tegangan (MPa)**	**Tegangan (Pa)**	**Regangan (%)**
0	0,00	7,13	13,61	0	0	0
5	0,02	7,13	13,61	0,24	243034,26	3,03
10	0,03	7,13	13,61	0,31	308371,73	6,06
15	0,03	7,13	13,61	0,34	342635,26	9,09
20	0,04	7,13	13,61	0,40	397839,47	12,12
25	0,04	7,13	13,61	0,45	445838,73	15,15
30	0,05	7,13	13,61	0,50	497440,46	18,18
35	0,05	7,13	13,61	0,55	549042,20	21,21
40	0,05	7,13	13,61	0,55	549042,20	24,24
45	0,04	7,13	13,61	0,45	445838,73	27,27