



**PEMBUATAN *SHAFT* DAN NILAI KEKAKUAN
*ARROW***

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana

Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Arya Dewa Nugroho

NIM. 5212415018

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Arya Dewa Nugroho

NIM : 5212415018

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pembuatan *Shaft* dan Nilai Kekakuan *Arrow*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 12 Mei 2020

Mengetahui,

Pembimbing



Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T.

NIP. 197509272006041002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Pembuatan *Shaft* dan Nilai Kekakuan *Arrow*” dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 11 bulan Juni tahun 2020.

Oleh

Nama : Arya Dewa Nugroho
NIM : 5212415018
Program Studi : Teknik Mesin

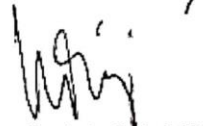
Panitia:

Ketua



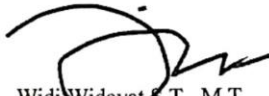
Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.
NIP.197601012003121002

Penguji 1



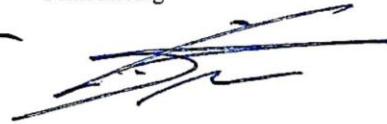
Widi Widayat S.T., M.T.
NIP. 197408152000031001

Penguji 2



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Pembimbing



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T.
NIP. 197509272006041002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh dari karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 12 Mei 2020

Yang membuat pernyataan



Arya Dewa Nugroho

NIM. 5212415018

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Harga kebaikan manusia adalah diukur menurut apa yang telah diperbuat atau dilaksanakannya.(Ali bin Abi Thalib)

Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil, kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik.(Evelyn Underhill)

Kita berdoa kalau kesusahan dan membutuhkan sesuatu, mestinya kita juga berdoa dalam kegembiraan dan saat rezeki berlimpah. (Kahlil Gibran)

Ikatlah ilmu dengan menulis. Ilmu itu bagaikan binatang buruan, sedangkan pena adalah pengikatnya maka ikatlah buruanmu dengan tali yang kuat.(Imam Syafi'i)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua, adik, kakak, saudara teman-teman seangkatan dan pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini sampai selesai.

SARI ATAU RINGKASAN

Arya Dewa Nugroho. 2020. Pembuatan *Shaft* dan Nilai Kekakuan *Arrow*. Pembimbing. Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. Teknik Mesin, Fakultas Teknik.

Pembuatan dan penelitian *arrow* masih terus dikembangkan. Komponen yang dibuat masih menggunakan bahan dasar yang relatif berat. *Arrow* yang berat akan menyebabkan kelelahan dan cedera pada pemanah. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan menguji *arrow*.

Pembuatan desain dan simulasi *arrow* menggunakan *Solid Works* 2016. Pembuatan prototipe *shaft arrow* menggunakan material komposit dengan serat kaca sebagai penguat dan poliester sebagai matriksnya. Pembuatan *shaft arrow* didasarkan pada 10 variasi kenaikan massa serat dengan *margin* 1 gram. Pengujian nilai prototipe menggunakan standar ASTM F2031. Hasil dari pengujian menunjukkan nilai Spine terendah adalah prototipe yang memiliki perbandingan massa serat dan matriks 35,4% : 64,6% dengan nilai Spine 873,8 dan panjang *shaft* 73,1 cm. Sedangkan nilai Spine tertinggi adalah prototipe yang memiliki perbandingan massa serat dan matriks 29,7% : 70,3% dengan nilai Spine 1143,8 dan panjang *shaft* 75,6 cm.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai Spine *arrow* dipengaruhi oleh variasi kenaikan massa serat dan panjang *shaft*. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan pengembangan terhadap cetakan agar produk yang dihasilkan memiliki berat yang ringan namun tetap kaku, kuat dan halus ketika *arrow* terbang.

Kata kunci: *Arrow*, *Shaft*, Komposit, Serat Kaca, Poliester, Spine

PRAKATA

Assalmualaikum Wr. Wb.

Bismillah Ar-Rahman Ar-Rahim

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Pembuatan *Shaft* dan Nilai Kekakuan *Arrow*.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Shalawat serta salam tak lupa senantiasa tercurahkan kepada junjungan besar Kita, Nabi Besar Muhammad SAW yang telah mengubah jaman yang gelap gulita menjadi zaman yang terang benderang penuh nikmat iman dan takwa.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik, Rusyanto S.pd., M.T, Ketua Jurusan Teknik Mesin, Samsudin Anis S.T., M.T.Ph.D, Koordinator Prodi Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan untuk mahasiswa.
3. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo ST, MT. IPP, Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
4. Widi Widayat S.T., M.T dan Rusyanto S.pd., M.T, Penguji I dan II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.

5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin FT. UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Wassalmualaikum Wr. Wb.

Semarang, 12 Mei 2020



Arya Dewa Nugroho

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
SARI ATAU RINGKASAN	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Landasan Teori	8

2.2.1 <i>Arrow</i>	8
2.2.2 Komponen <i>Arrow</i>	9
2.2.3 Termoset	11
2.2.4 Resin Poliester	13
2.2.5 Serat Kaca.....	13
2.2.6 Material Komposit.....	15
2.2.7 Aerodinamika	18
2.2.8 Pengukuran Dimensi <i>Shaft Arrow</i>	22
2.2.9 Pengukuran Kerataan <i>Shaft Arrow</i>	23
2.2.10 Pengukuran Kelurusan <i>Shaft Arrow</i>	25
2.2.11 <i>Spine Arrow</i>	27
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	30
3.1.1 Waktu Penelitian	30
3.1.2 Tempat Penelitian	30
3.2 Desain Penelitian	30
3.2.1 Alur Penelitian.....	31
3.2.2 Proses Penelitian.....	32
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	37
3.3.1 Bahan Penelitian.....	37

3.3.2 Alat Penelitian Untuk Simulasi	40
3.3.3 Alat Penelitian Pembuatan Produk	41
3.3.4 Pembuatan Gambar.....	44
3.4 Parameter Penelitian	45
3.4.1 Parameter Bebas	45
3.4.2 Parameter Terikat	45
3.4.3 Parameter Kontrol.....	46
3.5 Teknik Pengumpulan Data	47
3.5.1 Studi Pustaka	47
3.5.2 Dokumentasi.....	47
3.5.3 Simulasi	48
3.6 Kalibrasi Instrumen	48
3.6.1 Dial Indikator.....	49
3.6.2 Pengukuran Statis Spine <i>Stiffnes Arrow</i>	51
3.7 Teknik Analisis Data	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Deskripsi Data	52
4.1.1 Hasil <i>Flow Simulation Arrow</i>	52
4.1.2 Pembuatan Cetakan <i>Shaft</i>	55
4.1.3 Pembuatan <i>Shaft Arrow</i>	57

4.1.4 Massa Prototipe <i>Arrow</i>	60
4.1.5 Hasil Uji Kerataan Prototipe <i>Arrow</i>	61
4.1.6 Hasil Uji Kelurusan Prototipe <i>Arrow</i>	63
4.1.7 Hasil Uji Kekakuan Prototipe <i>Arrow</i>	64
4.1.8 Struktur Mikro Prototipe <i>Arrow</i>	66
4.2 Analisis Data.....	68
4.2.1 Analisis Hasil <i>Flow Simulation</i>	68
4.2.2 Analisis Hasil Uji Kekakuan Prototipe <i>Arrow</i>	69
4.3 Pembahasan	70
4.3.1 Dimensi <i>shaft arrow</i>	70
4.3.2 Uji Kerataan.....	71
4.3.3 Uji Kelurusan.....	72
4.3.4 Penyusutan Prototipe <i>Shaft Arrow</i>	73
4.3.5 Struktur Mikro Prototipe	74
4.3.6 Pengaruh Variasi Massa Serat Terhadap Tingkat Kekakuan <i>Arrow</i>	75
4.3.7 Pengaruh Variasi Panjang <i>Arrow</i> Terhadap Tingkat Kekakuan <i>Arrow</i>	76
PENUTUP.....	78
4.1 Kesimpulan	78
4.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	80

LAMPIRAN.....	82
---------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Arrow</i>	8
Gambar 2.2 Desain <i>shaft arrow</i> material komposit serat karbon.....	9
Gambar 2.3 <i>Arrow point</i>	10
Gambar 2.4 <i>Fletching</i>	10
Gambar 2.5 <i>Nock</i>	11
Gambar 2.6 Skema geometris partikel komposit	15
Gambar 2.7 Klasifikasi tipe komposit.....	16
Gambar 2.8 Jenis <i>fiber-reinforced composites</i>	16
Gambar 2.9 <i>Wind tunel</i> dan pemasangan <i>high speed camera</i>	18
Gambar 2.10 Simulasi <i>aerodynamic arrow</i>	19
Gambar 2. 11 Pengukuran diameter <i>shaft</i>	23
Gambar 2. 12 Pengukuran kerataan <i>shaft</i>	24
Gambar 2. 13 Ilustrasi pengukuran kelurusan <i>shaft</i>	25
Gambar 2.14 Pengukuran kelurusan <i>shaft</i>	26
Gambar 2.15 Pengukuran <i>Spine arrow</i>	27
Gambar 2.16 Standart <i>Spine</i>	29
Gambar 3.1 Alur penelitian.....	31
Gambar 3.2 Massa matriks.....	33
Gambar 3. 3 Komposit <i>shaft</i> dengan massa serat 15 gram	34
Gambar 3.4 Pengukuran lebar serat	35
Gambar 3.5 Silikon cair	37
Gambar 3. 6 Resin poliester dan katalis.....	38

Gambar 3.7 Kayu triplek.....	38
Gambar 3.8 Serat kaca	38
Gambar 3.9 <i>Mirror glaze</i>	39
Gambar 3. 10 Dempul	39
Gambar 3.11 Erosil	40
Gambar 3.12 Laptop.....	40
Gambar 3.13 <i>Solid Works</i> 2016	41
Gambar 3.14 Pola <i>shaft arrow</i>	41
Gambar 3.15 Gerinda Tangan	42
Gambar 3.16 Vernier Caliper	42
Gambar 3.17 Dial indikator.....	43
Gambar 3.18 Neraca digital	43
Gambar 3.19 Meter ukur	43
Gambar 3.20 Desain 3 dimensi cetakan.....	44
Gambar 3.21 Potongan cetakan <i>shaft</i>	44
Gambar 3.22 Desain <i>Arrow</i>	45
Gambar 3.23 Langkah pertama kalibrasi dial indikator.....	49
Gambar 3.24 Langkah kedua kalibrasi dial indikator	49
Gambar 3.25 Langkah ketiga kalibrasi dial indikator	50
Gambar 3.26 Langkah keempat kalibrasi dial indikator	50
Gambar 3.27 Langkah kelima kalibrasi dial indikator.....	50
Gambar 3.28 Langkah keenam kalibrasi dial indikator	51
Gambar 3.29 Pengukuran statis Spine <i>stiffnes arrow</i>	51

Gambar 4. 1 <i>Computational domain</i>	52
Gambar 4.2 <i>Meshing grid</i>	54
Gambar 4.3 <i>Flow trajectory</i>	54
Gambar 4.4 <i>Drag force arrow</i>	55
Gambar 4.5 Gambar teknik rangka cetak.....	55
Gambar 4.6 Gambar teknik pola <i>shaft arrow</i>	56
Gambar 4.7 Saluran masuk cetakan	56
Gambar 4.8 Cetakan <i>shaft arrow</i>	57
Gambar 4.9 Prototipe awal <i>shaft arrow</i>	57
Gambar 4.10 Prototipe <i>shaft arrow</i> setelah <i>finishing</i>	58
Gambar 4.11 Pengecekan dimensi prototipe <i>shaft arrow</i>	58
Gambar 4.12 <i>Assembly arrow</i>	60
Gambar 4.13 Sampel berat prototipe A6.....	60
Gambar 4.14 Sampel uji kerataan A2	61
Gambar 4. 15 Titik sampel uji kerataan	62
Gambar 4.16 Sampel uji kelurusan A9	63
Gambar 4.17 Beban uji kekakuan	64
Gambar 4.18 Sampel uji kekakuan A4	65
Gambar 4.19 Skala foto mikro	66
Gambar 4.20 Struktur mikro A1	67
Gambar 4.21 Struktur mikro A5	67
Gambar 4.22 Struktur mikro A10	68

Gambar 4.23 Nilai Spine <i>arrow</i>	70
Gambar 4.24 Uji kerataan prototipe	71
Gambar 4.25 Uji Kelurusan prototipe	72
Gambar 4.26 Grafik panjang <i>shaft</i> dan kode prototipe <i>arrow</i>	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nama Dagang, Sifat-Sifat, dan Pemakaian Termoset.....	12
Tabel 2.2 Sifat Mekanik <i>Glass Fiber Reinforced Polyester</i> (GFRP).....	14
Tabel 2.3 Standar Pengujian <i>Arrow</i> Menurut ASTM dan AMO	28
Tabel 3.1 Komposisi Bahan	35
Tabel 3.2 Lebar serat.....	36
Tabel 3.3 Spesifikasi Laptop.....	40
Tabel 3.4 Pengukuran Defleksi Prototipe <i>Arrow</i>	46
Tabel 3.5 Nilai Kekakuan dan Prototipe <i>Spine Arrow</i>	47
Tabel 4.1 Dimensi Prototipe <i>Shaft Arrow</i>	59
Tabel 4.2 Berat Prototipe <i>Arrow</i>	60
Tabel 4.3 Uji Kerataan Prototipe <i>Arrow</i>	62
Tabel 4.4 Uji Kelurusan Prototipe <i>Arrow</i>	64
Tabel 4.5 Defleksi Prototipe <i>Arrow</i>	65
Tabel 4.6 Hasil Uji Kekakuan.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya teknologi, fungsi alat panah yang dahulu hanya dijadikan sebagai alat bantu untuk berburu dan berperang kini beralih fungsi menjadi sarana olahraga atau aktivitas rekreasi. Saat ini, olahraga panahan mulai diminati banyak orang, baik sebagai media untuk menyalurkan hobi atau media untuk berkompetisi.

Zaman dahulu alat panah dibuat menggunakan batang kayu yang dibentuk menyerupai busur dengan pegangan yang berada ditengah dan direkatkan dengan seutas tali pada kedua ujung busur tersebut serta anak panah yang ditajamkan pada salah satu ujungnya. Prinsip kerja dari alat panah adalah dengan menarik anak panah sampai busur bengkok dan kemudian dilepaskan sehingga gaya dorong dari tali panah akan menembakkan anak panah (Maga, 2018).

Seiring dengan kemajuan berkelanjutan dari peralatan memanah, alat panah sudah berevolusi dari batang kayu yang sederhana menjadi alat tembak dengan teknologi tinggi. Menurut Meyer (2015) alat panah diklasifikasikan menjadi dua jenis yakni *recurve bow* yang sering digunakan pada olimpiade dan *compound bow*, yang menggunakan sistem kabel dan katrol.

Perkembangan alat panah tersebut tidak lepas dari munculnya material plastik dan campuran baru, yang menggantikan bahan tradisional seperti kayu, linen dan kulit binatang.

Penggunaan alat panah sangat erat hubungannya dengan dunia olahraga, bahkan cabang olahraga panahan menjadi salah satu cabang olahraga yang populer pada olimpiade. Negara-negara yang turut andil dalam kompetisi cabang olahraga panahan berinovasi untuk membuat alat panah dengan rekayasa material polimer berteknologi tinggi. Inovasi tersebut berfokus pada peningkatan performa alat panah dalam menembak. Performa tinggi dalam menembak ditandai sebagai kemampuan mengenai target berulang kali dalam jumlah waktu tertentu dengan tingkat kepresisian dan ketepatan yang tinggi (Horsak dan Heller, 2011).

Salah satu komponen yang memainkan peran penting dalam akurasi tembakan adalah anak panah atau *arrow*. *Arrow* berfungsi sebagai peluru yang digunakan untuk menembak target. *Arrow* modern tersusun dari beberapa komponen seperti *nock*, *shaft*, *fletching* dan *point*. Saat ini, penelitian dan pembuatan *arrow* masih memiliki beberapa kendala karena beberapa komponen yang dibuat masih menggunakan bahan dasar yang relatif berat dan cara pembuatan yang konvensional. Menurut penelitian Prasetyo (2015) tentang pengembangan alat panah menggunakan bahan dasar pralon menjelaskan bahwa kurangnya peralatan dan alat panah yang terlalu berat menjadi kendala dalam penelitian tersebut. Solusi yang didapat dari penelitian tersebut adalah dengan cara memodifikasi alat panah dengan material yang lebih ringan.

Desain dan karakteristik *arrow* yang ringan dan kuat akan meningkatkan performa alat panah. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik *arrow* serta parameter yang mempengaruhinya. Menurut Yong *et al.*, (2016) *arrow* dapat dibuat dari bahan dasar seperti kayu, serat kaca, aluminium,

serat karbon, dan komposit serat karbon/kaca yang berbentuk batang dan mempunyai tingkat kekakuan tertentu.

Arrow yang terbuat dari komposit digunakan pada olimpiade karena memiliki massa yang relatif lebih ringan, lentur dan kuat. Secara alami, *arrow* yang memiliki massa yang ringan akan terbang lebih cepat jika ditembakkan. Menurut Park (2008) Jika *arrow* terbang lebih cepat, maka akan semakin sedikit terpengaruh oleh hambatan, seperti angin atau hujan serta lebih banyak terkonsentrasi, dengan dampak lebih sedikit dari kesalahan. Selain itu massa *arrow* yang relatif lebih berat akan menyebabkan kelelahan dan cedera pada pemanah. Berdasarkan prinsip biomekanika, dalam memanah gaya yang bekerja pada tulang harus dimaksimalkan sementara gaya yang bekerja pada otot harus diminimalkan, hal itu bertujuan untuk mengurangi dampak cedera pada pemanah (Ahmad *et al.*, 2014). Meminimalisasi gaya yang bekerja pada otot dengan pengurangan massa *arrow* menjadi faktor utama untuk peningkatan kepresisian dan akurasi tembakan.

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk pembuatan *arrow* dan juga analisis sifat mekanis dan aerodinamis material untuk meningkatkan performa atlet dan alat pada tingkat kepresisian dan ketepatan yang tinggi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, peneliti telah mengidentifikasi berbagai masalah yang menjadi dasar dalam melakukan penelitian. Adapun identifikasi masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Pembuatan *arrow* masih menggunakan cara yang konvensional.

2. Masih sedikitnya penelitian *arrow* yang berfokus pada bentuk *arrow* yang aerodinamis dan sesuai dengan standar kekakuan.
3. *Shaft arrow* yang terbuat dari komposit serat karbon/kaca harus mempunyai tingkat kekakuan tertentu.
4. Massa *arrow* yang terlalu berat dapat menyebabkan cedera dan kelelahan pada pemanah.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus dan tidak meluas, adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan *shaft arrow* adalah serat kaca dan resin poliester.
2. Proses desain dan simulasi alir *arrow* dilakukan dengan menggunakan *Solid Works* 2016.
3. Pembuatan *shaft arrow* menggunakan cetakan berbahan dasar silikon.
4. Pembuatan hanya ditujukan pada *shaft arrow*, untuk komponen lain seperti *point*, *nock*, dan *fletching* menggunakan produk yang sudah ada di pasaran.
5. Dimensi *point*, *nock*, dan *fletching* menyesuaikan dengan *shaft arrow*.
6. Pengujian *arrow* menggunakan uji statis yakni uji kekakuan.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas dapat diambil rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana cara pembuatan *shaft arrow* dengan material komposit?
2. Bagaimana nilai hasil uji kekakuan dari *arrow* ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu :

1. Membuat prototipe *shaft arrow* dengan material komposit.
2. Menganalisis nilai hasil uji kekakuan dari *arrow*.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menambah wawasan ilmu pengetahuan dan perbendaharaan literatur tentang proses pembuatan *shaft* dan pengujian *arrow*.
2. Sebagai referensi bagi mahasiswa dalam pembuatan tugas akhir khususnya konsentrasi bahan bidang *sport science engineering*.
3. Menghasilkan suatu desain dan data tentang proses pembuatan *shaft* dan pengujian *arrow*.

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang pengaruh desain dan analisis alat panah untuk meningkatkan performa atlet dan alat masih terus dilakukan. Salah satunya penelitian Carlson (2015) tentang desain *bow and arrow* menggunakan pengukuran dimensi secara eksperimental dengan data statis dan dinamis pada panah tradisional inggris jenis *long bow*. Penelitian ini menjelaskan bahwa sistem *bow and arrow* beroperasi dengan mengubah energi deformasi busur dan tali yang disimpan menjadi energi kinetik *arrow*.

Bentuk *arrow* yang aerodimis sangat mempengaruhi kecepatan dan kestabilan *arrow* ketika terbang. Penelitian yang dilakukan oleh Miyazaki *et al.*, (2014) menggunakan *dual high-speed video cameras* sebagai media untuk merekam lintasan *arrow* dan menganalisis laju kerusakan rata-rata dengan ketentuan aliran laminar dalam Re (*Reynold Number*) yang diukur pada kisaran $(4,0 \times 10^3 < Re < 1,5 \times 10^4)$, dan koefisien *drag* sekitar 1,5 untuk $Re > 1,0 \times 10^4$. Rasio massa terhadap hambatan *arrow* pada kecepatan 60 m/s dan kecepatan *arrow* mencapai 75 m/s. Aliran yang dihasilkan adalah laminar, namun ketika koefisien *drag* naik menjadi 2,6 jenis aliran berubah menjadi turbulen.

Simulasi sangat penting untuk diterapkan sebelum pembuatan *arrow*, karena dengan adanya simulasi diharapkan kesalahan atau *error* pada proses pembuatan akan semakin mengecil, seperti halnya dalam penelitian Yong *et al.*, (2016) tentang pengembangan dan analisis *arrow* untuk panahan. Penelitian ini dilakukan dengan

mengembangkan 3 jenis varian *point* berbentuk peluru, 3D dan kerucut dengan diameter 5,46 mm untuk *shaft* berbahan dasar karbon serta 7 mm untuk *shaft* berbahan dasar serat kaca dan serat karbon. Penelitian tersebut mensimulasikan *drag force* yang dihasilkan dari 3 bentuk varian *arrow point* dengan menggunakan *Solid Works Flow Simulation*.

Hasil dari penelitian tersebut menjelaskan bahwa 3 varian *shaft* yang berbahan dasar serat kaca memiliki koefisien *drag* lebih tinggi terlepas dari geometri *point* yang digunakan.

Desain dan material *arrow* adalah parameter utama yang mempengaruhi kualitas *arrow*, namun selain parameter utama diperlukan juga parameter turunan seperti percobaan produk yang bertujuan untuk mengukur tingkat efisiensi produk dan penyesuaian desain *arrow* dengan perilaku memanah atlet.

Menurut Park (2008) perilaku memanah bergantung pada perbandingan bentuk lentur panah dengan cara menembak. Pengamatan tersebut menghasilkan data yang dapat digunakan untuk mengevaluasi model matematika dari perilaku memanah atlet.

Berdasarkan penelitian yang telah dijelaskan di atas dapat disimpulkan bahwa desain *arrow* mengacu pada keringanan massa, kekuatan dan bentuk yang aerodinamis untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh desain dan analisis kekakuan. Simulasi dan penyelerasan desain dengan perilaku memanah atlet juga patut dipertimbangkan sebagai parameter untuk mengoptimalkan model matematika *arrow*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Arrow

Arrow adalah komponen dari alat panah yang berfungsi sebagai peluru yang ditembakkan pada target, berbentuk silinder dengan salah satu ujung yang ditajamkan. Menurut Okawa *et al.*, (2013) bentuk *arrow* sangat mempengaruhi kecepatan dan ketepatan tembakan dalam membidik target, bentuk *arrow* yang aerodinamis akan meminimalkan hambatan yang disebabkan oleh arah angin.

Menurut Leach dalam Yong *et al.*, (2016) *arrow* yang baik harus dapat ditebuk pada tingkat tertentu karena *arrow* tidak akan bisa untuk menembak jika porosnya terlalu kaku, untuk itu diperlukan *arrow* yang memiliki sifat ringan, kuat dan memiliki sifat kekakuan tertentu.



Gambar 2.1 *Arrow*

Sumber: (Bowhunter-ed.com)

2.2.2 Komponen *Arrow*

Komponen *arrow* terdiri dari empat bagian seperti *shaft*, *point*, *fletching* dan *nock*.

1. *Shaft*

Shaft adalah komponen *arrow* yang berbentuk silinder memanjang. *Shaft* berperan penting dalam memberi penerbangan yang stabil ketika *arrow* ditembakkan. (Barton *et al.*, 2012).

Karakteristik *shaft arrow* yang memengaruhi kestabilan ketika *arrow* terbang adalah berat dan kekakuan. Kedua parameter tersebut sangat bergantung pada desain dan material. *Shaft* berbahan dasar komposit memberikan hasil kekakuan yang relatif ringan jika dibandingkan dengan *shaft* aluminium, selain itu *shaft* berbahan dasar komposit juga memungkinkan konstruksi *arrow* lebih aerodinamis.

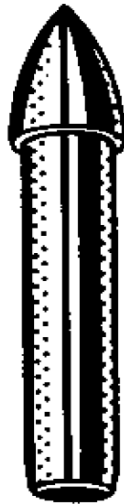


Gambar 2.2 Desain *shaft arrow* material komposit serat karbon

Sumber: (Bowhunter-ed.com)

2. *Point*

Point adalah ujung dari *arrow* yang berbentuk silinder dengan salah satu sisi ujung berrongga dan sisi lainnya berbentuk seperti kerucut yang ditajamkan. *Point* terbuat dari baja atau kuningan.

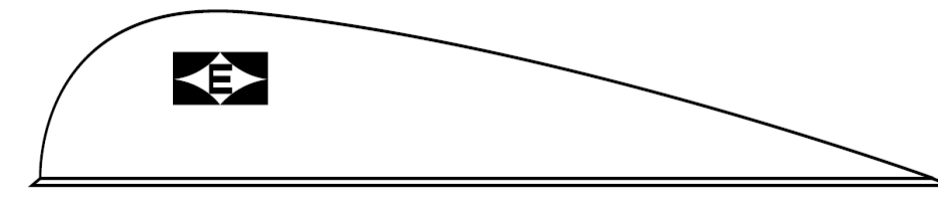


Gambar 2.3 *Arrow point*

Sumber: (Eastonarchery.com)

3. *Fletching/vanes*

Fletching, terdiri dari tiga atau empat sirip dari berbagai bahan, bentuk dan ukuran. Bahan dasar dari *fletching* terbuat dari *rubber* atau bulu hewan unggas. Jika *arrow* menggunakan tiga *fletching* dan dipasang di setiap sisi *shaft* yang berbentuk silinder artinya satu buah *fletching* memiliki sudut 120° . Sedangkan jika menggunakan 4 buah *fletching* maka sudut di setiap *fletching* adalah 90° .

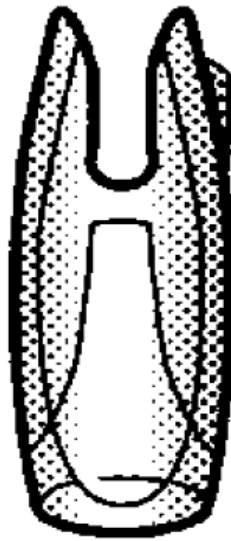


Gambar 2.4 *Fletching*

Sumber: (Eastonarchery.com)

4. *Nock*

Nock adalah komponen yang terletak di bagian belakang panah yang terbuat dari plastik dan dipasang ke dalam *shaft*.



Gambar 2.5 *Nock*

Sumber: (Eastonarchery.com)

2.2.3 Termoset

Termoset merupakan salah satu turunan dari bahan polimer yang pembuatannya dengan memanfaatkan panas. Polimer termoset lebih kuat dan kaku daripada polimer termoplastik, pada umumnya polimer termoset dapat digunakan pada temperatur yang lebih tinggi. Pembuatan polimer termoset menggunakan metode penuangan material dalam cetakan atau biasa disebut dengan metode *molding*.

Menurut Hadi (2018) sejumlah metode pencetakan yang berbeda digunakan untuk melibatkan kombinasi reaksi kimia dalam cetakan sehingga ikatan melintang yang dihasilkan ketika bahan berada di dalam cetakan. Ada tiga tipe bahan yang biasa digunakan pada pembuatan termoset. Tiga tipe bahan pembuatan termoset dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Nama Dagang, Sifat-Sifat, dan Pemakaian Termoset

(Callister, 2007 : 551)

No.	Tipe Bahan	Nama Dagang	Sifat-Sifat Utama	Pemakaian
1	<i>Epoxies</i>	<i>Araldite,</i> <i>Epikote,</i> <i>Epon, Epi-</i> <i>rez,</i> <i>Lekutherm,</i> <i>Lytex</i>	Kombinasi sifat-sifat mekanis dan ketahanan korosi yang bagus, dimensi stabil dan sifat adhesi baik.	Cetakan untuk listrik, adesif-adesif, bungkus pelindung yang digunakan dengan serat kaca.
2	<i>Phenolics</i>	<i>Bakelite,</i> <i>Amberol,</i> <i>Arofone,</i> <i>Duite,</i> <i>Resinox.</i>	Stabilitas panas bagus (>150°C), dapat digabung dengan banyak resin, pengisi dan lainnya, harga relatif murah.	<i>Housing</i> motor, telepon, distributor pada otomotif dan perlengkapan listrik.
3	<i>Polyester</i>	<i>Aropol,</i> <i>Baygal,</i> <i>Derakane,</i> <i>Laminac,</i> <i>Selectron</i>	Dapat digunakan untuk temperatur ruang yang tinggi, mudah diperkuat dengan serat dan harganya relatif lebih murah.	Helm, <i>motor boat</i> dari <i>fiberglass</i> , komponen badan mobil, kursi-kursi, kipas angin.

2.2.4 Resin Poliester

Resin poliester merupakan salah satu produk termoset yang banyak digunakan dan dipasarkan di dunia khususnya di Indonesia. Salah satu ciri dari resin poliester adalah memiliki berbagai ragam warna seperti merah, putih, kekuning-kuningan dan hijau yang akan terlihat transparan jika diaplikasikan pada lapisan yang tipis.

Penggunaan resin poliester memerlukan penambahan katalis yang berfungsi sebagai pengikat untuk proses pengerasan. Proses pengerasan resin ini akan dimulai setelah dicampur rata dengan katalis dengan perbandingan tertentu. Kekurangan resin ini adalah memerlukan bahan campuran lain seperti *mirror glaze* dan serat kaca karena tanpa bahan tambahan ini lapisan resin poliester yang sudah mengeras akan mudah retak, patah atau rusak.

Menurut Callister (2007) resin jenis poliester memiliki sifat sebagai berikut massa jenis $1,23 \text{ gr/cm}^3$, *modulus young* 2,8 - 4,1 GPa dan kekuatan tarik sebesar 48,3 – 72.4 MPa serta *yield strenght* 62,1 MPa. Sifat lain resin poliester adalah permukaan akhir yang tetap lengket jika terkena udara.

2.2.5 Serat Kaca

Serat kaca merupakan material serat sintetis yang dapat digunakan sebagai bahan penguat material komposit. Menurut Basuki (2013) serat kaca merupakan bahan *amorf* dalam bentuk padatan atau cairan serta tidak mempunyai struktur kristalin, jenis serat kaca ada dua macam yaitu serat kaca menerus (*continuous fiber*) dan serat kaca tidak menerus (*discontinuous fiber*) dengan titik lebur mencapai $1260 \text{ }^\circ\text{C}$. Menurut Magarajan *et al.*, (2018) serat kaca dibedakan menjadi

beberapa jenis seperti serat *E-glass* yang digunakan untuk perangkat elektrik, serat *C-glass* yang digunakan untuk komponen pada lingkungan korosif serta serat *S-glass* yang digunakan untuk aplikasi struktural.

Salah satu matriks pengikatan yang sering dipadukan dengan serat kaca adalah resin jenis poliester. Paduan antara serat kaca dan poliester akan menjadi komposit yang biasa disebut dengan *Glass Fiber Reinforced Polyester* (GFRP). Menurut Manikandan dan Rajkumar (2016) sifat mekanik *Glass Fiber Reinforced Polyester* (GFRP) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Sifat Mekanik *Glass Fiber Reinforced Polyester* (GFRP)

No.	Komposit	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Compressive Strength</i> (MPa)	<i>Flexural Strength</i> (MPa)	<i>Hardness</i> (HB)	<i>Impact Energy</i> (J)
1	A	36,91	94,2	133	40	4
2	B	52,62	95,8	172,3	41	7
3	C	60,62	105,79	190	42	7
4	D	54,1	92,45	185	40	4
5	E	50	104,1	183	41	6

Keterangan :

A = Material komposit dengan perbandingan resin dan serat 85% : 15%

B = Material komposit dengan perbandingan resin dan serat 80% : 20%

C = Material komposit dengan perbandingan resin dan serat 75% : 25%

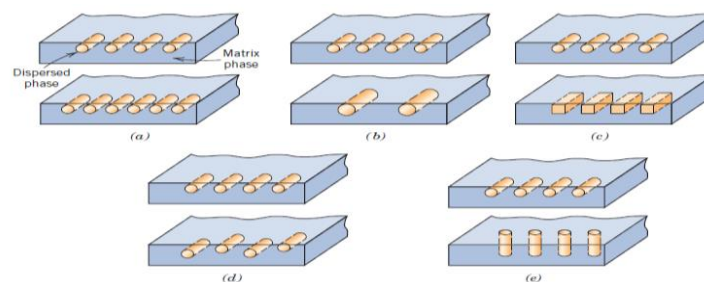
D = Material komposit dengan perbandingan resin dan serat 70% : 30%

E = Material komposit dengan perbandingan resin dan serat 65% : 35%

Aplikasi dari serat kaca sangat luas, mulai dari bidang konstruksi, dirgantara, transportasi, sektor industri, dan bidang olahraga khususnya olahraga panahan. Penggunaan serat kaca dicampurkan dengan matriks pengikat (termoset) dengan tujuan menciptakan struktur yang kuat dan rekat.

2.2.6 Material Komposit

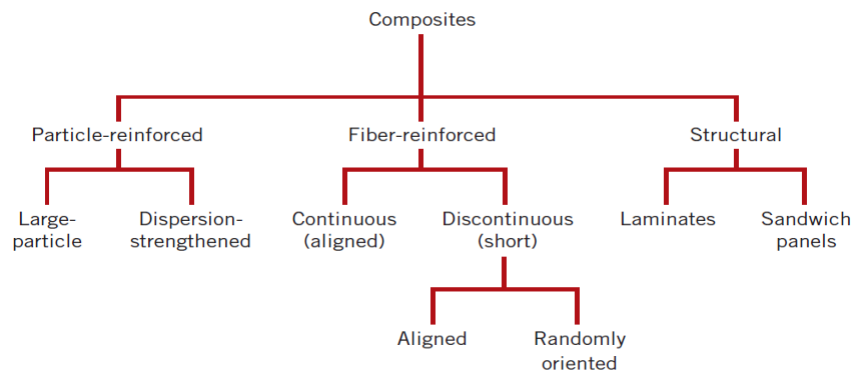
Komposit merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara mikroskopis, dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan (Oroh *et al.*, 2013). Definisi komposit menurut Hadi (2017) adalah dua bahan yang berbeda yang diikat bersama dimana salah satu sebagai matriks dan yang lainnya mengelilingi serat-serat atau partikel-partikel lainnya. Istilah komposit dikenal pula sebagai bahan yang terdiri dari dua fasa, pertama disebut dengan fasa matriks (*matrix*) dan yang kedua disebut dengan fasa sebaran (*dispersed phase*).



Gambar 2.6 Skema geometris partikel komposit

Sumber: (Callister, 2007)

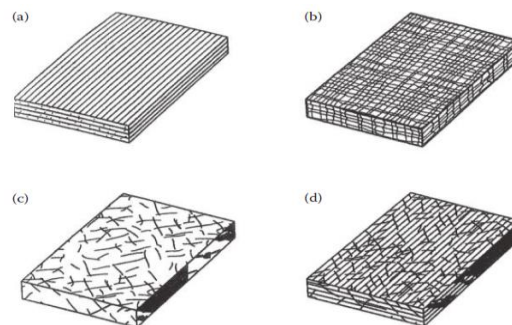
Menurut Callister (2007) komposit bisa diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu komposit yang diperkuat serat, komposit diperkuat partikel atau sebaran, dan komposit struktur.



Gambar 2.7 Klasifikasi tipe komposit

Sumber: (Callister, 2007)

Komposit yang diperkuat oleh serat merupakan salah satu material komposit yang paling lama dan paling banyak digunakan. Komposit polimer serat telah banyak diaplikasikan dalam bidang yang luas mulai dari penerbangan, perpipaan sampai peralatan olahraga (Abdurohman dan Marta, 2017). Menurut Gibson (2011) Penguatan berserat sangat efektif karena banyak bahan yang akan menjadi lebih kuat dan kaku dalam bentuk serat daripada dalam bentuk *bulk* atau tanpa serat.



Gambar 2.8 Jenis *fiber-reinforced composites*.

(a) *Continuous fiber composite*, (b) *woven composite*, (c) *chopped fiber composite*, dan (d) *hybrid composite*.

Sumber: (Gibson, 2011)

Parameter yang mempengaruhi kekuatan komposit adalah perbandingan resin dan matriks. Menentukan komposisi material komposit dapat menggunakan

perbandingan fraksi volume. Fraksi volume komposit terdiri dari tiga bagian yaitu fraksi volume matriks, fraksi volume penguat, dan fraksi volume komposit keseluruhan. Menurut Oroh et al., (2012) untuk menghitung fraksi volume, parameter yang harus diketahui adalah berat jenis resin, berat jenis serat, berat komposit dan massa serat. Adapun fraksi massa serat dan fraksi volume serat dapat ditentukan dengan persamaan:

$$M_f = \frac{m_f}{m_c} = \frac{\rho_f v_f}{\rho_c v_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} V_f \dots\dots\dots (2. 1)$$

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} W_f = 1 - V_m \dots\dots\dots (2. 2)$$

Komposit yang sudah diketahui massa, densitas serat dan matriks maka fraksi volume dan fraksi massa serat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_f = \frac{w_f/\rho_f}{w_f/\rho_f + w_m/\rho_m} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

M_f : Fraksi massa serat (%)

m_f : Massa serat (g)

m_c : Massa komposit (g)

ρ_c : Densitas serat (g/cm³)

ρ_f : Densitas komposit (g/cm³)

V_f : Fraksi volume serat (%)

V_m : Fraksi volume matriks (%)

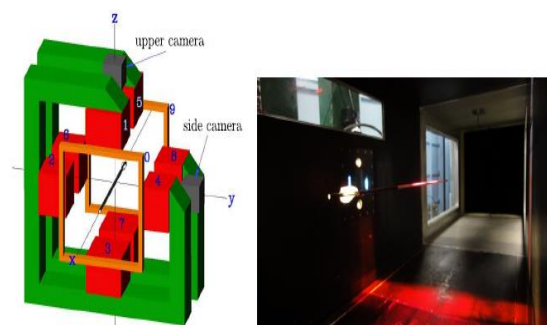
v_f : Volume serat (cm³)

v_m : Volume matriks (cm³)

2.2.7 Aerodinamika

Aerodinamika diambil dari kata *aero* berasal dari bahasa Yunani yang artinya adalah udara, dan dinamika yang dapat diartikan sebagai kekuatan atau tenaga. Aerodinamika juga dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari ataupun mengkaji tentang sifat-sifat udara, reaksi-reaksi yang terjadi karena gerakan udara yang dinamis terhadap benda yang dilaluinya atau gerakan benda di dalam udara. Menurut Prihadnyana *et al.*, (2017) aerodinamika adalah ilmu pengetahuan untuk mengetahui akibat-akibat yang ditimbulkan oleh udara atau gas-gas lain yang bergerak, dalam olahraga memanah aerodinamika akan sangat berpengaruh terhadap laju dan kestabilan *arrow* ketika ditembakkan.

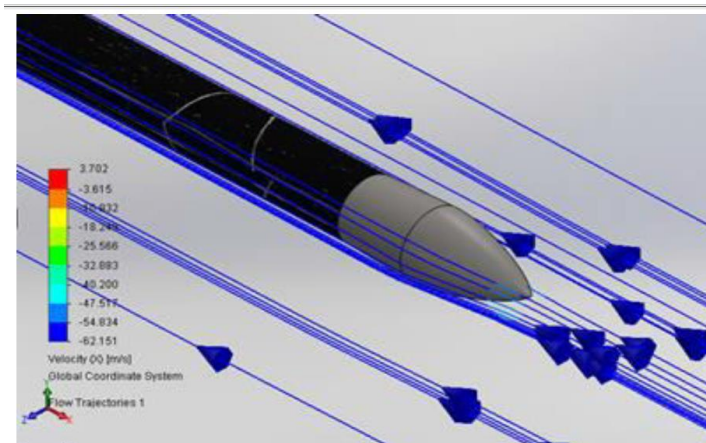
Miyazaki *et al.*, (2014) menyelidiki aerodinamika pada *arrow* dengan melakukan dua jenis pengukuran yaitu pengukuran dukungan dan pengukuran gangguan. *Drag*, *lift* dan momen *pitch* yang diberikan pada *arrow* diukur di terowongan angin (*wind tunnel*) untuk mengetahui pengaruh desain *arrow* yang aerodinamis. Diperlukan *dual high-speed video cameras* sebagai media untuk merekam lintasan (*trajectory arrow*) dan menganalisis laju kerusakan rata-rata dengan ketentuan aliran yang diizinkan.



Gambar 2.9 *Wind tunnel* dan pemasangan *high speed camera*

Sumber: (Miyazaki *et al.*, 2013)

Yong *et al.*, (2016) mengkaji aspek aerodinamika pada *arrow* menggunakan metode simulasi alir dengan bantuan aplikasi *Solid Works Flow Simulation* dengan memvariasikan material *shaft arrow* dan variasi bentuk *arrow point*. Tujuan dari simulasi tersebut adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh desain *arrow* terhadap *drag force* ketika *arrow* diterbangkan.



Gambar 2.10 Simulasi *aerodynamic arrow*

Sumber: (Yong *et al.*, 2016)

Nilai *drag force* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan matematis. *Drag force* merupakan gaya yang melawan gerak suatu benda. Secara umum *drag force* dapat terjadi akibat adanya perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang *arrow*.

Drag pada sebuah benda dapat dipecah menjadi dua bagian, yaitu *drag* yang diakibatkan oleh gaya gesek dinamakan *drag* gesekan dan *drag* yang diakibatkan oleh tekanan dinamakan *drag* tekanan. Sebagian besar *drag* dari suatu benda didapat dari hasil eksperimen yang dilakukan di terowongan angin berulang kali. (Yogatama dan Trisno, 2018 : 10).

Besar *drag force*, dapat ditentukan menggunakan koefisien *drag* (C_D) sebagai acuan. Menurut Miyazaki *et al.*, (2014) ada dua metode untuk menentukan C_D , yang pertama didasarkan pada rasio komponen kecepatan horizontal pada *dual high speed camera* dan yang kedua memanfaatkan perubahan sikap panah dengan percepatan gravitasi.

Kedua metode mengasumsikan bahwa gaya yang bekerja pada panah adalah gaya gravitasi dan *drag force*, pada penelitian tersebut diasumsikan tidak ada pengangkatan yang diberikan pada *arrow* atau bisa dikatakan tidak ada gaya angkat (*lift force*). Menurut Ghurri (2014) secara matematis koefisien *drag* (C_D) dapat ditulis dengan persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$C_D = \frac{2 F_D}{\rho v^2 A} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan

- C_D = Koefisien *drag* .
- F_D = *Drag force* (N).
- ρ = Massa jenis udara (kg/m^3).
- V = Kecepatan aliran *arrow* (m/s).
- A = Luas area (m).

Pembuktian dari persamaan koefisien *drag* (C_D) dapat dicari dengan melakukan langkah-langkah penghitungan sebagai berikut :

1. Menghitung massa jenis udara (ρ).

Menurut Muchammad (2006) hal pertama dalam menentukan koefisien *drag* (C_D) adalah dengan terlebih dahulu menentukan massa jenis udara (ρ). Massa jenis udara (ρ) dapat ditulis dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$\rho = \frac{M P}{R T} \dots\dots\dots (2.5)$$

Diketahui :

- ρ = Massa jenis udara (kg/m^3).
- M = Tetapan massa udara dalam kondisi 1 atm (28,8 g/mol).
- P = Tekanan (1 atm).
- R = Konstanta gas ($0,082 \text{ L. atm.K}^{-1}. \text{mol}^{-1}$).
- T = Temperatur ($20^\circ\text{C} = 293 \text{ }^\circ\text{K}$).
- V = Kecepatan aliran (m/s).

Sehingga,

$$\rho = \frac{M P}{R T}$$

$$\rho = \frac{(28,8 \text{ g/ mol})(1 \text{ atm})}{(0,082 \text{ L.atm.K}^{-1}. \text{mol}^{-1}) 293 \text{ K}}$$

$$\rho = 1,2 \text{ g/L}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

2. Menentukan debit aliran (q).

Menentukan debit aliran udara dengan menggunakan tetapan persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$q = \frac{\rho v^2}{2} \dots\dots\dots (2.6)$$

3. Menentukan F_D dalam kondisi *steady*.

Menentukan besar nilai F_D dalam kondisi *steady* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$F_D = C_D q A \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Sehingga,

$$C_D = \frac{F_D}{q A} \quad (\text{substitusi nilai } q \text{ ke persamaan 2.6})$$

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{\rho v^2}{2} A} = C_D = \frac{2 F_D}{\rho v^2 A} \quad (\text{terbukti})$$

2.2.8 Pengukuran Dimensi *Shaft Arrow*

Pengukuran dimensi *shaft* dibagi menjadi pengukuran diameter *shaft* dan pengukuran panjang *shaft*.

1. Diameter *shaft*

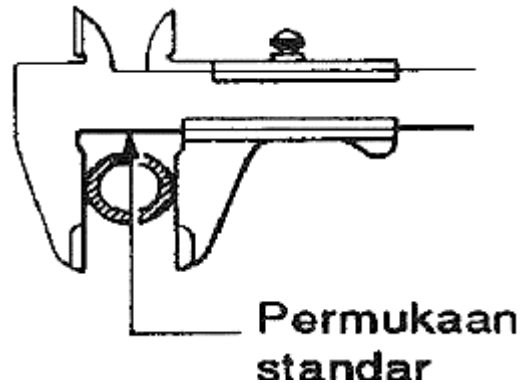
Pengukuran diameter *shaft* menggunakan alat ukur mistar insut atau *vernier caliper*. Berikut langkah-langkah pengukuran diameter *shaft* menggunakan mistar insut :

A. Membuka rahang mistar insut dengan cara mengendorkan sekrup pengunci, menggeser rahang geser ke kanan sehingga benda yang diukur dapat masuk di antara kedua rahang (antara rahang geser dan rahang tetap).

B. Meletakkan benda yang akan diukur di antara kedua rahang.

C. Menggeser rahang ke kiri sehingga benda yang diukur terjepit oleh kedua rahang sekaligus mengunci sekrup pengunci.

D. Membaca dan mencatat hasil pengukuran.



Gambar 2. 11 Pengukuran diameter *shaft*

Sumber : (Tim Fakultas Teknik UNY, 2004: 18)

Standar diameter *shaft* menurut penelitian Yong *et al.*, (2016) adalah 5,46 mm untuk *shaft* berbahan dasar karbon dan 7 mm untuk *shaft* berbahan dasar komposit.

2. Panjang *shaft*

Pengukuran panjang *shaft* menggunakan meter ukur. Cara pengukuran panjang dengan menggunakan meter ukur adalah dengan mengaitkan bagian ujung meter ukur pada *point arrow*. Kemudian menarik *roll* meter ukur sampai ke *nock arrow* selanjutnya mencatat nilai dari hasil pengukuran tersebut. Panjang *arrow* yang diizinkan menurut standar adalah 27 Inch sampai dengan 32 Inch. Namun standar panjang yang digunakan dalam kompetisi memanah adalah 28,5 Inch.

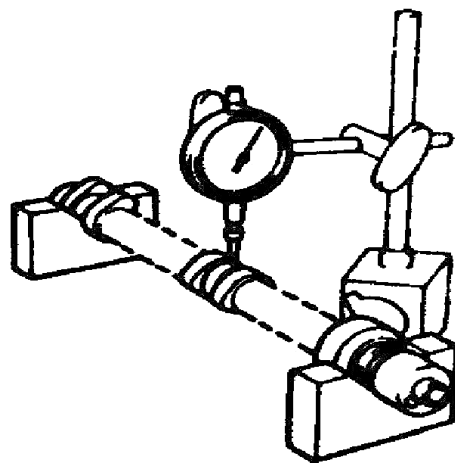
2.2.9 Pengukuran Kerataan *Shaft Arrow*

Pengukuran kerataan *shaft* menggunakan dial indikator, agar pemeriksaan memberikan hasil yang teliti maka pelaksanaannya harus dilakukan di atas meja rata. Ketika proses pengukuran di antara benda ukur dengan landasan jam ukur

harus diberi penopang berupa v-blok atau sejenisnya agar gerakan dari jam ukur dial indikator tetap stabil sehingga tidak merubah posisi penekanan sensor.

Berikut langkah-langkah pengukuran kerataan *shaft arrow* menggunakan dial indikator :

1. Meletakkan dua v-blok di atas meja rata kemudian meletakkan *shaft* di antara kedua v-blok tersebut.
2. Mengatur tinggi dial indikator hingga menyentuh permukaan *shaft*.
3. Mengkalibrasi dial indikator.
4. Menandai titik acuan *shaft*. Memutar *shaft* 360° hingga kembali lagi ke titik acuan dan mencatat simpangan ketidakrataan *shaft*.



Gambar 2. 12 Pengukuran kerataan *shaft*

Sumber : (Tim Fakultas Teknik UNY, 2004 : 18)

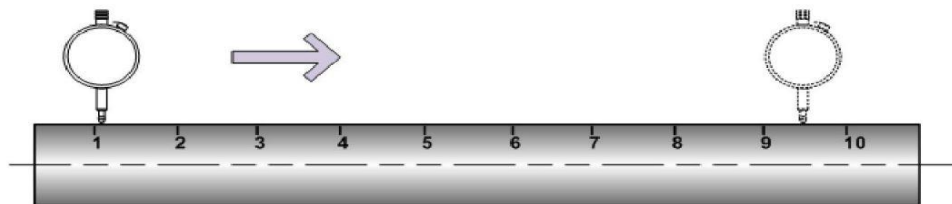
Standar kerataan disesuaikan dengan bahan dasar pembuatan *shaft arrow* dan standar masing-masing produsen pembuat *arrow*, contohnya seperti *arrow* yang

terbuat dari *shaft* berbahan dasar kayu ramin memiliki simpangan kerataan sebesar 0,85 mm. Sedangkan *arrow* buatan Musen dengan bahan dasar komposit memiliki simpangan kerataan sebesar 0,35 mm.

2.2.10 Pengukuran Kelurusan *Shaft Arrow*

Suatu permukaan benda dikatakan lurus bila bidang permukaan tersebut berbentuk garis lurus seandainya digambarkan dalam bentuk garis. Suatu benda yang diperiksa kelurusan permukaannya dalam panjang tertentu, ternyata dalam pemeriksaannya tidak ditemukan adanya penyimpangan bentuk ke arah horizontal atau vertikal yang berarti. (Nugraha , 2018 : 18).

Pemeriksaan kelurusan menggunakan dial indikator bertujuan untuk mengetahui besarnya penyimpangan dari kelurusan suatu permukaan benda yang diukur. Karena setiap perubahan jarak yang dialami oleh sensor jam ukur akan ditunjukkan oleh jarum penunjuk jam ukur tersebut.



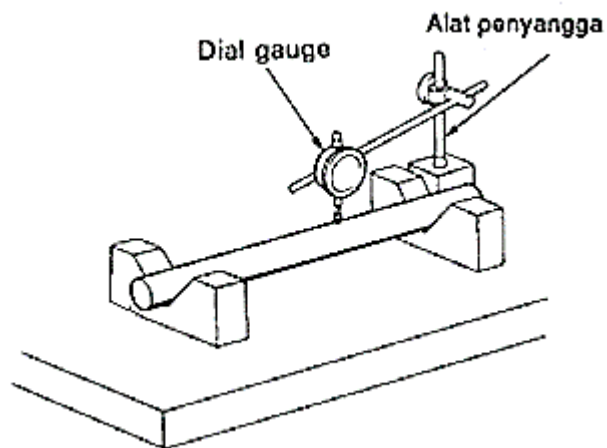
Gambar 2.13 Ilustrasi pengukuran kelurusan *shaft*

Sumber : (Nugraha, 2018 : 19)

Pemeriksaan kelurusan dengan dial indikator ini bisa digunakan untuk melihat kelurusan dalam arah horizontal (penyimpangan ke kiri atau ke kanan) dan

kelurusan dalam arah vertikal (penyimpangan ke atas atau ke bawah). Berikut langkah-langkah pengukuran kerataan *shaft arrow* menggunakan dial indikator :

1. Meletakkan dua v-blok di atas meja kerja mesin frais, dan meletakkan *shaft* di atas dua v-blok tersebut.
2. Menempelkan alat penyangga pada mesin frais.
3. Mengatur tinggi dial indikator hingga menyentuh permukaan *shaft*.
3. Mengkalibrasi dial indikator.
4. Menggerakkan *handle* mesin frais sehingga *shaft* bergerak secara horizontal sesuai dengan jarak yang diinginkan.
5. Mencatat simpangan ketidaklurusan *shaft*.



Gambar 2.14 Pengukuran kelurusan *shaft*

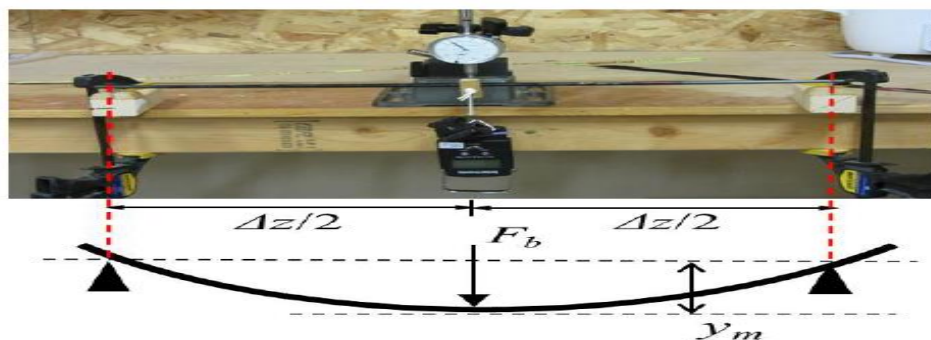
Sumber : (Tim Fakultas Teknik UNY, 2004 : 28)

Standar kelurusan disesuaikan dengan bahan dasar pembuatan *shaft arrow* dan standar masing-masing produsen pembuat *arrow*, contohnya seperti *arrow* yang terbuat dari *shaft* berbahan dasar kayu ramin memiliki simpangan kelurusan sebesar 0,90 mm. Sedangkan *arrow* buatan Musen dengan bahan dasar pembuatan *shaft* menggunakan komposit memiliki simpangan kelurusan sebesar 0,02 mm.

2.2.11 Spine Arrow

The Archery Trade Association (ATA) atau bisa disebut dengan *Archery Manufacturers Organization* (AMO) menyepakati bahwa untuk mengukur kekakuan *arrow* dengan satuan dan cara yang berbeda. Satuan yang digunakan untuk nilai kekakuan *arrow* disebut dengan Spine.

Spine *arrow* dapat diukur dengan cara penyeimbangan yang sederhana dengan memberi beban yang diletakan di titik tengah *arrow* dan pemberian tumpuan pada kedua ujung *arrow* dengan tinggi yang sama.



Gambar 2.15 Pengukuran Spine *arrow*

Sumber: (Meyer, 2015)

Menurut buku manual pengujian *arrow* menjelaskan bahwa standar pengujian yang diterbitkan oleh AMO menggunakan pembebanan sebesar 2 Lb pada *arrow* yang memiliki panjang 26 Inch. Sedangkan menurut standar ASTM

menggunakan pembebanan sebesar 1,94 Lb pada *arrow* yang memiliki panjang 28 Inch.

Tabel 2.3 Standar Pengujian *Arrow* Menurut ASTM dan AMO
Sumber: (arrowanalyzer.com)

Name	Value
Readout	
Weight (gram/grain)	0.1 g / 1 gn
Spine (ASTM/AMO)	1.0 / 0.1
Minimum load	1.0 g / 16 gn
Maximum load	750 g on each side
Spine range ASTM	approx. 2500 – 250
Spine range AMO	approx. 11 – 125
Maximum arrow weight	99.9 g / 1541 gn
Weight units	gram, grain
Spine units	AMO, ASTM
Arrow rests (stainless steel)	
Minimum arrow length	~66 cm / 26 inch
Maximum arrow diameter	10 mm / ~0.39 inch
Tip hole diameter	5 mm / ~0.2 inch
Permissible ambient conditions	10°C to 30°C
Air humidity	max. 80 % relative (non condensing)
Dimensions (W x D x H)	670 x 30 x 51
Net weight approx. (g)	400
Power supply	USB 5V DC 100mA
Stabilization time	about 2 sec.
Display	0.96" OLED

Standar Spine dibedakan berdasarkan panjang *shaft arrow*, semakin rendah nilai defleksi per Inch *arrow*, maka *arrow* tersebut akan semakin kaku. Nilai Spine *arrow* dapat dicari dengan persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$\text{Spine} = 1000 Y_m \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan

Spine = Spine *arrow* (1000 kali defleksi dalam satuan Inch)

Y_m = Defleksi *arrow* (Inch)

Untuk mengetahui standar nilai Spine maka salah satu pembuat *arrow* yakni Easton mengeluarkan standar nilai Spine *arrow* sebagai berikut.

Spine	Stock Length
<i>Deflection in Inches</i>	<i>Inches</i>
1.684	27
1.403	27.5
1.079	28.5
1.044	29
0.880	29
0.874	30
0.756	30
0.733	31
0.623	31
0.610	32
0.531	32

Gambar 2.16 *Standart Spine*

Sumber : (Eastonarchery.com)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Waktu dan tempat penelitian perlu direncanakan sehingga penelitian yang akan dilakukan tersusun sesuai rencana, sistematis dan efisien. Waktu dan tempat yang direncanakan sebagai berikut:

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil, tahun akademik 2019/2020. Interval waktu pelaksanaan pembuatan alat adalah bulan Desember sampai bulan Januari 2020. Pengolahan serta analisis data dilakukan pada bulan Januari 2020.

3.1.2 Tempat Penelitian

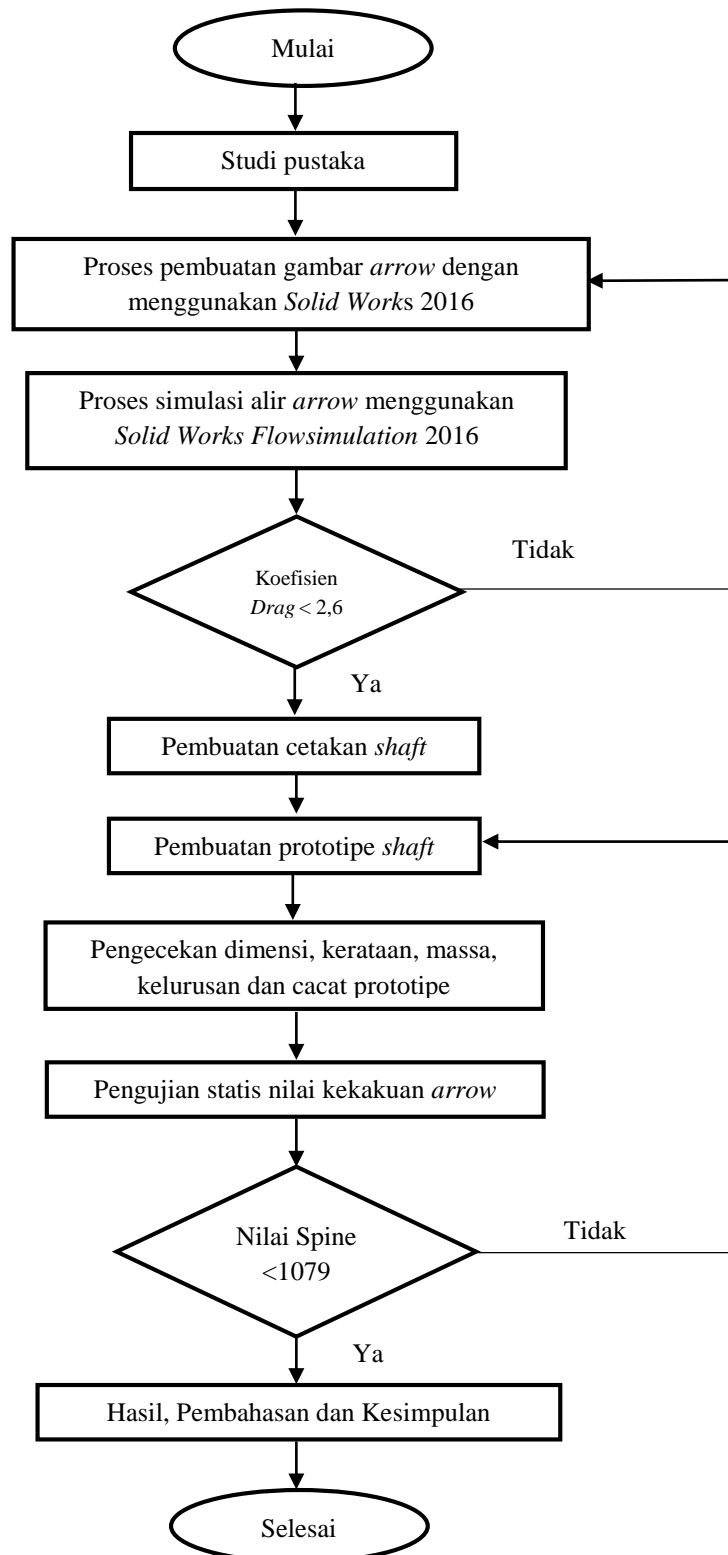
Tempat penelitian yang akan digunakan adalah Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Semua kegiatan yang berkaitan dengan penelitian dimulai dari proses simulasi, pembuatan prototipe, sampai dengan pengujian nilai kekakuan *arrow* dilakukan di tempat tersebut.

3.2 Desain Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Produk yang dibuat adalah 10 variasi prototipe *shaft arrow* berdasarkan kenaikan massa serat yang sudah digabung dengan semua komponen dan diuji berdasarkan uji kekakuan dengan menggunakan standar ASTM F2031-05.

3.2.1 Alur Penelitian

Alur penelitian dalam pembuatan *shaft arrow* dapat dijelaskan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Alur penelitian

3.2.2 Proses Penelitian

Mengacu pada diagram alir, pembuatan prototipe *shaft arrow* pada penelitian dapat dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut akan dibahas mendetail pada poin-poin berikut:

A. *Study* pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan cara mengumpulkan dan mempelajari beberapa penelitian yang relevan dari artikel nasional maupun internasional. Referensi penelitian yang digunakan adalah analisis penelitian dan pengujian *arrow*, aplikasi hukum fisika pada panahan, dan material komposit.

B. Proses penggambaran *arrow*

Proses pembuatan gambar *arrow* menggunakan *Solid Works* 2016. Komponen-komponen yang ditampilkan dalam bentuk gambar antara lain *shaft*, *nock*, *fletching*, *point* dan *arrow* yang sudah digabung dengan semua komponen.

C. Proses simulasi

Penelitian ini menggunakan simulasi alir dengan menggunakan aplikasi *Solid Works Flow Simulation* dan fluida yang digunakan pada simulasi adalah udara. Langkah pertama dalam simulasi adalah pengaturan parameter seperti kecepatan udara dan jenis aliran yang digunakan (aliran eksternal).

Kemudian, tahap selanjutnya adalah *meshing grid* dan pemilihan simulasi produk dengan mencentang *average drag force*. Kriteria simulasi berhasil ketika koefisien *drag force* mempunyai nilai kurang dari 2,6 jika nilai koefisien *drag force* lebih dari 2,6 maka kembali lagi pada proses penggambaran ulang.

D. Pembuatan cetakan *shaft arrow*

Metode yang digunakan dalam pembuatan komposit adalah metode *molding* maka dari itu diperlukan *molding* atau cetakan untuk membentuk *shaft arrow*. Pembuatan cetakan menggunakan bahan dasar silikon *rubber*.

E. Pembuatan prototipe *shaft arrow*

Pembuatan *shaft arrow* menggunakan material resin, katalis, erosil, serat kaca dan dempul. Penambahan dempul pada pembuatan *shaft* berfungsi sebagai *filler* atau pengisi pada bagian permukaan *shaft*. Dempul digunakan sebagai penambal bagian yang berlubang akibat terjebaknya udara ketika proses pembentukan komposit. Merujuk pada penelitian Susanto *et al.*, (2019) menjelaskan bahwa fungsi dempul pada pembuatan material komposit adalah agar permukaan material komposit yang dihasilkan dari cetakan halus dan rata sehingga dapat dilakukan pengerjaan lebih lanjut.

F. Komposisi bahan

Pemilihan 10 variasi massa serat didasarkan pada percobaan awal pembuatan komposit dengan rentang massa serat antara 17 hingga 26 gram. Alasan pemilihan rentang massa tersebut didasarkan pada percobaan awal dengan melakukan pembuatan material komposit dari massa awal serat 15 gram hingga massa serat 27 gram dan massa matriks dibuat konstan sebesar 40,3 gram.



Gambar 3.2 Massa matriks

Komposit dengan massa serat 15 hingga 16 gram dianggap tidak bisa menghasilkan prototipe dengan bentuk yang silindris dikarenakan serat dan matriks tidak bisa menyatu dengan sempurna. Ada beberapa bagian yang tidak terisi oleh serat dan matriks sehingga komposit dengan massa serat tersebut patah ketika dilakukan pelepasan dari cetakan.



Gambar 3. 3 Komposit *shaft* dengan massa serat 15 gram

Sedangkan komposisi komposit dengan massa serat 17 hingga 26 gram dianggap komposisi yang sesuai karena pada variasi tersebut menghasilkan komposit dengan bentuk yang silindris dan tidak patah ketika material komposit tersebut dilepas.

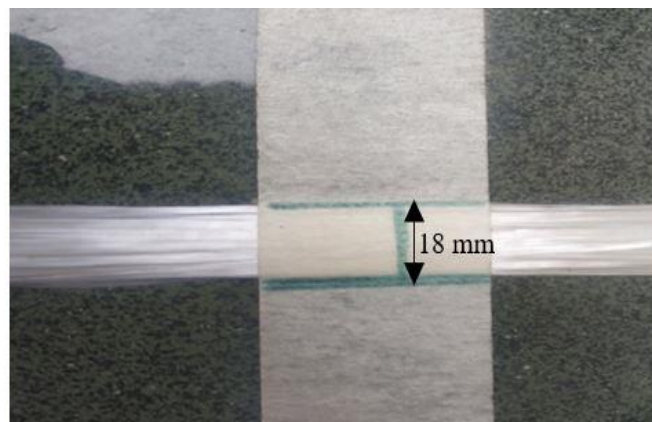
Kemudian pada percobaan dengan variasi massa serat 27 gram, ketika serat dimasukkan ke dalam rongga cetakan, arah serat cenderung tidak beraturan dan ketika dilakukan penuangan, rongga cetakan tidak mempunyai cukup ruang sehingga material komposit tersebut tidak bisa terbentuk.

Penghitungan komposisi komposit dengan cara melakukan penimbangan daripada fraksi massa bahan-bahan yang akan digunakan. Massa total komposit (m_c) merupakan gabungan antara massa serat (m_f) dan massa matriks (m_m). Kemudian fraksi massa serat dilambangkan dengan $F M_f$ (%) dan fraksi massa matriks dilambangkan dengan $F M_m$ (%). Berikut data komposisi bahan dari 10 variasi prototipe yang akan dibuat :

Tabel 3.1 Komposisi Bahan

No	m_f (gram)	m_m (gram)	m_c (gram)	F M_f (%)	F M_m (%)
1	17	40,3	57,3	29,7	70,3
2	18	40,3	58,3	31,0	69,0
3	19	40,3	59,3	32,0	68,0
4	20	40,3	60,3	33,2	66,8
5	21	40,3	61,3	34,3	65,7
6	22	40,3	62,3	35,4	64,6
7	23	40,3	63,3	36,4	63,6
8	24	40,3	64,3	37,4	62,6
9	25	40,3	65,3	38,3	61,7
10	26	40,3	66,3	39,3	60,7

Langkah selanjutnya adalah pengukuran lebar serat dan panjang serat yang dibuat konstan sebesar 770 mm (sesuai dengan panjang pola). Pengukuran lebar serat diukur menggunakan mistar, dengan terlebih dahulu menyelotip bagian permukaan serat secara vertikal.



Gambar 3.4 Pengukuran lebar serat

Berikut data lebar serat dari 10 variasi prototipe yang akan dibuat :

Tabel 3.2 Lebar serat

No	Massa serat (gram)	Lebar serat (mm)
1	17	18
2	18	20
3	19	22
4	20	24
5	21	26
6	22	28
7	23	30
8	24	32
9	25	34
10	26	36

G. Pengecekan dimensi, kelurusan dan cacat produk

Pengecekan dimensi prototipe menggunakan mistar ingsut untuk mengecek diameter dan meter ukur untuk mengecek panjang prototipe. Pengecekan kelurusan prototipe menggunakan dial indikator. Pengecekan kecacatan material berupa ketidakrataan permukaan produk dilakukan dengan menggunakan mikroskop.

H. Pengujian statis nilai kekakuan

Validasi prototipe menggunakan standar kekakuan yang dikonversi menjadi *Spine* dengan panjang 28.5 Inch sesuai dengan Gambar 2.16, jika nilai *Spine arrow* tidak melebihi batas yakni 1079 maka penelitian dilanjutkan. Namun jika nilai *spine* melebihi batas maksimal maka proses penelitian kembali pada tahap pembuatan produk.

I. Hasil, pembahasan dan kesimpulan

Data yang dihasilkan berupa tabel dan grafik yang akan digunakan untuk proses penghitungan nilai kekakuan dan *drag force* (F_D). Kesimpulan yang akan didapat pada penelitian ini adalah berupa pernyataan bahwa prototipe *arrow* yang dibuat dari material komposit sesuai standar atau tidak, yang didasarkan pada nilai kekakuan dan simulasi alir.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Silikon cair

Silikon cair dengan merek dagang *Silicone Rubber RTV-52* digunakan sebagai bahan dasar pembuatan cetakan *shaft arrow*, pada pembuatan cetakan membutuhkan 2 kg atau dua buah silikon cair.



Gambar 3.5 Silikon cair

b. Resin poliester dan katalis

Resin poliester dan katalis digunakan sebagai bahan dasar matriks pada pembuatan komposit *shaft arrow*.



Gambar 3.6 Resin poliester dan katalis

c. Kayu triplek

Kayu triplek digunakan sebagai bahan dasar pembuatan rangka cetak untuk silikon cair, dibutuhkan 5 buah kayu triplek dengan ukuran yang telah disesuaikan.



Gambar 3.7 Kayu triplek

d. Serat kaca

Serat kaca berjenis *wooven* atau serat anyam digunakan sebagai serat penguat pada pembuatan material komposit *shaft arrow*.



Gambar 3.8 Serat kaca

e. *Mirror glaze*

Mirror glaze dalam penelitian ini berfungsi sebagai pelumas pola *shaft arrow* agar mudah dilepas setelah cetakan jadi.



Gambar 3.9 *Mirror glaze*

f. Dempul

Dempul digunakan sebagai penambal permukaan prototipe yang berpori akibat udara yang terjebak ketika proses pembentukan komposit.



Gambar 3. 10 Dempul

g. Erosil

Erosil dalam penelitian ini berfungsi sebagai *filler* atau pengisi produk awal. *Filler* berfungsi sebagai bubuk penguat yang dicampur resin poliester dan katalis.



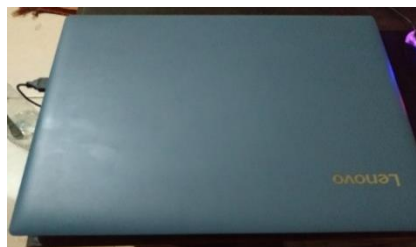
Gambar 3.11 Erosil

3.3.2 Alat Penelitian Untuk Simulasi

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan produk antara lain :

a. Laptop

Laptop yang sudah terpasang aplikasi *Solid Works* 2016 digunakan sebagai alat utama untuk menggambar dan simulasi produk. Spesifikasi laptop dapat dijelaskan pada Tabel 3.1



Gambar 3.12 Laptop

Tabel 3.3 Spesifikasi Laptop

Nama	Keterangan
<i>Processor</i>	Intel i3-6006U <i>dual-core</i> 2GHz
<i>Memory (RAM)</i>	4GB DDR 4
<i>Tipe</i>	LENOVO Ideapad 320
<i>Graphics</i>	Intel HD <i>Graphics</i> 520 dan Nvidia <i>GeForce</i> GT 920MX VRAM 2GB
<i>Resolution</i>	1366 x 768
<i>System</i>	64bit

b. *Solid Works* 2016

Simulasi produk menggunakan *feature Solid Works Flowsimulation* pada *Solid Works* 2016.



Gambar 3.13 *Solid Works* 2016

3.3.3 Alat Penelitian Pembuatan Produk

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan produk antara lain :

a. Pola *shaft arrow*

Pola merupakan tiruan *shaft arrow* berbentuk silinder pejal dengan material aluminium.



Gambar 3.14 Pola *shaft arrow*

b. Mistar siku

Mistar siku digunakan sebagai alat ukur dalam memotong 5 lembar kayu triplek.

c. Gerinda tangan

Gerinda tangan digunakan untuk memotong prototipe *shaft arrow* ketika proses *finishing*.



Gambar 3.15 Gerinda Tangan

d. Mistar insut

Mistar insut digunakan untuk mengukur diameter prototipe *shaft arrow*.



Gambar 3.16 Vernier Caliper

e. Dial indikator

Dial indikator dalam penelitian ini digunakan sebagai alat ukur pada saat uji kekakuan yang terpasang pada titik tengah prototipe, pemasangan dial indikator pada bagian tengah bertujuan untuk mengukur lekukan atau defleksi prototipe ketika dikenakan beban.



Gambar 3.17 Dial indikator

f. Neraca digital

Neraca digital pada penelitian ini digunakan untuk menghitung massa serat dan matriks pada pembuatan komposit *shaft arrow*. Neraca digital yang digunakan memiliki kapasitas minimal 0,01 gram dan maksimal 200 gram.



Gambar 3.18 Neraca digital

g. Meter ukur

Meter ukur digunakan untuk mengukur panjang *shaft* dan panjang total prototipe.



Gambar 3.19 Meter ukur

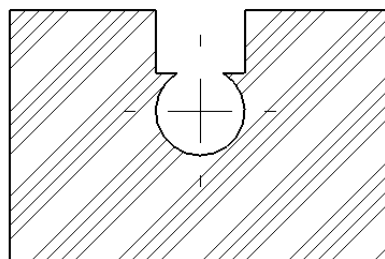
3.3.4 Pembuatan Gambar

Gambar yang ditampilkan dalam penelitian ini meliputi gambar cetakan *shaft*, gambar potongan tampak samping, dan gambar *arrow*.



Gambar 3.20 Gambar 3 dimensi cetakan

Gambar 3.20 menunjukkan gambar cetakan *shaft arrow*. Cetakan dibuat berongga di bagian tengah sesuai dengan dimensi dan bentuk dari pola *shaft*. Rongga cetakan berbentuk silinder memanjang dan pada bagian atas terdapat rongga cetakan yang berfungsi sebagai saluran masuk cairan resin.



Gambar 3.21 Potongan cetakan *shaft*

Gambar 3.21 menunjukkan gambar potongan tampak samping cetakan *shaft*. Gambar tersebut merupakan ilustrasi saluran masuk cairan resin dan rongga

cetakan yang dibuat dengan bentuk silinder memanjang sesuai dengan dimensi dari pola *shaft*.



Gambar 3.22 Gambar *arrow*

Gambar 3.22 menunjukkan gambar *arrow* yang dijadikan acuan dalam penelitian ini. Beberapa komponen penyusun dari *arrow* adalah *nock* yang terbuat dari material plastik sebanyak 1 buah, *shaft* yang terbuat dari material komposit dengan menggunakan menggunakan serat kaca sebagai penguatnya sebanyak satu buah, *fletching* yang terbuat dari material *rubber* sebanyak tiga buah dan *point* yang terbuat dari material aluminium sebanyak 1 buah.

3.4 Parameter Penelitian

3.4.1 Parameter Bebas

Parameter bebas dari penelitian ini adalah geometri atau bentuk komponen penyusun *arrow* seperti *point*, *nock* dan *fletching*.

3.4.2 Parameter Terikat

Parameter terikat dari penelitian ini berupa nilai kekakuan *arrow* dan besaran *drag force* kemudian parameter terikat lain yaitu struktur mikro yang didapat dari

produk yang mengalami kecacatan, ketidaklurusan dan ketidakrataan permukaan prototipe.

3.4.3 Parameter Kontrol

Parameter kontrol dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi produk menggunakan *Solid Works Flowsimulation* dengan material kaca dan kecepatan fluida (udara) dibuat konstan sebesar 60 m/s, massa jenis udara 1,2 kg/m³ dan kecepatan *arrow* 75 m/s.
2. Dimensi prototipe *shaft arrow* dibandingkan dengan dimensi gambar produk yang memiliki diameter 7 mm dan panjang 750 mm.
3. Produk yang dibuat, diuji berdasarkan uji kekakuan *arrow* dengan menggunakan standar ASTM F2031-05. Nilai dari defleksi dimasukkan ke dalam Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 untuk pengolahan data.

Tabel 3.4 Pengukuran Defleksi Prototipe *Arrow*

No	Kode <i>Arrow</i>	Pengukuran Defleksi			Rata-Rata
		1	2	3	
1	A1				
2	A2				
3	A3				
4	A4				
5	A5				
6	A6				
7	A7				
8	A8				
9	A9				
10	A10				

Rata-rata defleksi dari 10 prototipe *arrow* dikonversi menggunakan perhitungan matematis pada persamaan 2.8 menjadi nilai Spine.

Tabel 3.5 Nilai Kekakuan dan Prototipe Spine *Arrow*

No	Kode <i>Arrow</i>	Rata-Rata Defleksi	Spine
1	A1		
2	A2		
3	A3		
4	A4		
5	A5		
6	A6		
7	A7		
8	A8		
9	A9		
10	A10		

3.5 Teknik Pengumpulan Data

3.5.1 Studi Pustaka

Pengumpulan data dilakukan dengan cara studi pustaka untuk menganalisis dan mengidentifikasi masalah yang ada, kemudian membuat perencanaan gambar *arrow* yang sesuai dengan standar.

3.5.2 Dokumentasi

Teknik pengumpulan data dengan metode dokumentasi dapat berbentuk catatan, gambar, maupun benda-benda yang terkait dalam proses penelitian.

Kegiatan yang dilakukan adalah mencatat hasil-hasil penting dalam setiap tahapan penelitian baik dalam bentuk tulisan maupun gambar.

3.5.3 Simulasi

Simulasi alir menggunakan *Solid Works 2016* pada *feature Flowsimulation* dilakukan untuk mengetahui *drag force* yang dihasilkan dari gambar *arrow* yang telah dibuat.

3.6 Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi adalah menentukan kebenaran konvensional penunjukkan alat melalui cara perbandingan dengan standar ukurnya yang tertelusur ke standar nasional/internasional. Kalibrasi bisa dilakukan dengan cara membandingkan suatu standar yang terhubung dengan standar nasional maupun internasional bahan – bahan acuan tersertifikasi (Yunita *et al.*, 2015).

Menurut Siregar (2009) kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukur yang mampu telusur (*traceable*) ke standar nasional atau internasional untuk satuan ukuran.

Berdasarkan definisi tersebut maka kalibrasi pada dasarnya adalah suatu kegiatan untuk mencari hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur dan membandingkannya dengan standar ukur nasional atau internasional.

Proses kalibrasi bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan akurat dan konsisten dengan instrumen lainnya. Kalibrasi dilakukan sebelum penggunaan alat ukur sehingga pengukuran yang dilakukan akan

menghasilkan data yang *valid* dan akurat. Alat ukur yang dapat dikalibrasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.6.1 Dial Indikator

Dial indikator atau yang sering disebut dengan *dial gauge* ialah alat ukur yang digunakan untuk mengukur dan memeriksa kerataan atau kesejajaran pada permukaan benda dengan skala pengukuran yang sangat kecil. Langkah-langkah kalibrasi dial indikator adalah sebagai berikut :

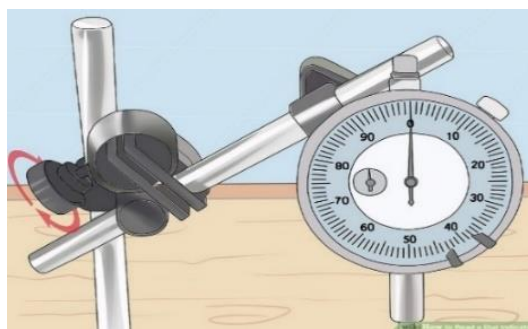
1. Memasang dial indikator pada dudukan. Dudukan akan menstabilkan dial indikator saat melakukan pengukuran.



Gambar 3.23 Langkah pertama kalibrasi dial indikator

Sumber : (Wikihow.com)

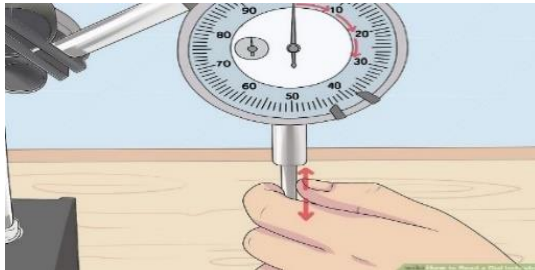
2. Memutar permukaan luar dial sampai ke titik 0. Permukaan luar dapat digerakkan dengan memutar tepi dial.



Gambar 3.24 Langkah kedua kalibrasi dial indikator

Sumber : (Wikihow.com)

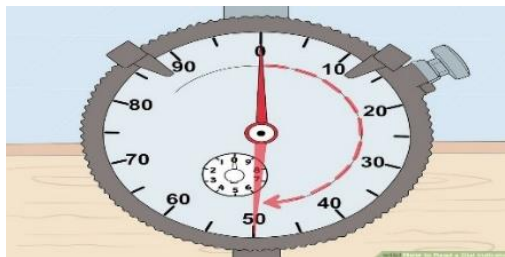
3. Menggeser *spindle* dial indikator. Berhenti di setiap pengukuran 1/10 untuk menghitung kesalahan.



Gambar 3.25 Langkah ketiga kalibrasi dial indikator

Sumber : (Wikihow.com)

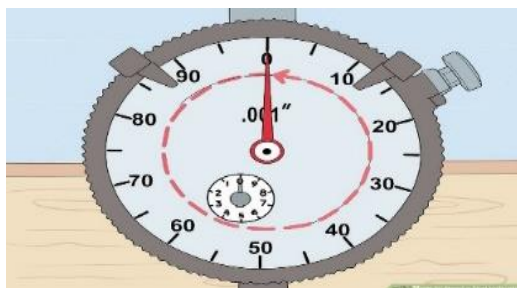
4. Memeriksa kesalahan pada setengah putaran. Untuk lima putaran berikutnya, berhenti di setiap setengah putaran untuk menghitung kesalahan.



Gambar 3.26 Langkah keempat kalibrasi dial indikator

Sumber : (Wikihow.com)

5. Membalikkan putaran. Memeriksa pengukuran pada masing-masing poin yang sama.



Gambar 3.27 Langkah kelima kalibrasi dial indikator

Sumber : (Wikihow.com)

6. Mengambil lima pengukuran dari item yang sama. Menuliskan masing-masing lima pengukuran, jika setiap pengukuran akan keluar nilai yang sama maka dial indikator siap untuk digunakan.



Gambar 3.28 Langkah keenam kalibrasi dial indikator

Sumber : (Wikihow.com)

3.6.2 Pengukuran Statis Spine *Stiffnes Arrow*

Statis Spine *stiffnes* adalah pengukuran defleksi atau jumlah lekukan yang ditunjukkan *arrow* di bawah beban tertentu ketika didukung oleh dua garis tegak pada jarak tertentu dalam lingkungan statis atau tidak bergerak. Menurut standar ASTM F2031-05 metode pengukuran nilai kekakuan *arrow* adalah *arrow* ditempatkan pada dua garis tegak yang berjarak 28 Inch, kemudian dikenakan berat sebesar 1,94 Lb digantung di tengah panah. Jumlah lekukan kemudian diukur dalam satu per seribu Inch.



Gambar 3.29 Pengukuran statis Spine *stiffnes arrow*

Sumber : (*Twincoastarrow.com*)

3.7 Teknik Analisis Data

Hasil yang didapatkan ketika proses pengambilan data berupa nominal pada setiap parameter. Proses simulasi dengan menggunakan *Solid Works Flow simulation* 2016 akan mendapatkan data berupa *average drag force* (F_D) *arrow* kemudian dikonversi menjadi koefisien *drag* (C_D) dengan menggunakan Persamaan 2.4. Uji kekakuan akan mendapatkan data berupa nilai defleksi yang nantinya akan dikonversikan menjadi Spine dengan menggunakan Persamaan 2.8.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data

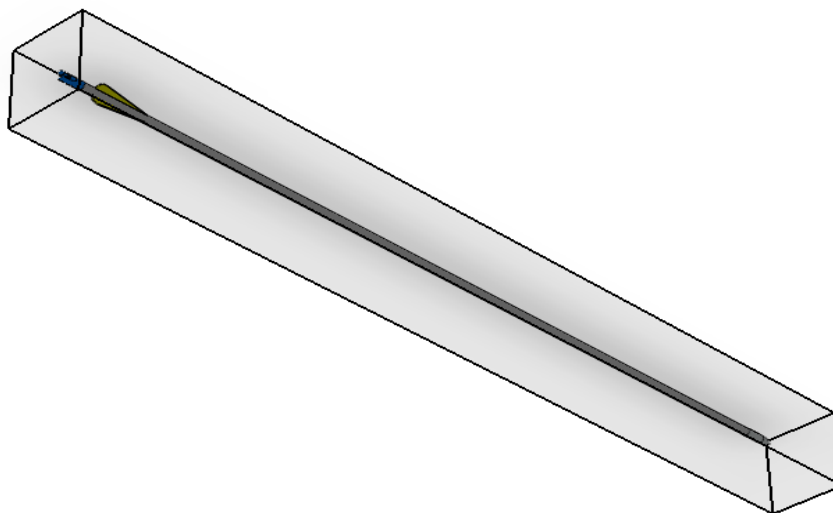
Deskripsi data pada penelitian ini meliputi simulasi, pembuatan dan pengujian nilai kekakuan *arrow*. Simulasi dan pengujian bertujuan untuk mengetahui *arrow* yang telah dibuat memenuhi standar atau tidak.

4.1.1 Hasil *Flow Simulation Arrow*

Simulasi pada penelitian ini menggunakan *shaft arrow* berbahan dasar komposit serat kaca. Hasil dari simulasi menampilkan proses *meshing grid*, ilustrasi aliran lintasan (*flow trajectory*) dan nilai *drag force* (F_D).

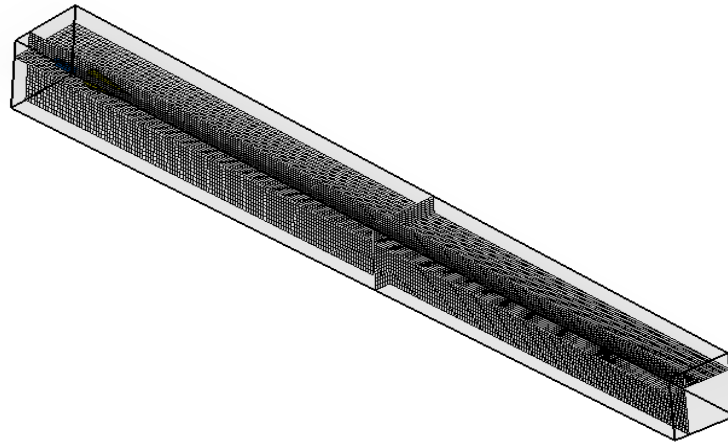
1. *Meshing Grid*

Meshing grid berfungsi untuk membagi iterasi, semakin kecil *meshing grid* yang dilakukan, maka tingkat kesalahan akan semakin kecil. Langkah pertama pada *meshing grid* adalah mengatur batasan (*computational domain*).



Gambar 4. 1 *Computational domain*

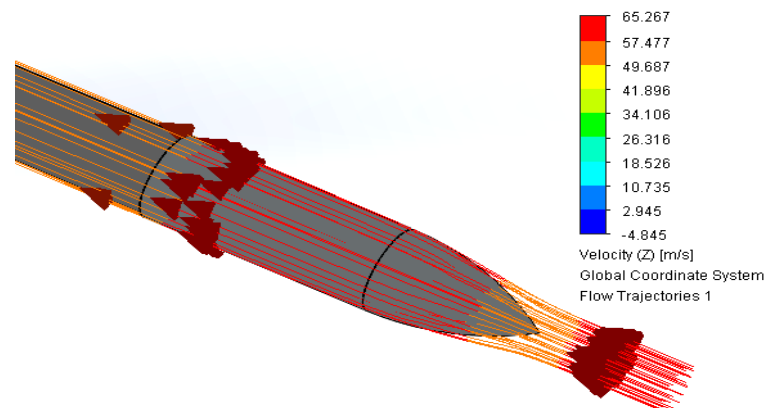
Setelah batasan terbentuk tahap selanjutnya adalah mengatur sumbu koordinat mana (z) yang akan dijadikan lintasan *arrow* ketika simulasi berlangsung. Pembagian iterasi dilambangkan dengan jaring-jaring kecil yang menyelimuti batasan yang telah dibuat.



Gambar 4.2 *Meshing grid*

2. *Flow trajectory*

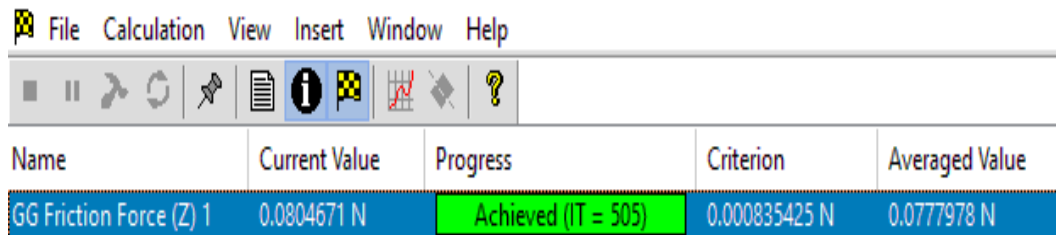
Flow trajectory adalah ilustrasi lintasan yang dilalui *arrow* berlawanan dengan kecepatan fluida (udara) sebesar 60 m/s yang dilambangkan dengan anak panah bergaris.



Gambar 4.3 *Flow trajectory*

3. Drag force

Data yang didapat dari proses simulasi alir berupa besaran rata-rata nilai *drag force* dan iterasi yang dapat di lihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.

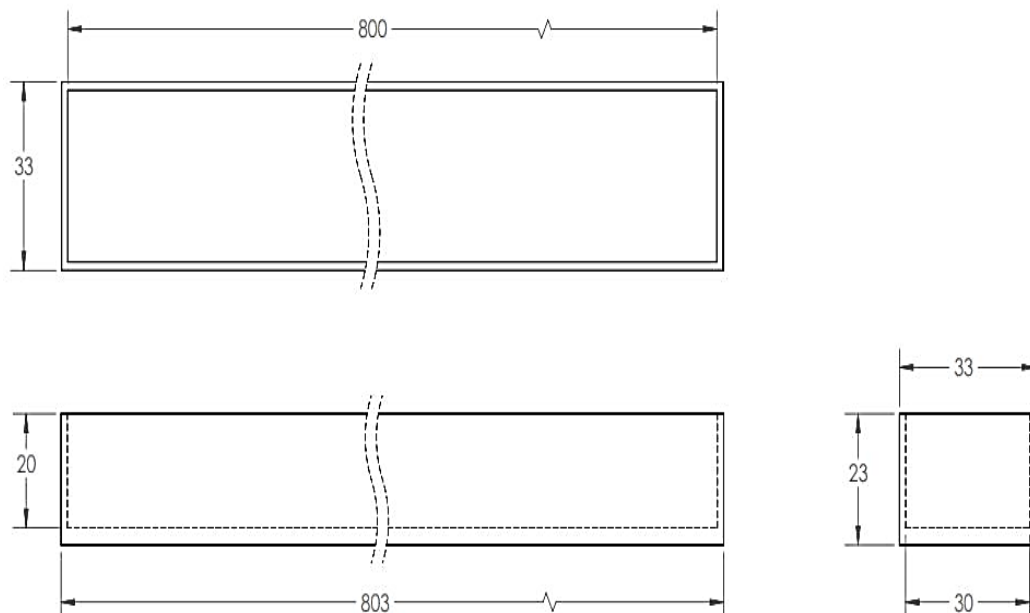


Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
GG Friction Force (Z) 1	0.0804671 N	Achieved (IT = 505)	0.000835425 N	0.0777978 N

Gambar 4.4 *Drag force arrow*

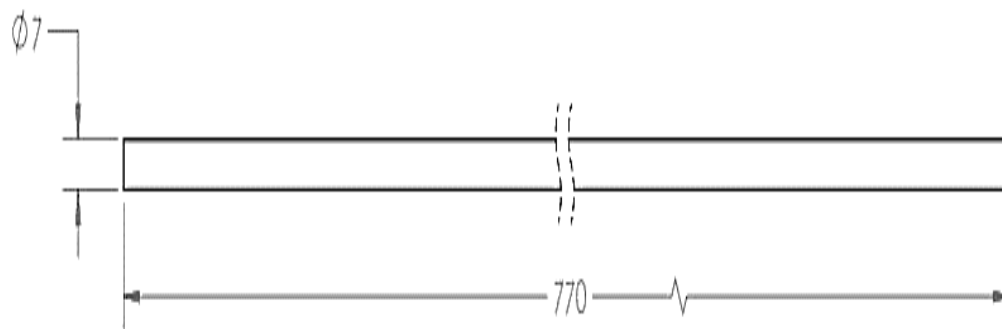
4.1.2 Pembuatan Cetakan *Shaft*

Pembuatan cetakan diawali dengan pembuatan rangka cetak. Langkah pertama dari pembuatan rangka cetak adalah dengan memasang 2 kayu triplek yang mempunyai lebar 33 mm, tinggi 23 mm dan 3 lembar kayu triplek dengan lebar yang sama dan panjang 803 mm.



Gambar 4.5 Gambar teknik rangka cetak

Langkah selanjutnya adalah menyiapkan pola *shaft* dan terlebih dahulu melumuri semua bagian permukaan pola yang berbentuk silinder pejal dengan menggunakan *mirror glaze*. Pola *shaft arrow* memiliki besar diameter 7 mm dan panjang 770 mm.



Gambar 4.6 Gambar teknik pola *shaft arrow*

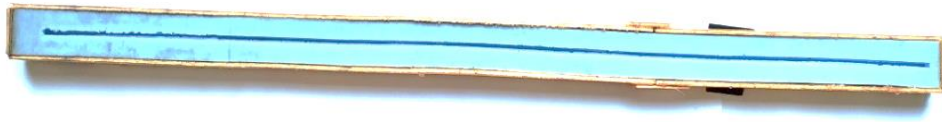
Kemudian melakukan penggabungan pola dan kayu triplek yang dipasang di atas permukaan pola dengan menggunakan lem. Penggabungan ini bertujuan untuk membuat rongga pada cetakan yang berfungsi sebagai saluran masuk cairan resin.



Gambar 4.7 Saluran masuk cetakan

Langkah selanjutnya adalah melakukan pemasangan pola tersebut ke tengah rangka cetak dengan jarak pasang seperti yang tertera dalam gambar cetakan pada lampiran.

Setelah itu, memasukkan cairan silikon yang sudah dicampur dengan katalis kemudian menunggu hingga cetakan kering dan mengeras lalu mengeluarkan pola dari cetakan.



Gambar 4.8 Cetakan *shaft arrow*

4.1.3 Pembuatan *Shaft Arrow*

Shaft arrow terbuat dari material komposit dengan memvariasikan komposisi massa serat. Langkah awal dari pembuatan *shaft* adalah menyiapkan semua alat dan bahan. Kemudian memasukkan serat ke dalam cetakan lalu menuangkan resin yang sudah dicampur dengan katalis. Mendinginkan dan menunggu 12 jam hingga komposit terbentuk dengan sempurna.



Gambar 4.9 Prototipe awal *shaft arrow*

Finishing prototipe dilakukan dengan cara memotong bagian berlebih prototipe menggunakan gerinda tangan dan meratakan permukaan bekas potongan dengan metode pengamplasan manual menggunakan tangan. Setelah proses pengamplasan didapatkan beberapa titik lubang pada bagian bekas potongan, untuk menambal bagian tersebut dilakukan pendempulan pada bagian berlubang tersebut.

Kemudian setelah bagian berlubang permukaan *shaft* tertutup rapat dilakukan proses perataan lagi hingga permukaan prototipe halus.



Gambar 4.10 Prototipe *shaft arrow* setelah *finishing*

A. Dimensi *shaft arrow*

Pengecekan panjang *shaft* menggunakan meter ukur dengan panjang maksimal 5 meter. Pengukuran diameter *shaft* menggunakan mistar insut dengan tingkat ketelitian 0,02 mm dan dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap prototipe. Pengambilan 3 titik sampel (D1, D2 dan D3) tersebut didasarkan pada titik tengah *arrow*, titik tengah jarak antara *point* dengan titik tengah *arrow* dan titik tengah jarak antara *nock* dengan titik tengah *arrow*.



Gambar 4.11 Pengecekan dimensi prototipe *shaft arrow*

Berikut tabulasi dari data pengukuran dimensi 10 prototipe *shaft arrow* :

Tabel 4.1 Dimensi Prototipe *Shaft Arrow*

Kode produk	Panjang <i>Shaft Arrow</i> (cm)	Diameter <i>Arrow</i> (mm)			
		D1	D2	D3	D Rata-rata
A1	75,6	7,00	7,26	6,88	7,05
A2	75,5	6,68	6,88	6,88	6,81
A3	75,2	7,16	7,26	6,68	7,03
A4	74,5	6,88	7,00	7,06	6,98
A5	74,3	7,00	6,88	6,88	6,92
A6	73,1	7,00	6,94	6,70	6,88
A7	74,1	7,00	7,00	6,96	6,99
A8	74,5	7,26	7,26	7,00	7,17
A9	75	7,00	7,00	7,26	7,09
A10	75,8	6,90	7,00	7,26	7,05

B. *Assembly arrow*

Penggabungan atau *assembly* merupakan tahap akhir dalam pembuatan prototipe *arrow*. Langkah pertama pada proses ini adalah menyesuaikan dimensi kedua ujung *shaft* dengan diameter dalam *nock* dan *point*, jika sudah sesuai maka menggabungkan komponen *point* dan *nock* terhadap *shaft* dengan terlebih dahulu mengoleskan lem pada kedua ujung *shaft*.

Langkah selanjutnya adalah pemasangan *fletching* sebanyak 3 buah yang dipasang dengan pembagian sudut pasang sebesar 120^0 dan jarak pasang sebesar 18 mm terhadap *nock*.

Gambar 4.12 *Assembly arrow*

4.1.4 Massa Prototipe Arrow

Pengukuran massa prototipe menggunakan neraca digital dengan ketelitian 0,1 gram. Cara pengukuran massa menggunakan dudukan yang memiliki rongga sebesar diameter prototipe.



Gambar 4.13 Sampel berat prototipe A6

Kesepuluh prototipe diukur secara bergantian dari A1 hingga A10. Berikut hasil dari pengukuran massa prototipe :

Tabel 4.2 Massa Prototipe *Arrow*

No	Prototipe	Massa (gram)
1	A1	39,7
2	A2	40,7
3	A3	40,8
4	A4	42,3
5	A5	47
6	A6	46,7
7	A7	48,2
8	A8	48,7
9	A9	51,1
10	A10	51,3

Pengukuran massa dari A1 sampai dengan A10 cenderung mengalami kenaikan kecuali pada rentang data A5 dan A6 yang mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena prototipe A6 merupakan prototipe terpendek jika dibandingkan dengan prototipe yang lain.

4.1.5 Hasil Uji Kerataan Prototipe Arrow

Uji kerataan prototipe *arrow* menggunakan 3 alat bantu yakni 2 buah v-blok, meja rata dan dial indikator. Teknis uji kerataan adalah dengan menempelkan dial indikator pada permukaan prototipe kemudian memutar prototipe dan mencatat simpangan yang terjadi ketika prototipe diputar.

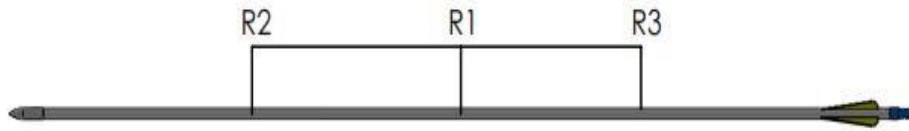


Gambar 4.14 Sampel uji kerataan A2

Pengulangan pengukuran bertujuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang presisi, jika alat ukur tersebut memberikan hasil yang kurang-lebih sama dari beberapa kali pengulangan pengukuran, maka alat ukur tersebut mempunyai ketelitian yang tinggi, dan penyimpangan yang rendah.

Pengambilan sampel pengukuran yang lebih banyak juga akan mempengaruhi ketelitian hasil pengukuran. Berdasarkan alasan tersebut maka

pengukuran kerataan prototipe *arrow* menggunakan 3 titik sampel, agar data yang dihasilkan lebih teliti.



Gambar 4. 15 Titik sampel uji kerataan

Pengambilan 3 titik sampel (R1, R2 dan R3) tersebut didasarkan pada titik tengah *arrow*, titik tengah jarak antara *point* dengan titik tengah *arrow* dan titik tengah jarak antara *nock* dengan titik tengah *arrow*. Berikut tabulasi dari pengukuran kerataan prototipe :

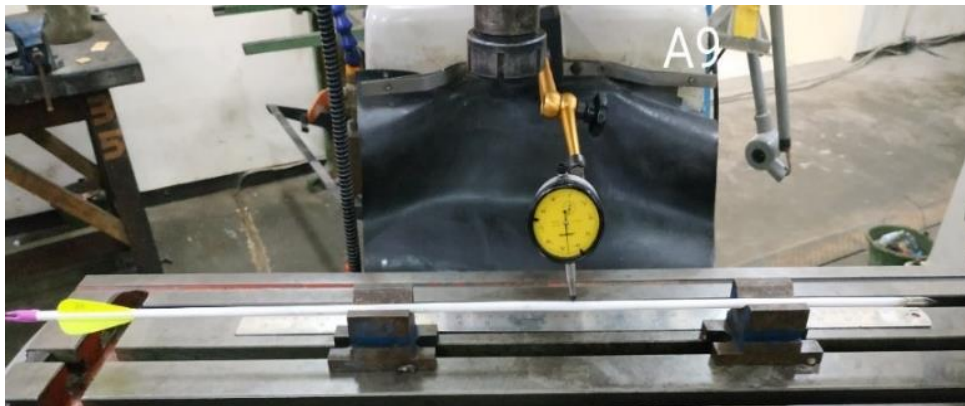
Tabel 4.3 Uji Kerataan Prototipe *Arrow*

No	Prototipe	Simpangan Kerataan			
		R1 (mm)	R2 (mm)	R3 (mm)	Rata-rata (mm)
1	A1	2,11	1,98	1,83	1,97
2	A2	2,58	1,86	1,64	2,03
3	A3	1,18	1,34	1,84	1,45
4	A4	1,97	1,72	2,11	1,93
5	A5	1,61	1,98	1,72	1,77
6	A6	1,96	1,24	1,72	1,64
7	A7	1,98	1,74	0,89	1,54
8	A8	1,59	1,83	0,96	1,46
9	A9	0,76	0,81	0,43	0,67
10	A10	0,96	0,73	1,59	1,09

4.1.6 Hasil Uji Kelurusan Prototipe Arrow

Uji kelurusan prototipe *arrow* menggunakan 3 alat bantu yakni 2 buah v-blok, mesin frais (pada bagian meja kerja dan eretan) dan dial indikator. Teknis uji kelurusan adalah menempelkan *magnetic stand* dial indikator pada bagian mesin frais yang terletak di atas meja kerja.

Kemudian langkah selanjutnya adalah menempelkan ujung dial pada permukaan prototipe, lalu mengatur eretan sumbu X hingga meja kerja bergerak otomatis ke kanan dan ke kiri, kemudian mencatat simpangan. Kelurusan protoipe.



Gambar 4.16 Sampel uji kelurusan A9

Pengukuran kelurusan prototipe *arrow* menggunakan 3 titik sampel sesuai dengan sudut *fletching* yakni 120° dan dilakukan pengukuran secara horizontal antara titik pasang ujung *fletching* hingga ke titik pasang *point* sejauh 682 mm seperti yang tertera pada gambar *shaft* dan *fletching* pada lampiran.

Alasan tersebut didasarkan pada fungsi *fletching* yang menjadi alat stabilisasi pada *arrow* ketika terbang. Menurut Park (2011) lintasan permukaan *shaft* yang lurus akan mempengaruhi kehalusan (*smooth*) ketika *arrow* terbang.

Tabel 4.4 Uji Kelurusan Prototipe *Arrow*

No	Prototipe	Simpangan Kelurusan			
		P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	Rata-rata (mm)
1	A1	0,81	0,96	0,96	0,91
2	A2	0,82	0,88	0,6	0,77
3	A3	0,48	0,68	0,68	0,61
4	A4	0,46	0,43	0,53	0,47
5	A5	0,82	0,76	0,97	0,85
6	A6	0,81	0,85	0,57	0,74
7	A7	0,48	0,25	0,68	0,47
8	A8	0,39	0,67	0,42	0,49
9	A9	0,22	0,63	0,53	0,46
10	A10	0,27	0,54	0,85	0,55

4.1.7 Hasil Uji Kekakuan Prototipe *Arrow*

Uji kekakuan prototipe *arrow* menggunakan 4 alat bantu yakni 2 buah v-blok, beban seberat 1,94 Lb (880 gram), dial indikator dan 4 buah kayu yang digunakan sebagai penopang.



Gambar 4.17 Beban uji kekakuan

Teknis uji kekakuan adalah menempelkan *magnetic stand dial indikator* pada meja rata, kemudian menempelkan beban di tengah prototipe dan mengukur defleksi sesudah dan sebelum prototipe dikenai beban menggunakan dial indikator.



Gambar 4.18 Sampel uji kekakuan A4

Pengukuran defleksi menggunakan 3 titik sampel sesuai dengan sudut *fletching* yakni 120^0 . Berikut tabulasi dari pengukuran defleksi prototipe *arrow* :

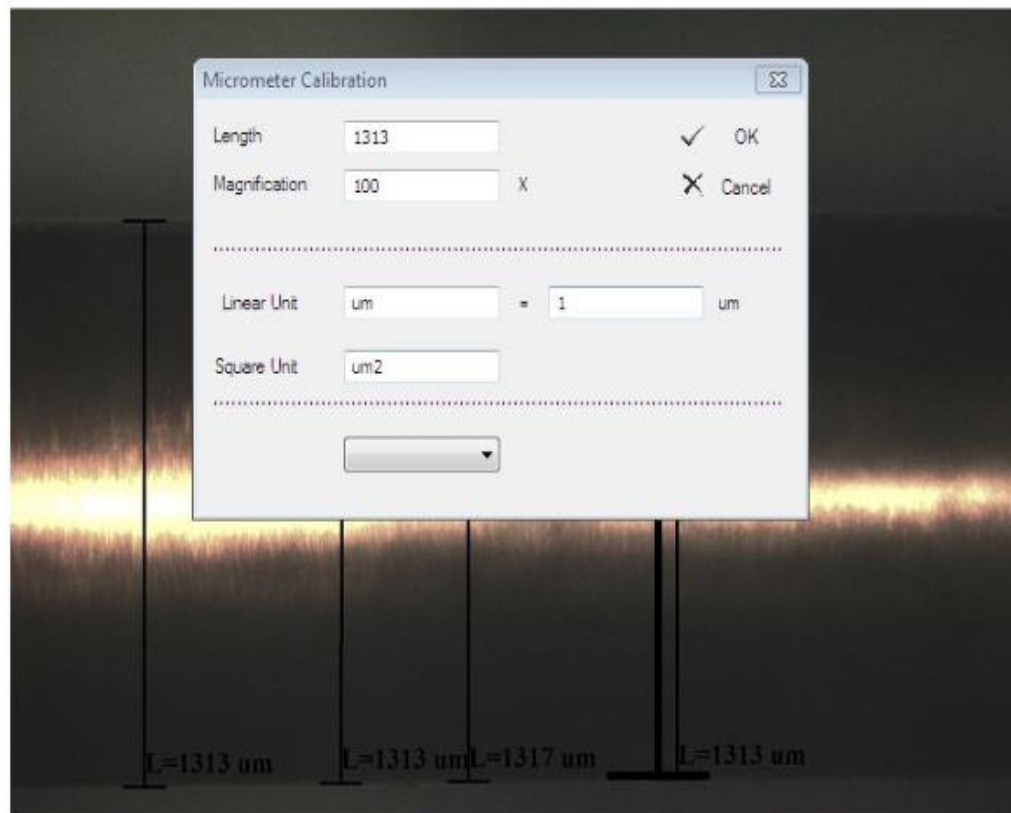
Tabel 4.5 Defleksi Prototipe *Arrow*

No	Prototipe	Defleksi			
		Y1 (mm)	Y2 (mm)	Y3 (mm)	Rata-rata (mm)
1	A1	29,09	29,12	28,88	29,03
2	A2	29,35	29,2	29,18	29,24
3	A3	28,84	28,88	28,87	28,86
4	A4	28,55	28,54	27,58	28,22
5	A5	28,15	28,14	28,18	28,16
6	A6	22,1	22,18	22,25	22,18
7	A7	27,76	27,82	27,15	27,58
8	A8	26,56	26,51	26,58	26,55
9	A9	24,35	24,28	24,31	24,31
10	A10	23,46	23,38	23,43	23,42

4.1.8 Struktur Mikro Prototipe Arrow

A. Penentuan skala

Penentuan skala pada proses pengambilan data struktur mikro menggunakan bantuan aplikasi *Infinite analyze*.

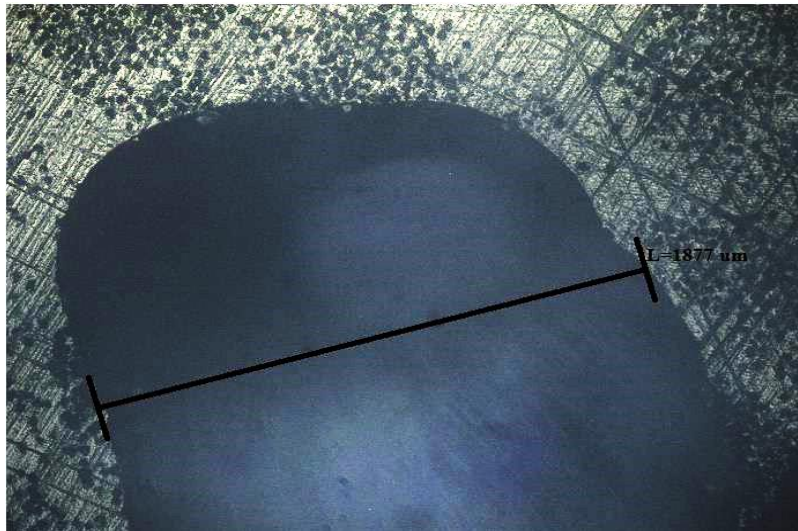


Gambar 4.19 Skala foto mikro

Gambar 4.19 menunjukkan penetapan skala menggunakan tembaga sebagai acuan panjang dengan cara mengukur panjang tembaga dengan perbesaran 100 kali. Kemudian mengkalibrasi ukuran panjang tersebut dengan satuan mikro yakni μm .

B. Struktur mikro A1

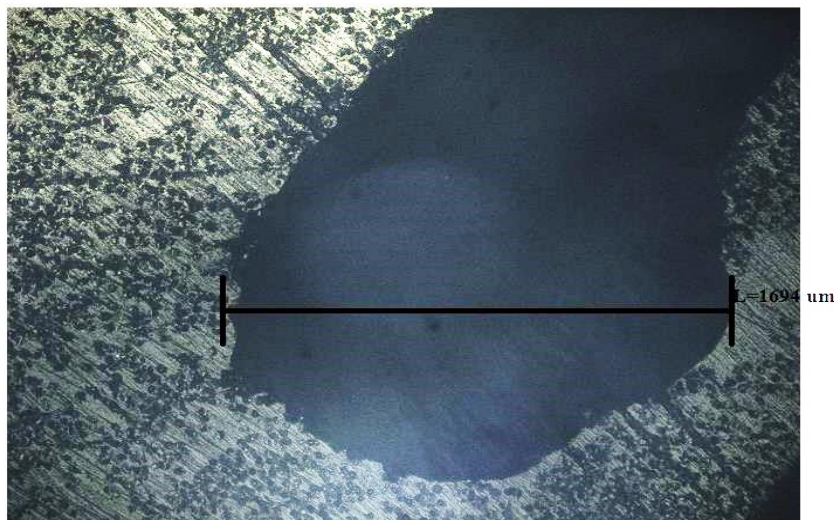
Spesimen A1 memiliki tebal spesimen sebesar 12 mm dan diameter total spesimen sebesar 19 mm.



Gambar 4.20 Struktur mikro A1

C. Struktur mikro A5

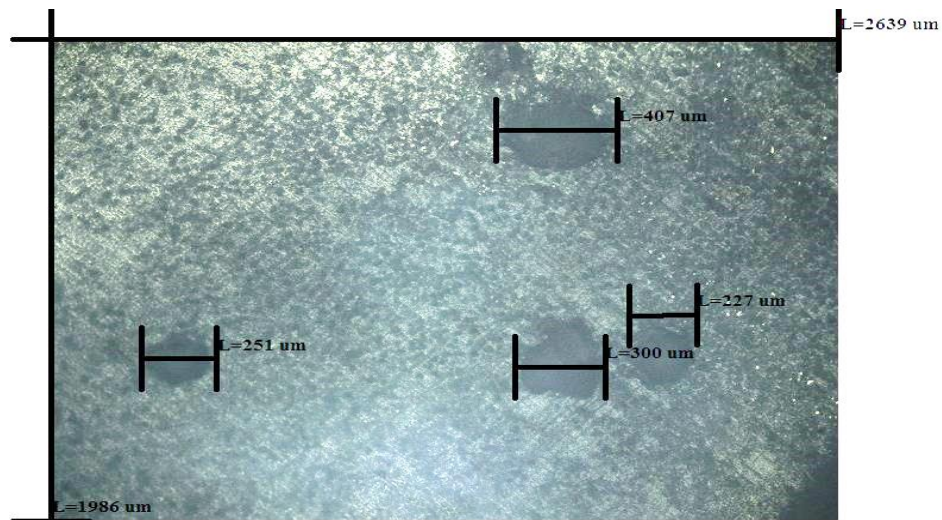
Spesimen A5 memiliki diameter spesimen sebesar 7 mm, tebal spesimen sebesar 10 mm dan diameter total spesimen sebesar 19 mm.



Gambar 4.21 Struktur mikro A5

D. Struktur mikro A10

Spesimen A10 memiliki diameter spesimen sebesar 7 mm, tebal spesimen sebesar 10 mm dan diameter total spesimen sebesar 19 mm.



Gambar 4.22 Struktur mikro A10

4.2 Analisis Data

4.2.1 Analisis Hasil *Flow Simulation*

1. Koefisien *drag*

Berdasarkan simulasi alir didapatkan *drag force arrow* sebesar 0,078 N, massa jenis udara 1,2 kg/m³ dan kecepatan anak panah 75 m/s. Luas area terletak pada komponen yang pertama kali dikenakan *drag force* pada simulasi. Setelah parameter sudah diketahui maka konversi nilai *drag force* menjadi koefisien *drag* dengan menggunakan Persamaan 2.4.

$$C_D = \frac{2 F_D}{\rho v^2 A} \longrightarrow \begin{aligned} F_D &= 0,077978 \text{ N} = 0,077978 \text{ kg m/s}^2 \\ \rho &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \\ v &= 75 \text{ m/s} \\ A &= \text{Luas lingkaran berdiameter } 7 \text{ mm} \end{aligned}$$

a. Luas *area*

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \longrightarrow A = (3,14)(3,5^2) \\ A &= 38,46 \text{ mm}^2 = 38,46 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Besar koefisien *drag*

$$C_D = \frac{2 F_D}{\rho v^2 A} \longrightarrow \begin{aligned} F_D &= 0,077978 \text{ N} = 0,077978 \text{ kg m/s}^2 \\ \rho &= 1,2 \text{ kg/m}^3 \\ v &= 75 \text{ m/s} \\ A &= 38,46 \text{ mm}^2 = 38,46 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$C_D = \frac{2 (0,077978 \text{ kg m/s}^2)}{(1,2) \text{ kg/m}^3 (75 \text{ m/s})^2 (38,46 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}$$

$$C_D = 0,6001$$

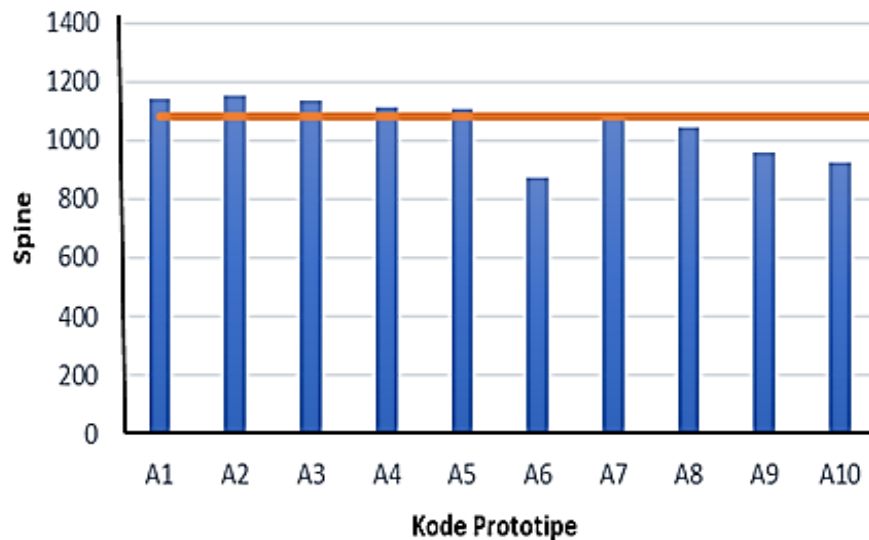
4.2.2 Analisis Hasil Uji Kekakuan Prototipe Arrow

Data hasil uji kekakuan yang didapatkan kemudian diubah menjadi Spine dengan menggunakan Persamaan 2.8 berikut tabulasi dari nilai Spine *arrow* :

Tabel 4.6 Hasil Uji Kekakuan

No	Prototipe	Defleksi				
		Y1 (mm)	Y2 (mm)	Y3 (mm)	Rata- rata (mm)	Spine (<i>Deflection in</i> Inch x 1000)
1	A1	29,09	29,12	28,88	29,03	1143,78
2	A2	29,35	29,2	29,18	29,24	1152,19
3	A3	28,84	28,88	28,87	28,86	1137,22
4	A4	28,55	28,54	27,58	28,22	1112,00
5	A5	28,15	28,14	28,18	28,16	1109,37
6	A6	22,1	22,18	22,25	22,18	873,76
7	A7	27,76	27,82	27,15	27,58	1086,52
8	A8	26,56	26,51	26,58	26,55	1046,07
9	A9	24,35	24,28	24,31	24,31	957,95
10	A10	23,46	23,38	23,43	23,42	922,88

Hasil uji kekakuan prototipe dipaparkan dalam bentuk grafik batang agar memudahkan dalam membaca informasi.



Gambar 4.23 Nilai Spine *arrow*

Gambar 4.23 menunjukkan grafik batang nilai Spine 10 variasi prototipe dengan batas maksimal nilai Spine sebesar 1079. Beberapa prototipe yang memenuhi standar kelayakan adalah prototipe yang memiliki kode A6, A8, A9 dan A10 dengan nilai Spine berurutan sebesar 873,76 ; 1046,07 ; 957,95 dan 922,88.

4.3 Pembahasan

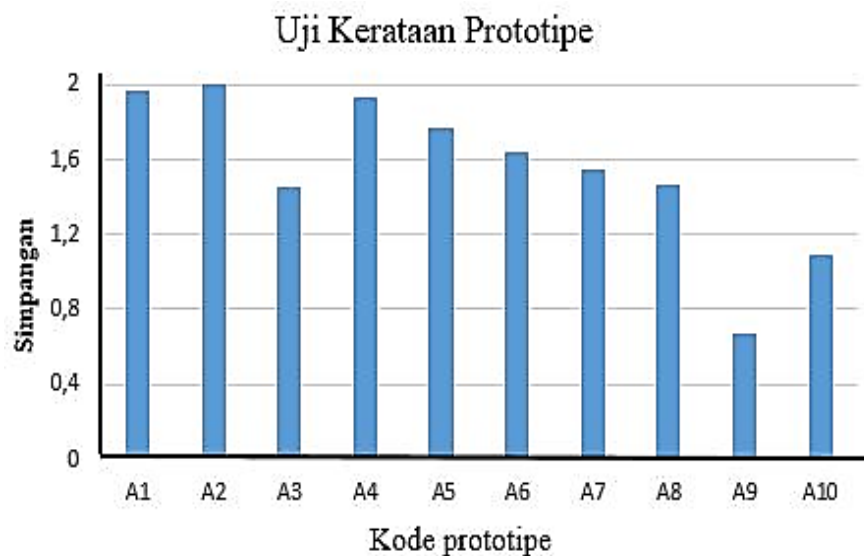
4.3.1 Dimensi *shaft arrow*

Sepuluh prototipe *shaft arrow* memiliki dimensi yang berbeda-beda, jika merujuk pada gambar prototipe yang memiliki diameter 7 mm dan panjang *shaft* 75 cm maka prototipe dengan kode A9 adalah prototipe yang dianggap paling sesuai dengan gambar yang telah direncanakan, dengan dimensi panjang *shaft* 75 cm dan diameter rata-rata *shaft arrow* sebesar 7,09 mm. Kemudian prototipe dengan kode A10 yang memiliki panjang 75,80 cm merupakan prototipe yang terpanjang

sedangkan prototipe dengan kode A6 dengan panjang 73,1 cm merupakan prototipe terpendek.

Perbedaan panjang dari masing-masing prototipe terjadi akibat ketidakpresisian ketika pemotongan prototipe menggunakan gerinda tangan, untuk itu akan dilakukan perbandingan perbedaan panjang terhadap tingkat kekakuan.

4.3.2 Uji Kerataan



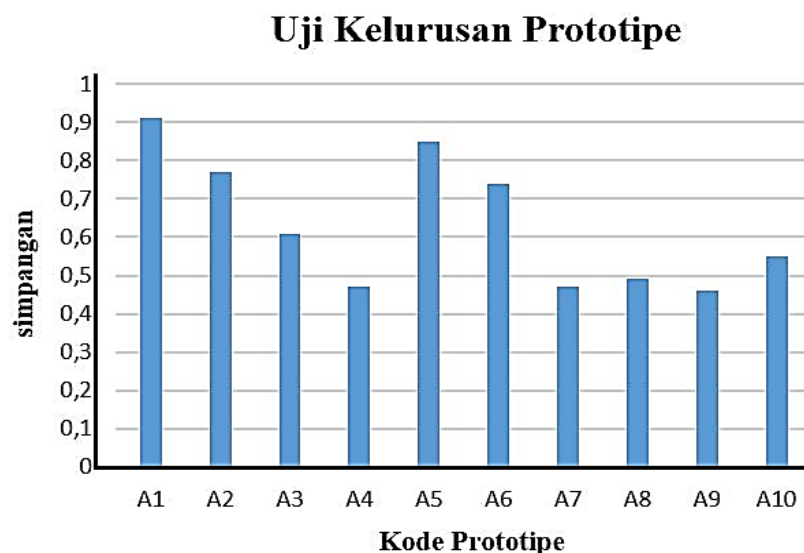
Gambar 4.24 Uji kerataan prototipe

Gambar 4.24 menunjukkan grafik batang uji kerataan 10 variasi prototipe dibandingkan dengan simpangan rata-rata kerataan prototipe. Prototipe A2 yang mempunyai nilai simpangan rata-rata sebesar 2,03 dan mm merupakan prototipe yang memiliki simpangan rata-rata kerataan tertinggi. Sedangkan prototipe A9 dengan nilai simpangan rata-rata kerataan sebesar 0,67 mm merupakan prototipe yang memiliki nilai simpangan rata-rata kerataan terendah.

Perbedaan simpangan kerataan dari masing-masing prototipe terjadi akibat ketidakpresisian ketika proses perataan permukaan *shaft* dengan menggunakan

amplas. Menurut Harmanto (2018) kualitas permukaan akan dipengaruhi oleh beberapa faktor baik dari sifat bahan maupun metode penghalusan permukaan. Lebih lanjut penelitian tersebut menjelaskan bahwa pengampelasan manual yaitu dengan menggunakan tangan cenderung menghasilkan kekasaran yang tidak merata. Besar kecilnya nilai simpangan kerataan bergantung pada keterampilan tangan ketika proses penghalusan permukaan berlangsung.

4.3.3 Uji Kelurusan



Gambar 4.25 Uji Kelurusan prototipe

Gambar 4.25 menunjukkan grafik batang uji kelurusan 10 variasi prototipe dibandingkan dengan simpangan rata-rata kelurusan prototipe. Prototipe dengan kode A1 dengan nilai simpangan rata-rata sebesar 0,91 mm merupakan prototipe yang memiliki simpangan rata-rata kelurusan tertinggi. Sedangkan prototipe dengan kode A9 dengan nilai simpangan rata-rata kelurusan sebesar 0,46 mm merupakan prototipe yang memiliki nilai simpangan rata-rata kelurusan terendah.

Perbedaan simpangan kelurusan dari masing-masing prototipe terjadi akibat ketidakpresisian ketika proses pemotongan bekas saluran masuk prototipe dengan menggunakan gerinda tangan. Selain itu penyusutan prototipe ketika proses pembentukan komposit *shaft* juga turut mempengaruhi nilai simpangan kelurusan prototipe, untuk itu akan dilakukan pembahasan pengaruh penyusutan prototipe terhadap nilai simpangan kelurusan.

4.3.4 Penyusutan Prototipe *Shaft Arrow*

Material – material termoplastik dan termoset yang dibentuk dengan proses pencetakan, dimana pada proses tersebut akan terjadi proses perubahan bentuk dan proses penyusutan.

Material plastik akan mengalami proses penyusutan selama proses pendinginan di dalam dan di luar cetakan, penyusutan ini akan menyebabkan ukuran-ukuran produk yang dihasilkan mengalami perubahan – perubahan dengan besaran yang sangat variatif, untuk mengantisipasi hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menambahkan ukuran yang akan dibuat. (Wahyudi, 2015 : 18).

Menurut Firdaus (2002) parameter temperatur leleh sangat berpengaruh terhadap terjadinya cacat produk pada saat proses penyusutan (*shrinkage*) berlangsung. Cacat produk yang terjadi meliputi *void* atau lubang yang terjadi akibat udara yang terjebak dan *warpage* atau pembengkokan sehingga mengakibatkan produk menjadi tidak lurus.

Menurut Fathoni (2015) Cacat *warpage* terjadi karena beberapa faktor di antaranya adalah perbedaan antara penyusutan (*shrinkage*) dan waktu pendinginan

(*cooling time*) yang tergantung pada kontraksi kedua permukaan serta ketebalan komponen dari hasil distribusi temperatur cetakan. Mengacu dari kajian tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadinya penyusutan prototipe *shaft* karena perbedaan suhu pada saat resin ditambahkan katalis (suhu tinggi). Kemudian pada proses penuangan ke dalam cetakan prototipe memadat dan terjadi penurunan suhu sehingga prototipe mengalami penyusutan.

4.3.5 Struktur Mikro Prototipe

1. Struktur mikro A1

Struktur mikro A1 merupakan spesimen yang diambil dari pemotongan prototipe A1 yang memiliki perbandingan komposisi fraksi massa serat sebesar 29,705% dan fraksi massa matriks sebesar 70,295 % serta diameter sebesar 7 mm.

Menurut standar uji mikro spesimen harus memiliki lebar atau diameter minimal sebesar 15 mm, karena diameter spesimen masih kurang maka dilakukan penambahan *filler* di sekitar spesimen dengan menggunakan resin yang dibentuk dari cetakan terbuat dari pipa PVC berdiameter $\frac{3}{4}$ Inch dan panjang 14 mm. Setelah dilakukan penambahan *filler*, spesimen A1 memiliki tebal sebesar 12 mm dan diameter total spesimen sebesar 19 mm.

Gambar 4.20 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada salah satu titik sampel spesimen A1. Sampel yang diambil memiliki kecacatan berupa *void* (lubang udara) yang terjadi karena terjebaknya udara saat proses pembentukan komposit, salah satu sampel *void* terbesar memiliki diameter sebesar 1877 μm .

2. Struktur mikro A5

Struktur mikro A5 merupakan spesimen yang diambil dari pemotongan prototipe A5. Komposisi perbandingan fraksi massa serat 34,297% dan fraksi massa matriks 65,703 %.

Gambar 4.21 menunjukkan hasil dari pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada salah satu titik sampel spesimen A5. Sampel A5 memiliki kecacatan berupa *void*, salah satu sampel *void* terbesar memiliki diameter sebesar 1694 μm .

3. Struktur mikro A10

Struktur mikro A10 merupakan spesimen yang diambil dari pemotongan prototipe A10 yang memiliki komposisi perbandingan fraksi massa serat 39,257% dan fraksi massa matriks 60,743 %.

Gambar 4.22 menunjukkan hasil dari pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada salah satu titik sampel spesimen A10. Sampel memiliki kecacatan beberapa *void* dengan diameter terbesar 407 μm dan beberapa *void* dengan ukuran diameter berurutan sebesar 300 μm , 251 μm , dan 227 μm .

Kesimpulan dari pengamatan foto mikro menggunakan 3 sampel prototipe dengan variasi kenaikan massa serat adalah semakin besar fraksi massa serat maka *void* akan semakin kecil.

4.3.6 Pengaruh Variasi Massa Serat Terhadap Tingkat Kekakuan Arrow

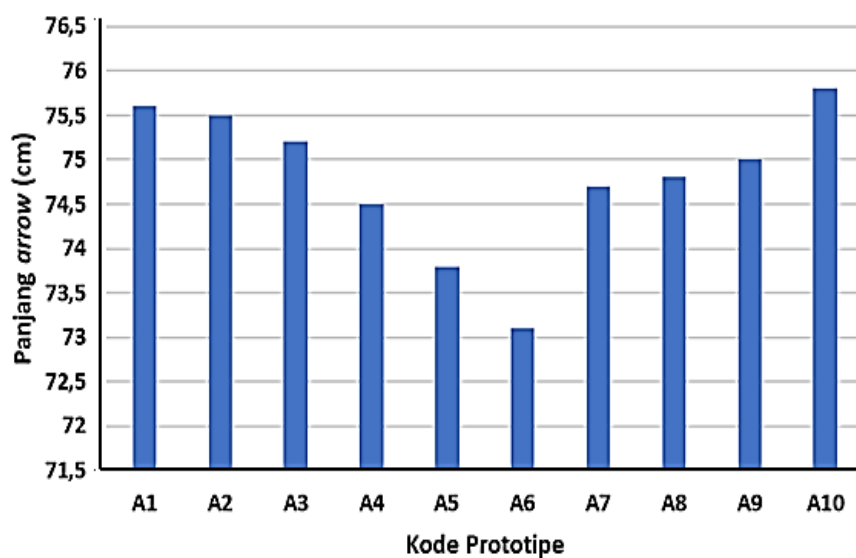
Mengacu pada gambar 4.23 perlakuan variasi massa serat memberikan nilai Spine yang cenderung menurun seiring bertambahnya massa serat, sesuai dengan urutan variasi dari A1 sampai dengan A6. Sedangkan nilai Spine pada rentang A6

hingga A7 mengalami kenaikan dan nilai Spine turun lagi pada rentang A7 hingga A10.

Nilai Spine tertinggi adalah prototipe yang memiliki kode A1 dengan nilai Spine sebesar 1143,78 artinya A1 merupakan prototipe yang memiliki nilai kekakuan terendah jika dibandingkan dengan prototipe lainnya karena semakin tinggi nilai Spine maka akan semakin rendah pula nilai kekakuan *arrow* tersebut.

4.3.7 Pengaruh Variasi Panjang *Arrow* Terhadap Tingkat Kekakuan *Arrow*

Hipotesis fenomena penurunan nilai Spine yang sangat ekstrem dari A5 ke A6 diduga karena A6 merupakan prototipe terpendek jika dibandingkan dengan prototipe lainnya. Artinya jika panjang dari *shaft* semakin pendek maka nilai Spine akan semakin rendah. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan melakukan perbandingan panjang *shaft arrow* dengan kenaikan massa serat sesuai dengan kode dari setiap prototipe. Kode prototipe dan panjang *shaft arrow* dipaparkan dalam bentuk grafik batang.



Gambar 4.26 Grafik panjang *shaft* dan kode prototipe *arrow*

Gambar 4.26 menjelaskan pengaruh variasi panjang *shaft arrow* terhadap variasi kenaikan massa serat prototipe. Nilai panjang *shaft* pada prototipe A1 hingga A6 cenderung mengalami penurunan. Sedangkan pada prototipe A6 hingga A10 panjang *shaft* cenderung mengalami kenaikan. Jika dihubungkan dengan nilai Spine maka hal tersebut menunjukkan bahwa nilai Spine akan mengalami penurunan yang ekstrem jika panjang *shaft* mengalami pengurangan sebesar 1,2 cm (selisih panjang *shaft* prototipe A5 dan A6) namun jika selisih panjang tidak lebih dari atau sama dengan 1,2 cm maka penurunan nilai Spine tidak terlalu signifikan. Variasi kenaikan dari massa serat yang akan sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai Spine.

BAB V

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pembuatan *shaft arrow* menggunakan material komposit dengan serat kaca sebagai penguat dan resin poliester sebagai matriks dengan metode *molding* dianggap sesuai dengan gambar rencana produk baik secara bentuk dan dimensi. Prototipe A9 yang memiliki perbandingan massa serat dan matriks 38,3% : 61,7% adalah prototipe yang dianggap paling mendekati gambar rencana produk dengan dimensi panjang *shaft* 75,0 cm dan diameter rata-rata *shaft* sebesar 7,1 mm.
2. Nilai Spine terendah pada hasil uji kekakuan adalah prototipe A6 yang memiliki perbandingan massa serat dan matriks 35,4% : 64,6% dengan nilai Spine 873,8 dan panjang *shaft* 73,1 cm. Sedangkan nilai Spine tertinggi adalah prototipe A1 yang memiliki perbandingan massa serat dan matriks sebesar 29,7% : 70,3% dengan nilai Spine sebesar 1143,8 dan panjang *shaft* sebesar 75,6 cm.

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terhadap penelitian pembuatan dan nilai kekakuan *arrow* adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pengembangan terhadap cetakan agar produk yang dihasilkan memiliki berat yang ringan namun tetap kaku, kuat dan halus ketika *arrow* terbang.

Salah satu cara untuk mengurangi massa *shaft* adalah dengan membuat profil pada tengah *shaft*.

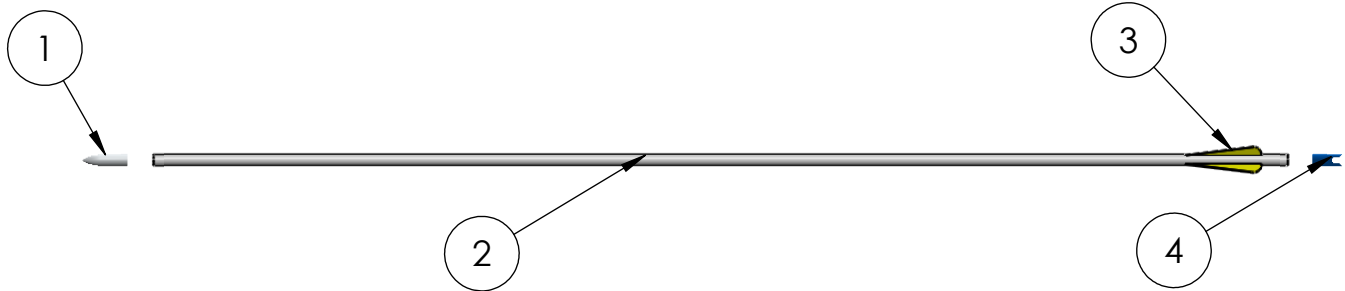
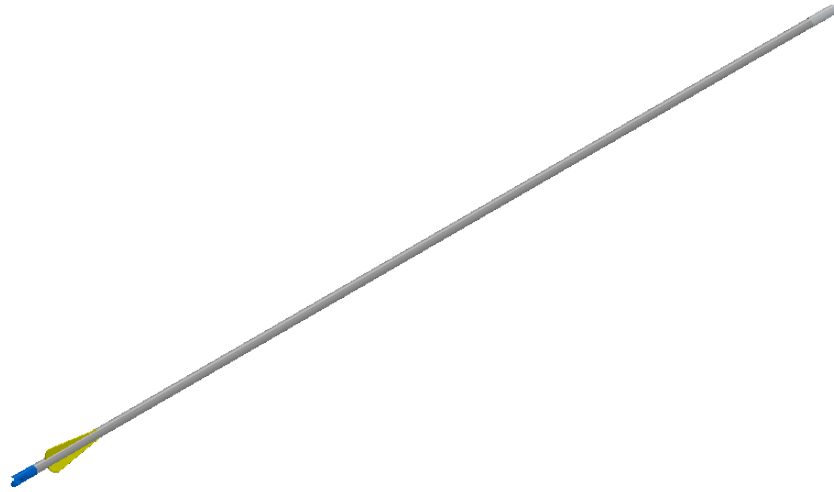
2. Perlu adanya pengamatan SEM (*scanning electron microscope*) untuk mengetahui lebih detail struktur mikro pada *shaft arrow*.
3. Perlu dilakukannya uji dinamis *arrow* (*shooting*) di lapangan dengan mengikutsertakan atlet panahan agar mengetahui apakah *arrow* sudah sesuai dengan model tembak pemanah dan aspek ergonomis.

DAFTAR PUSTAKA

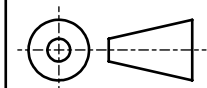
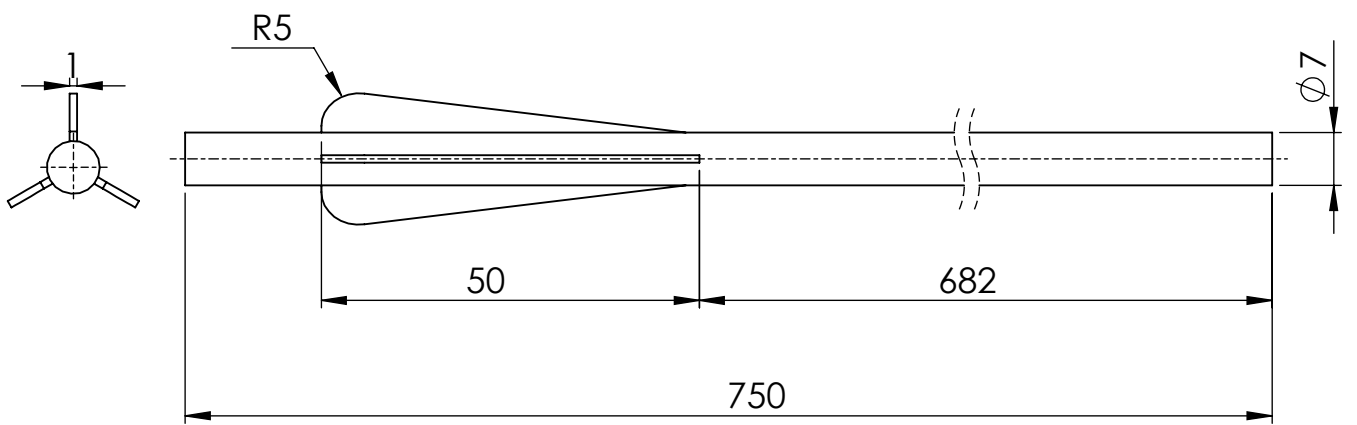
- Abdurohman, K. dan A. Marta. 2017. *Tensile Properties Komposit Serat E-Glass Hasil Vacuum Infusion Sebagai Material Struktur Lsu*. Artikel disajikan pada Seminar Nasional Iptek Penerbangan dan Antariksa XXI. Bogor.
- Ahmad, Z., Taha. Z, Hassan. H. A, Hisham. M. A., Johari, N. H., dan K. Kadirgama. 2014. Biomechanics Measurements in Archery. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 6 (6) : 762–771.
- Anonymous. 2005. Arrow Shaft Length and Labeling. <https://www.bowhunter-ed.com>. 27 Juli 2019 (15:23).
- _____. 2019. How To Read Dial Indicator. <https://www.wikihow.com>. 27 Juli 2019 (15:30).
- _____. 2019. Arrow Tuning And Maintenance Guide 2nd edition. <https://www.eastonarchery.com>. 27 Juli 2019 (15:40).
- _____. 2019. Operation manual book arrow analyzer bearpow product. <https://www.arrowanalyzer.com>. 27 Juli 2019 (15:50).
- Barton, J., Jan. V., Javier. T. S., Brendan. O., Cian. O., dan R. V. Donahoe. 2012. Arrow-mounted Ballistic System for Measuring Performance of Arrows Equipped with Hunting Broadheads. *Procedia Engineering* 34 (9) : 455 – 460.
- Basuki, A. 2013. Pemanfaatan Komposit dari Bahan Penguat antara Serat Gelas dan Serat Aramid dengan Matriks Resin Epoksi untuk Perkuatan Model Balok Beton. *Jurnal Riset Industri* 7(1) : 83–91.
- Callister, W. D. 2007. *Materials Science and Engineering : An Introduction*. 7 th ed. Salt Lake City : John Wiley and Sons, Inc.
- Carlson, R. 2015. *Simulation Development of an English Long Bow and Arrow System*. Makalah disajikan pada Simposium Laporan Tugas Akhir. 16 Desember.
- Fathoni, M. A. 2015. Analisa Pengaruh Parameter Tekanan Terhadap Cacat Warpage Dari Produk Injection Molding Berbahan Polypropylene . *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Firdaus. 2002. Studi Eksperimental Pengaruh Paramater Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak Pneumatics Holder. *Jurnal Teknik Mesin* 4 (2) : 75 – 80.
- Ghuri, A. 2015. *Aliran Fluida Internal dan Eksternal*. Bali : Universitas Udayana
- Gibson, R. F. 2011. *Principles Of Composite Material*. 3 rd ed. Ohio: CRC Press Taylor and Francis Group.
- Hadi, S. 2018. *Teknologi Bahan Lanjut*. 1st ed. Yogyakarta: Andi.
- Harmanto, S. 2018. Pengaruh Kekasaran Ampelas Terhadap Kekasaran Permukaan Bahan Aluminium, Kayu Jati, dan Mahoni. *Jurnal Politeknik Negri Semarang* 38-45.
- Horsak, B. dan M. Heller. 2011. A Three-Dimensional Analysis of Finger and Bow String Movements During the Release in Archery. *Journal of Applied Biomechanics* 27(1) : 151–160.
- Maga, H. 2018. Perancangan Dan Prototipe Riser Panah Recurve Bow. *Skripsi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Magarajan. U., Dharani. S., Arvind. D., Kannan. N., dan P. Hemanandan. 2018. A

- Comparative Study on the Static Mechanical Properties of Glass Fibre Vs Glass-Jute Fibre Polymer Composite. *Materials Today: Proceedings* 5(2). Elsevier. : 6711–6716.
- Manikandan, A. dan R. Rajkumar. 2016. Evaluation of Mechanical Properties of Synthetic Fiber Reinforced Polymer Composites by Mixture Design Analysis. *Journal of Polymers & Polymer Composites* 24(7) : 455–462.
- Meyer, H. O. 2015. Applications of Physics to Archery. *Journal of Physics Department Indiana University* 1–25.
- Miyazaki, T. dan K. Mukaiyama. 2014. Aerodynamic properties of an archery arrow. *Journal of Sport Engineering* 1–20.
- _____, K. Okawa., Y. Komori., S. Taguchi., dan H. Sugiura. 2013. Free flight and wind tunnel measurements of the drag exerted on an archery arrow. *Procedia Engineering* 60 (6) : 67–72.
- Muchammad. 2006. Perhitungan Gaya Drag pada Benda Uji Pelat Persegi Datar Menggunakan Low Speed Wind Tunnel. *Jurnal Momentum* 2 (1) : 15 – 25.
- Nugraha, A. 2018. *Pengukuran dan Teknik Instrumentasi*. Banjarmasin : Universitas Lambung Mangkurat.
- Oroh, J., Sappu. F. P., dan R. Lumintang. 2013. Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Dari Serat Sabut Kelapa. *Teknik Mesin* : 1-10
- Park, K. R. 2008. What function is required for bow. *Journal of International Conference on Biomechanics in Sports* 40–43.
- Park, J. L. 2011. The behaviour of an arrow shot from a compound archery bow. *Journal Sports Engineering and Technology* 225 (1) : 8–21.
- Prasetyo, Y. dan S. A Fajri. 2015. Pengembangan Busur Dari Pralon Untuk Pembelajaran Ekstrakurikuler Panahan Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan Jasmani Indonesia* 11(2) : 88–95.
- Prihadnyana, Y., G. Widayana. dan D. K. Rihendra. 2017. Analisis Aerodinamika Pada Permukaan Bodi Kendaraan Mobil Listrik Gaski (Ganesha Sakti) Dengan Perangkat Lunak Ansys 14 . *Prosiding Seminar Nasional Vokasi dan Teknologi*. Universitas Pendidikan Ganesha. Denpasar. 226-234.
- Siregar, M. I. 2009. Teknik Kalibrasi Thermocoupepl Type - K di PT Inalum Kuala Tanjung. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Tim Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. 2004. *Penggunaan Pemeliharaan Alat Ukur*. Yogyakarta : Depdiknas.
- Wahyudi, U. 2015. Pengaruh Injection Time Dan Backpressure Terhadap Cacat Penyusutan Pada Produk Kemasan Toples dengan Injection Molding Menggunakan Material Polistyrene. *Jurnal Teknik Mesin* 4 (3) : 15-23.
- Yogatama, M. dan T. Ramon. 2018. Studi Koefisien Drag Aerodinamika pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik. *Jurnal Teknik Mesin* 07(1) : 10–14.
- Yong, W. F., A. Zulkifli., dan M. S. Idris. 2016. Development and Analysis of Arrow for Archery. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences* 11(12) : 7443–7450.
- Yunita, V. N., R. Maulana., dan S. Rahayu. 2015. *Kalibrasi dan Kesalahan Pengukuran*. Jakarta : IPQI.

LAMPIRAN



4	1	Nock	Plastic		
3	3	Fletching	Rubber		
2	1	Shaft	Composite (Fiberglass dan Polyester)		
1	1	Point	Aluminium		
NO	JUMLAH	KOMPONEN	MATERIAL	KETERANGAN	
	Skala : 1 : 5		Digambar : Arya Dewa Nugroho		
	Satuan : mm		NIM : 5212415018		
	Tanggal : 04/10/2019		Diperiksa : Dr. Suyitno, S.T., M.Sc.		
Teknik Mesin UNNES			ASSEMBY ARROW	No : 1	A4



Skala : 1 : 1

Satuan : mm

Tanggal : 04/10/2019

Digambar : Arya Dewa Nugroho

NIM : 5212415018

Diperiksa : Dr. Suyitno, S.T., M.Sc.

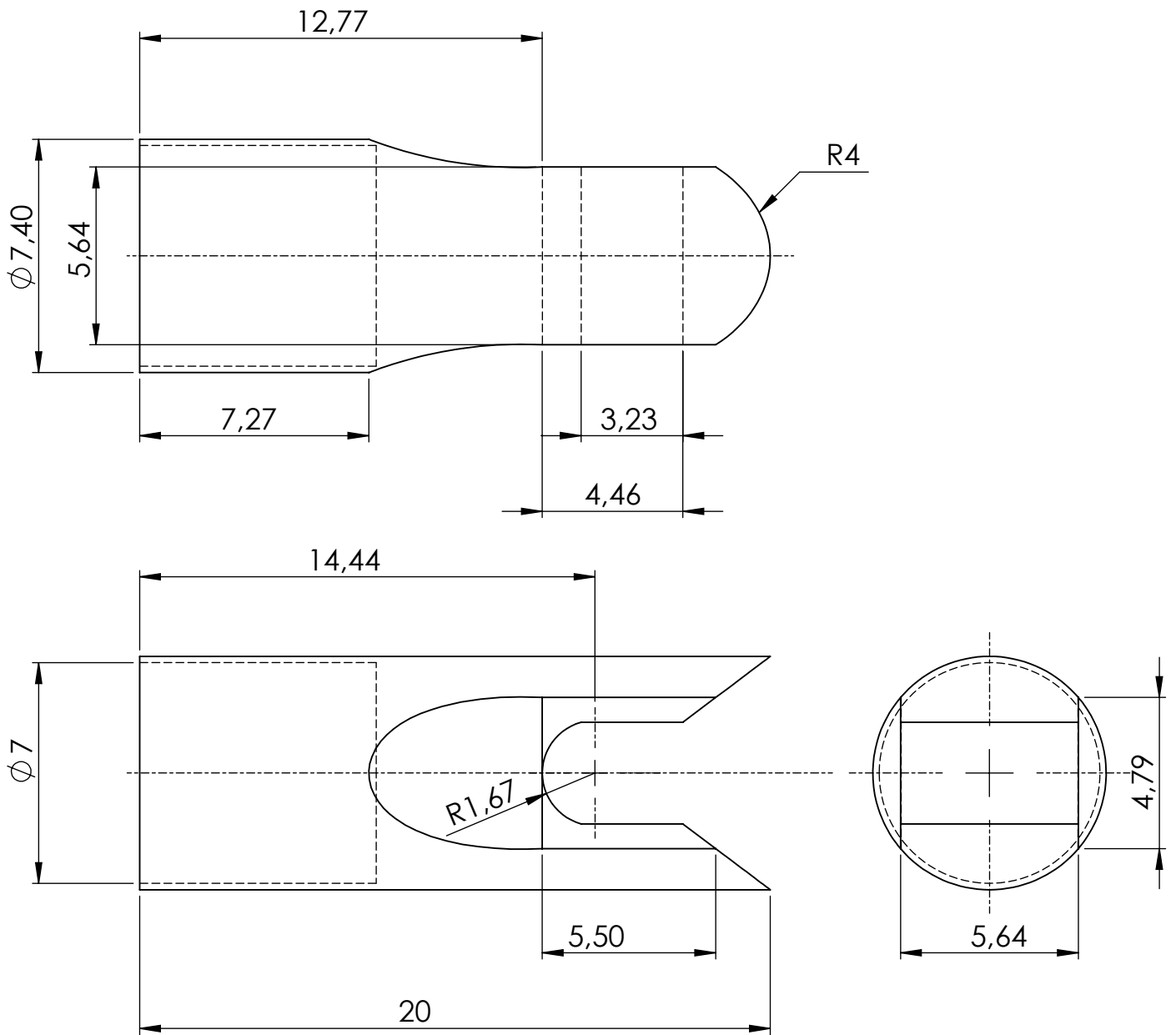
Keterangan

Teknik Mesin UNNES

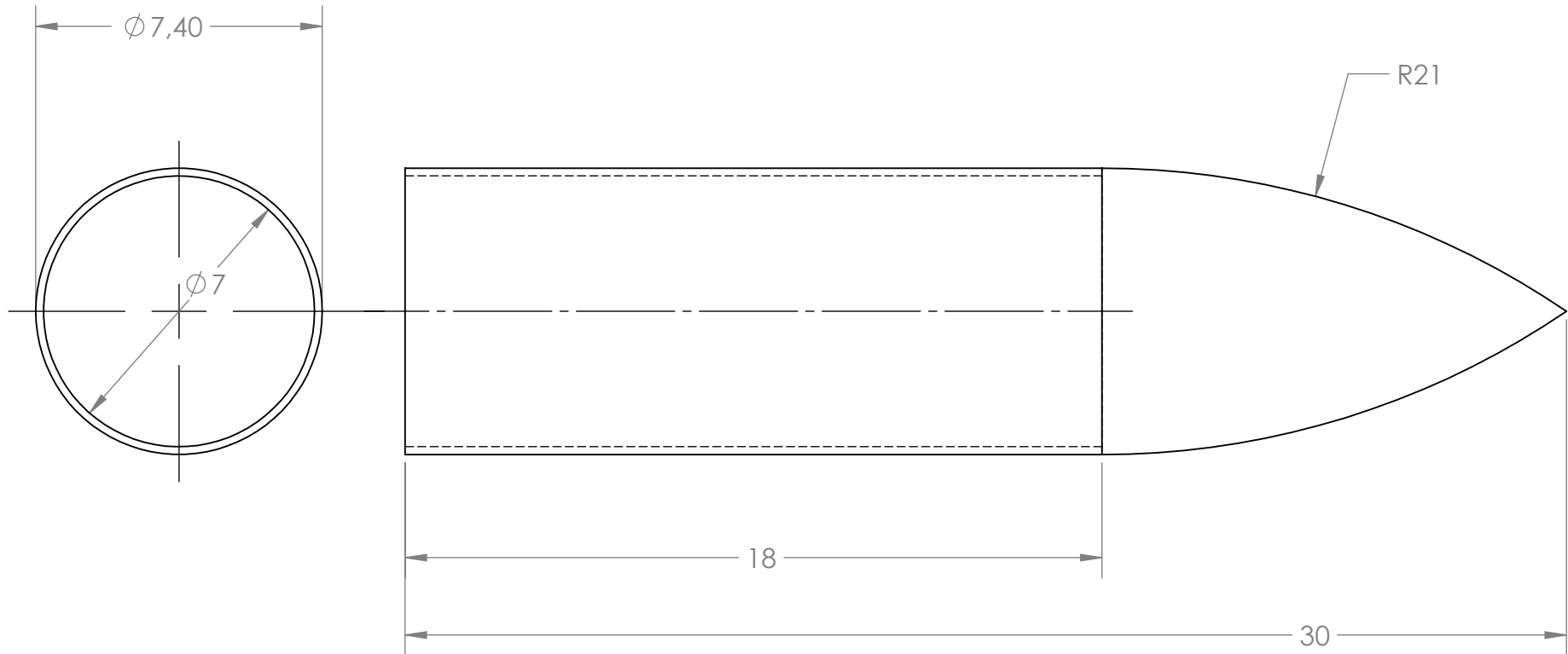
Shaft dan Fletching

No : 2

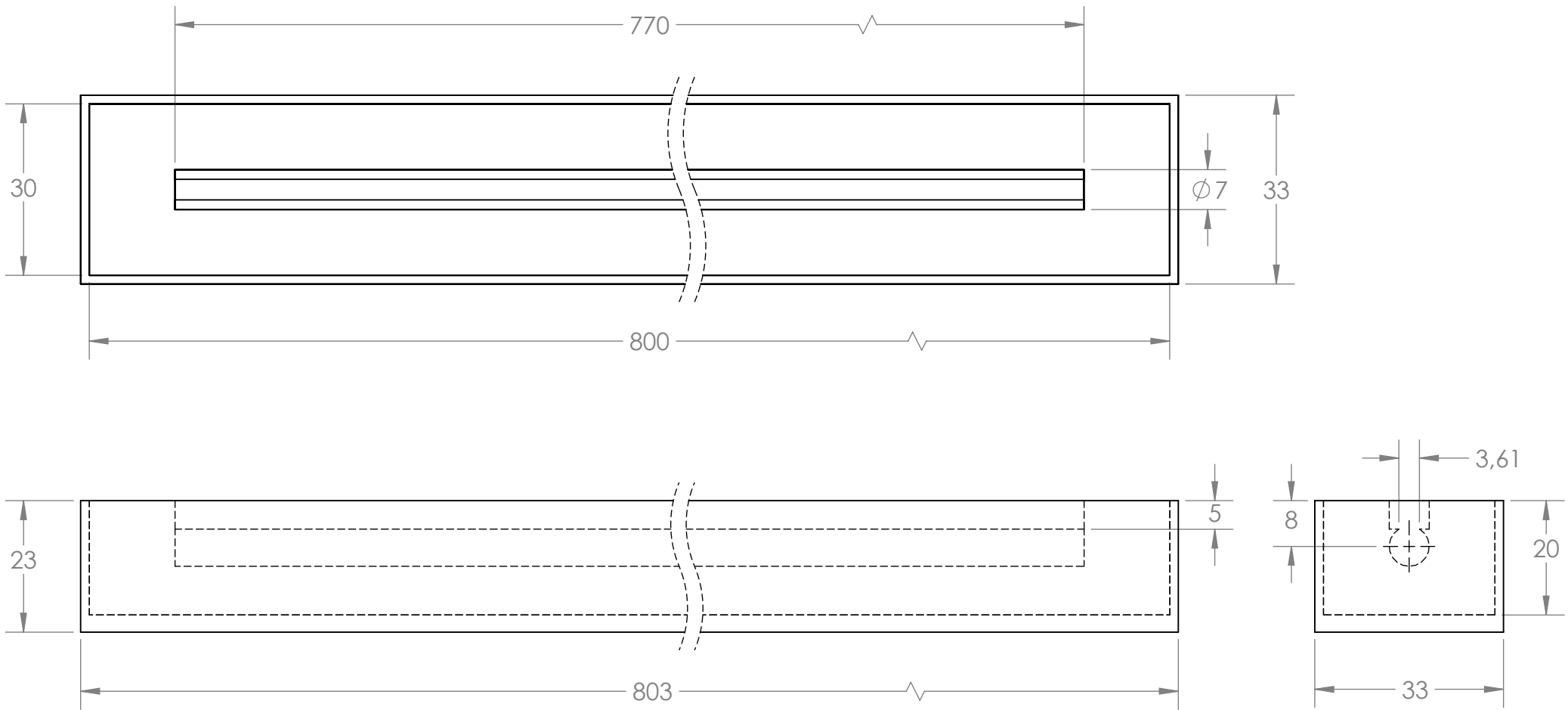
A4



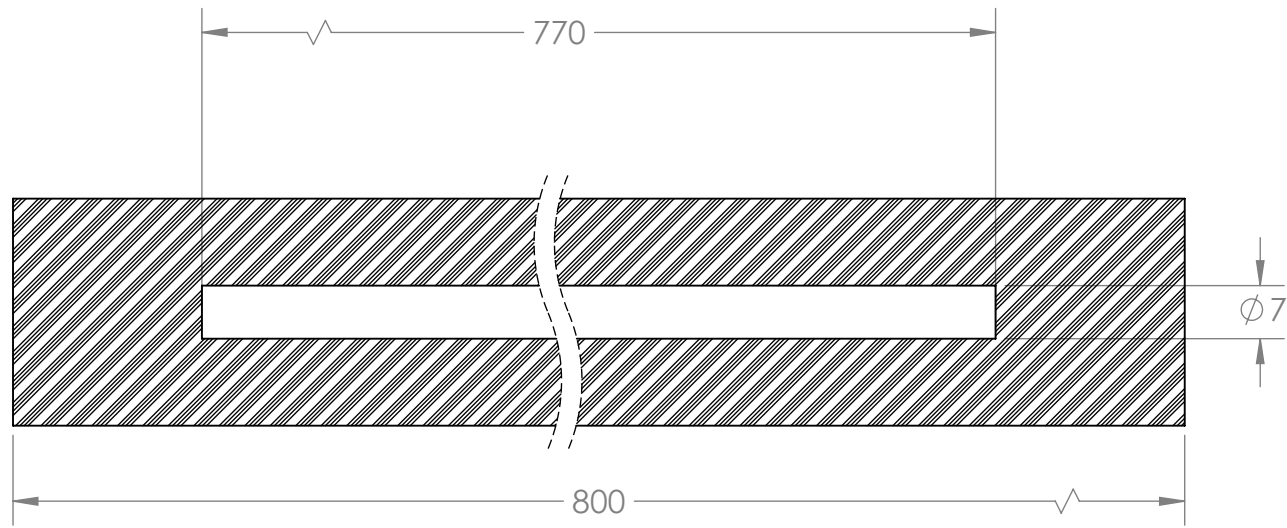
	Skala : 5 : 1	Digambar : Arya Dewa Nugroho	Keterangan
	Satuan : mm	NIM : 5212415018	
	Tanggal : 04/10/2019	Diperiksa : Dr. Suyitno, S.T., M.Sc.	
Teknik Mesin UNNES	NOCK	No : 3	A4



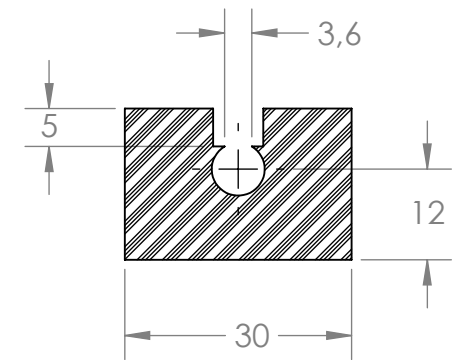
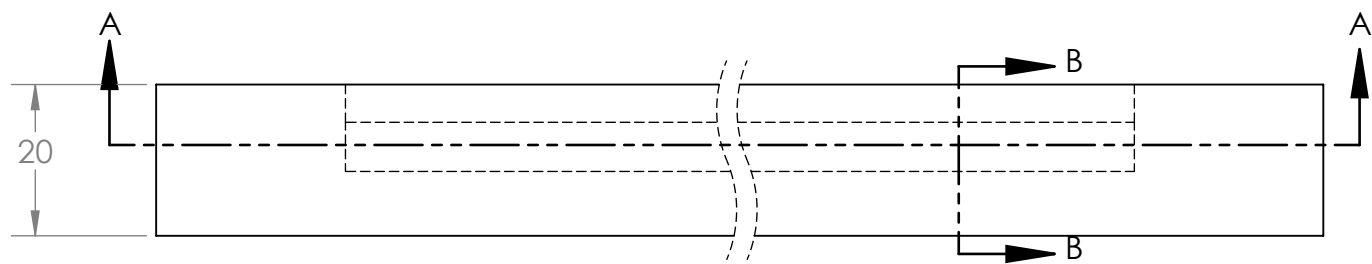
	Skala : 6:1	Digambar : Arya Dewa Nugroho	Keterangan		
	Satuan : mm	NIM : 5212415018			
	Tanggal : 12/06/2020	Diperiksa : Widi Widayat, S.T, M.T.			
Teknik Mesin UNNES		Point		No : 4	A4



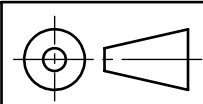
	Skala : 1:1	Digambar : Arya Dewa Nugroho	Keterangan		
	Satuan : mm	NIM : 5212415018			
	Tanggal : 12/06/2020	Diperiksa : Widi Widayat, S.T, M.T.			
Teknik Mesin UNNES		Cetakan shaft		No : 5	A4



SECTION A-A
SCALE 1 : 1



SECTION B-B
SCALE 1 : 1



Skala : 1 : 1
Satuan : mm
Tanggal : 12/06/2020

Digambar : Arya Dewa Nugroho
NIM : 5212415018
Diperiksa : Widi Widayat, S.T, M.T.

Keterangan

Lampiran 2. Foto berat serat satuan gram

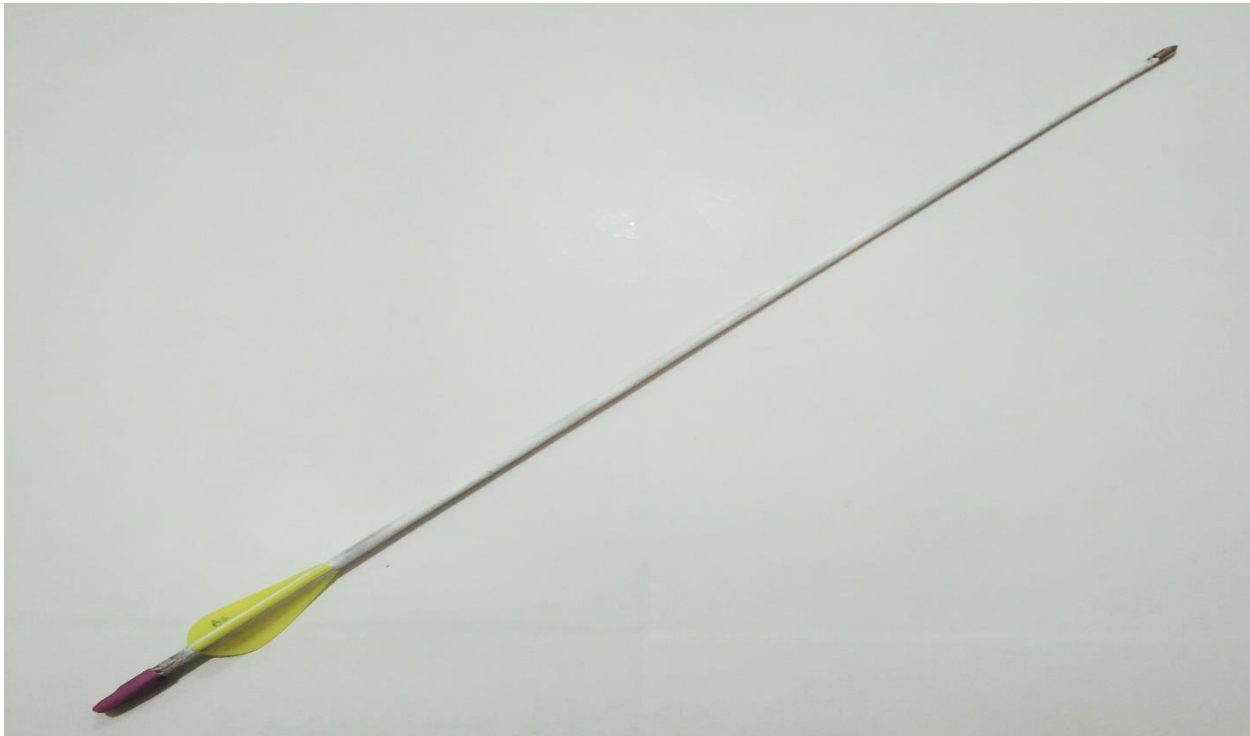


Lampiran 3. Foto *prototipe arrow*

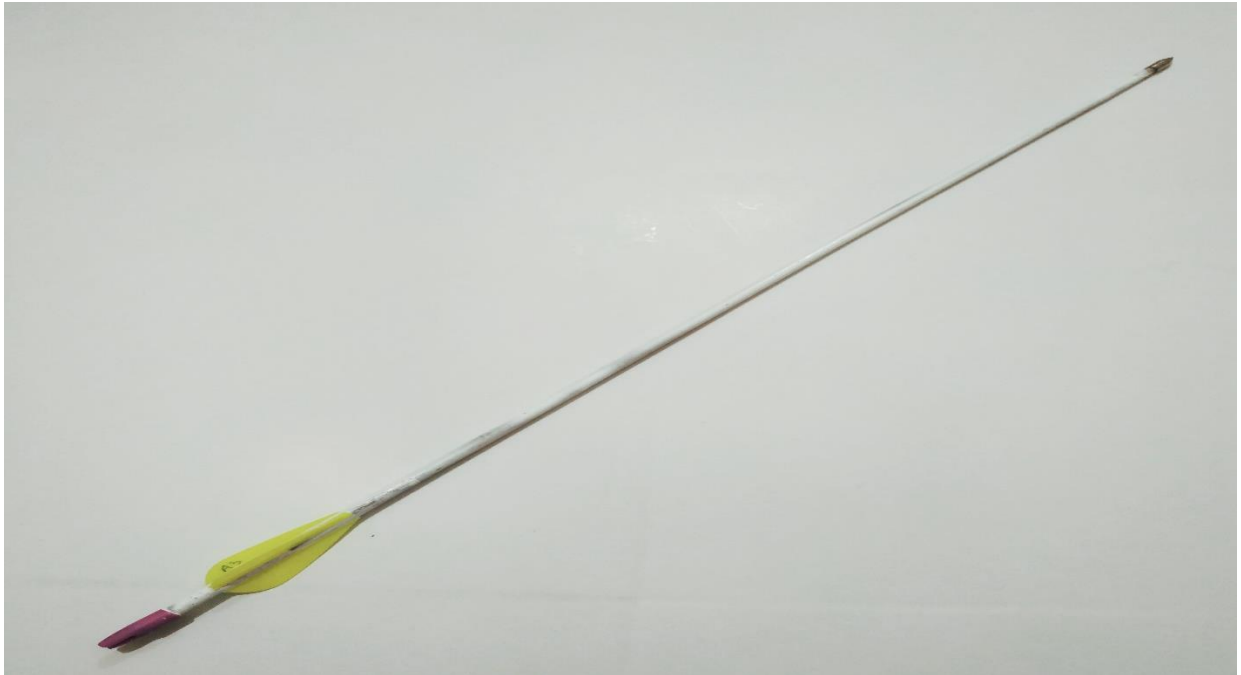
Prototipe A1



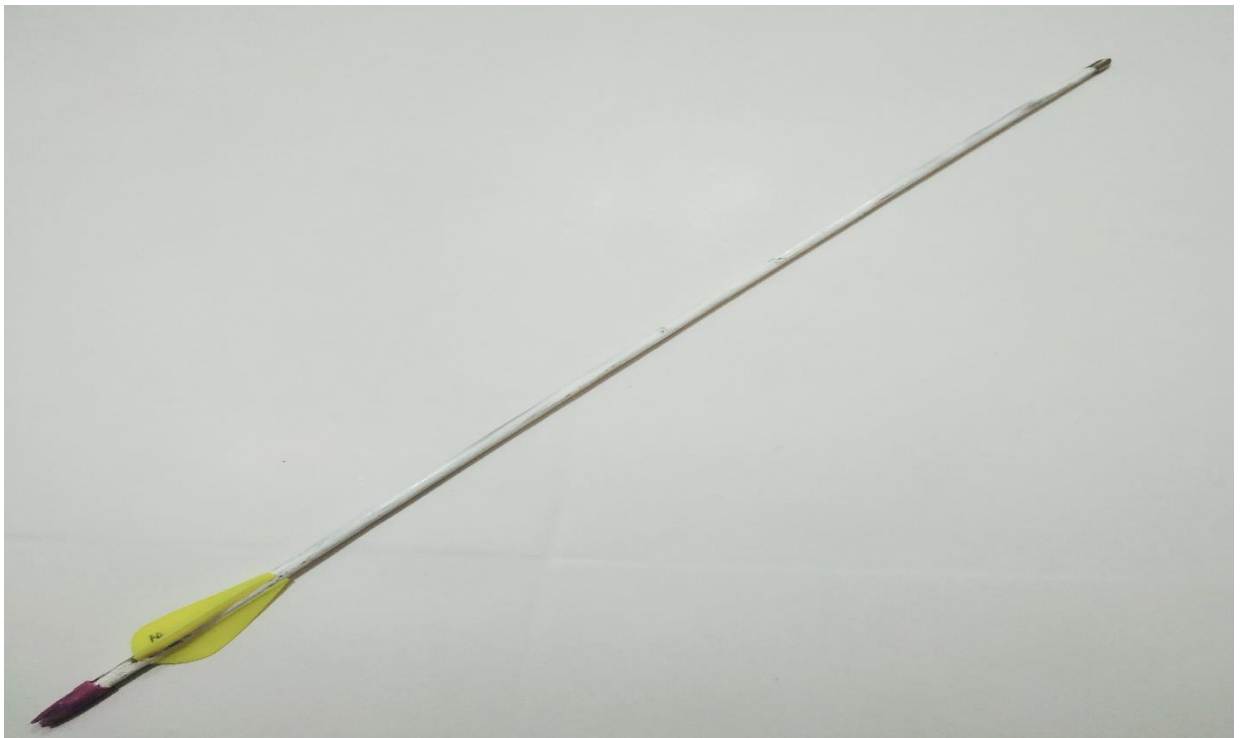
Prototipe A2



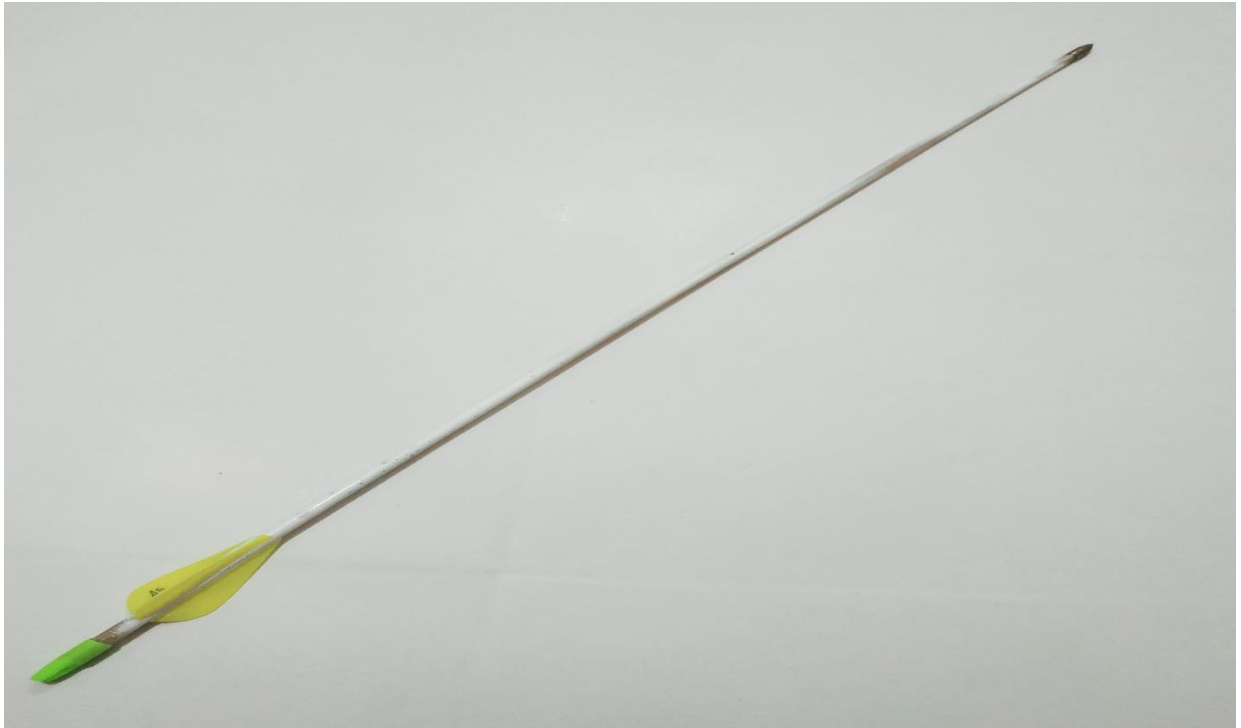
Prototipe A3



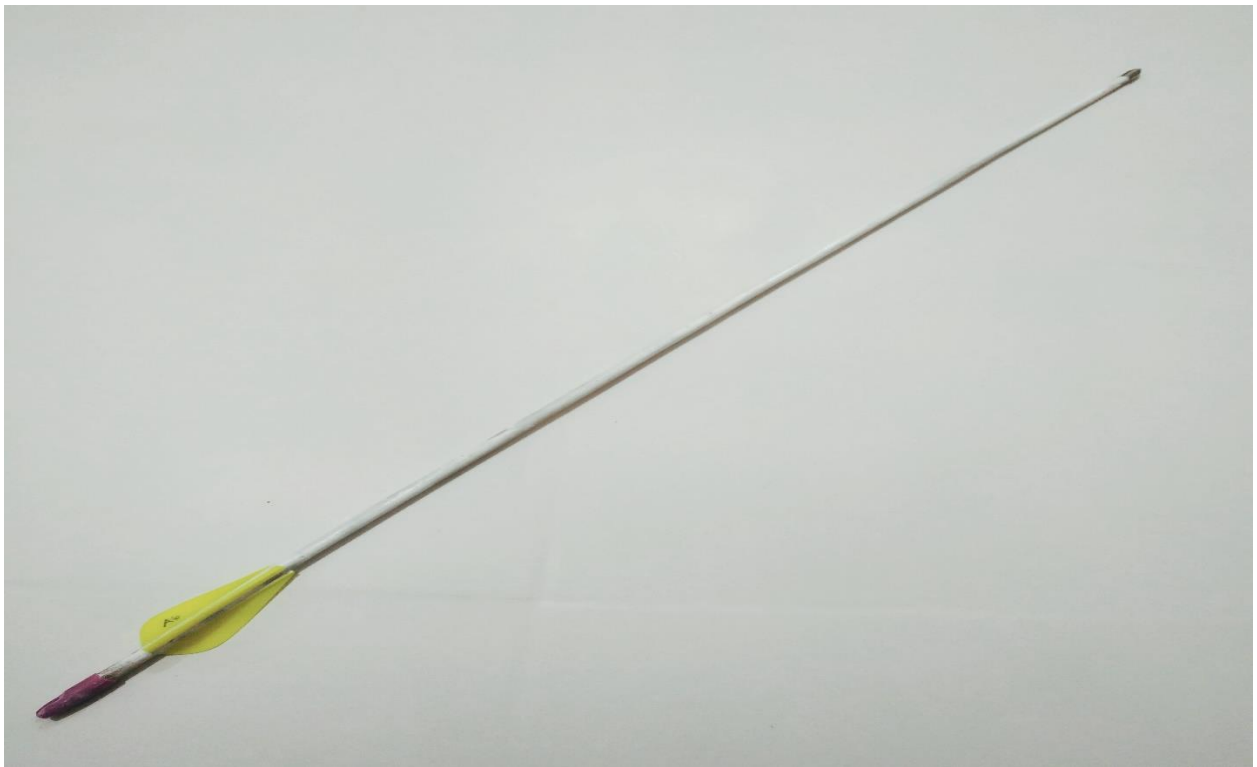
Prototipe A4



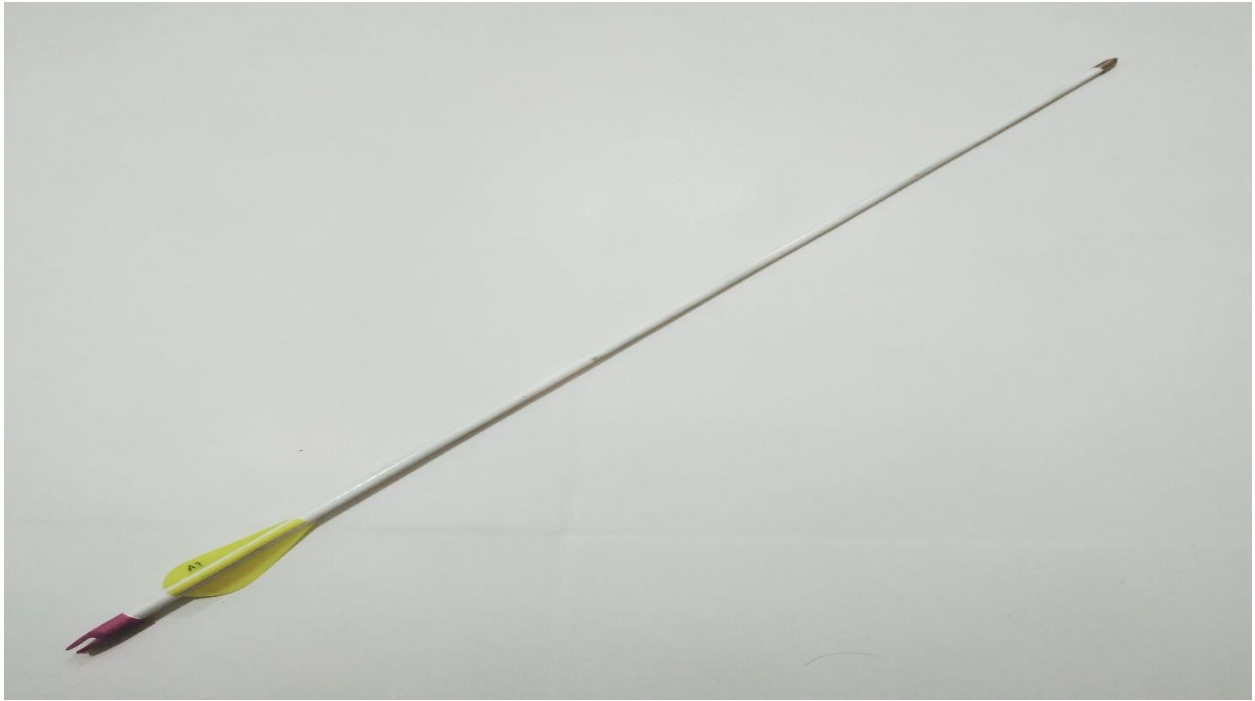
Prototipe A5



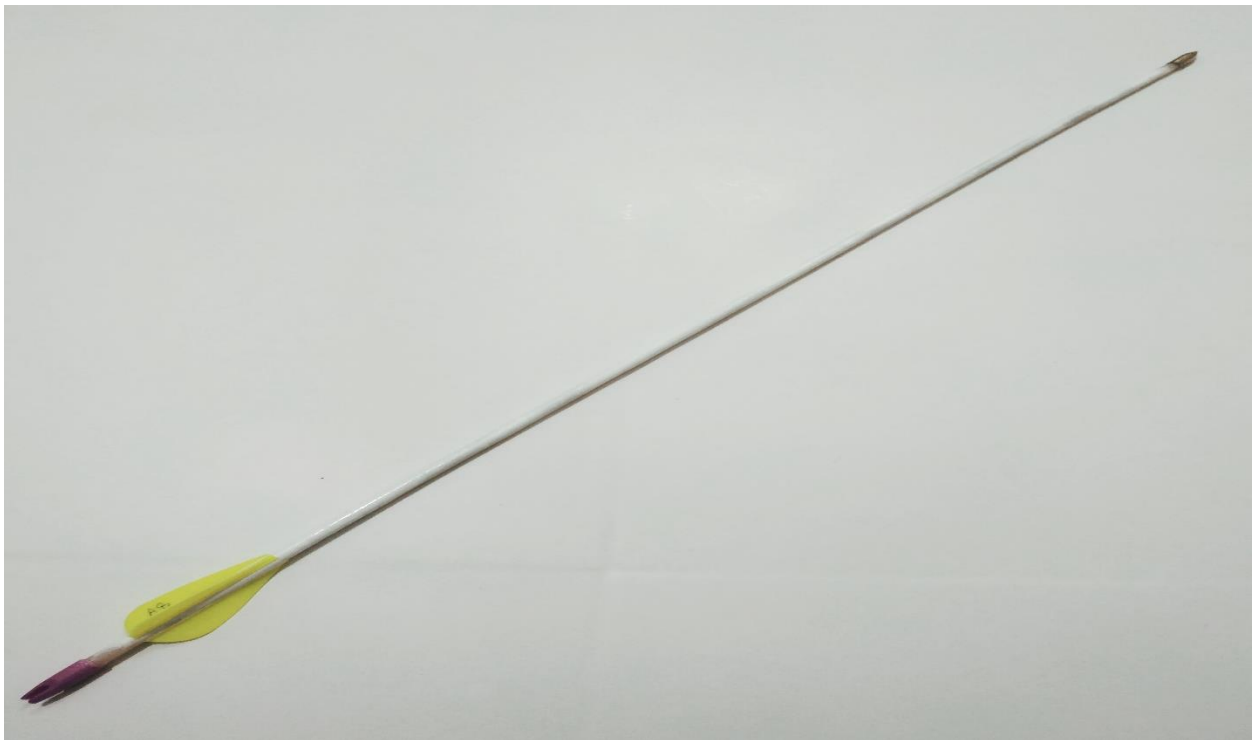
Prototipe A6



Prototipe A7



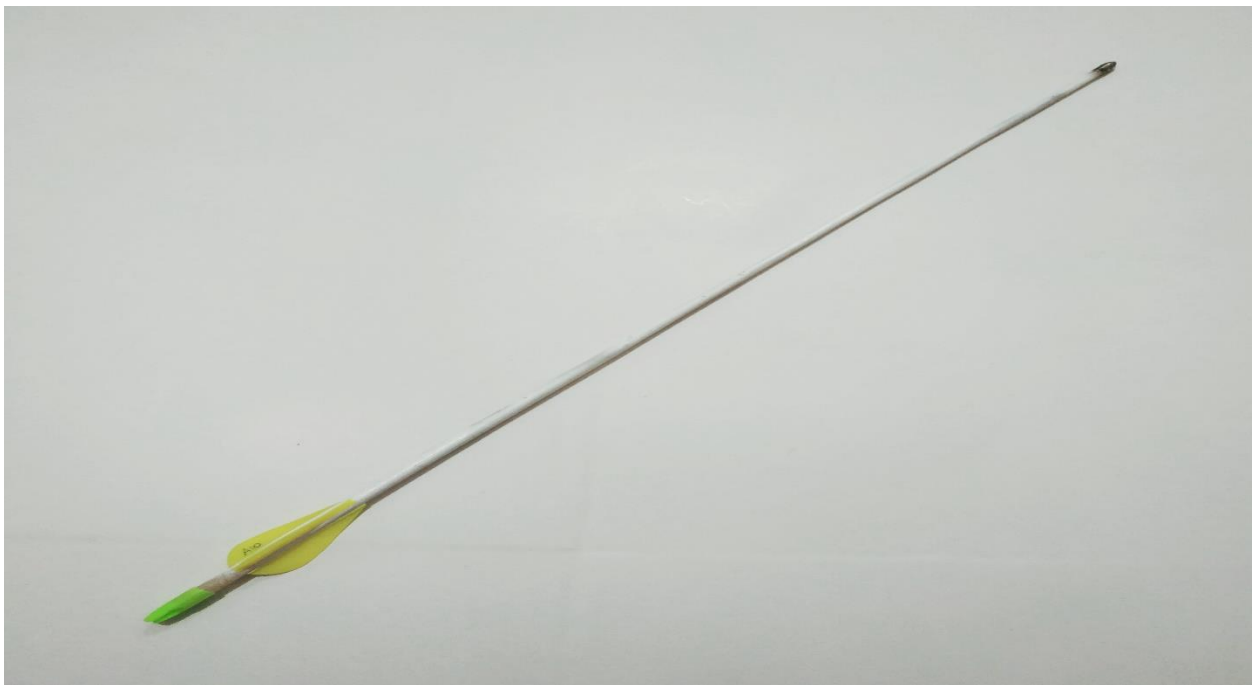
Prototipe A8



Prototipe A9



Prototipe A10



Lampiran 4. Foto uji kerataan

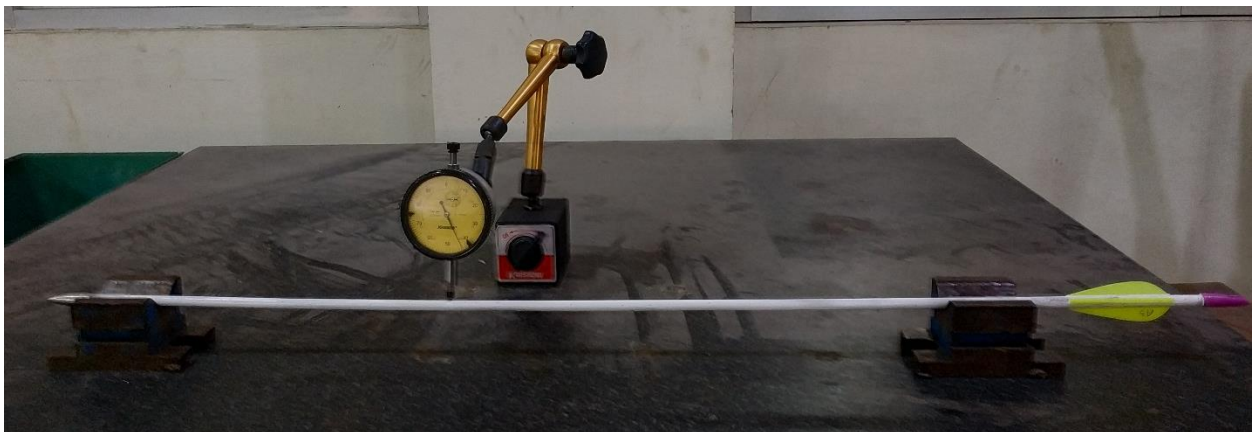
Prototipe A1



Prototipe A2



Prototipe A3



Prototipe A4



Prototipe A5



Prototipe A6



Prototipe A7



Prototipe A8



Prototipe A9



Prototipe A10

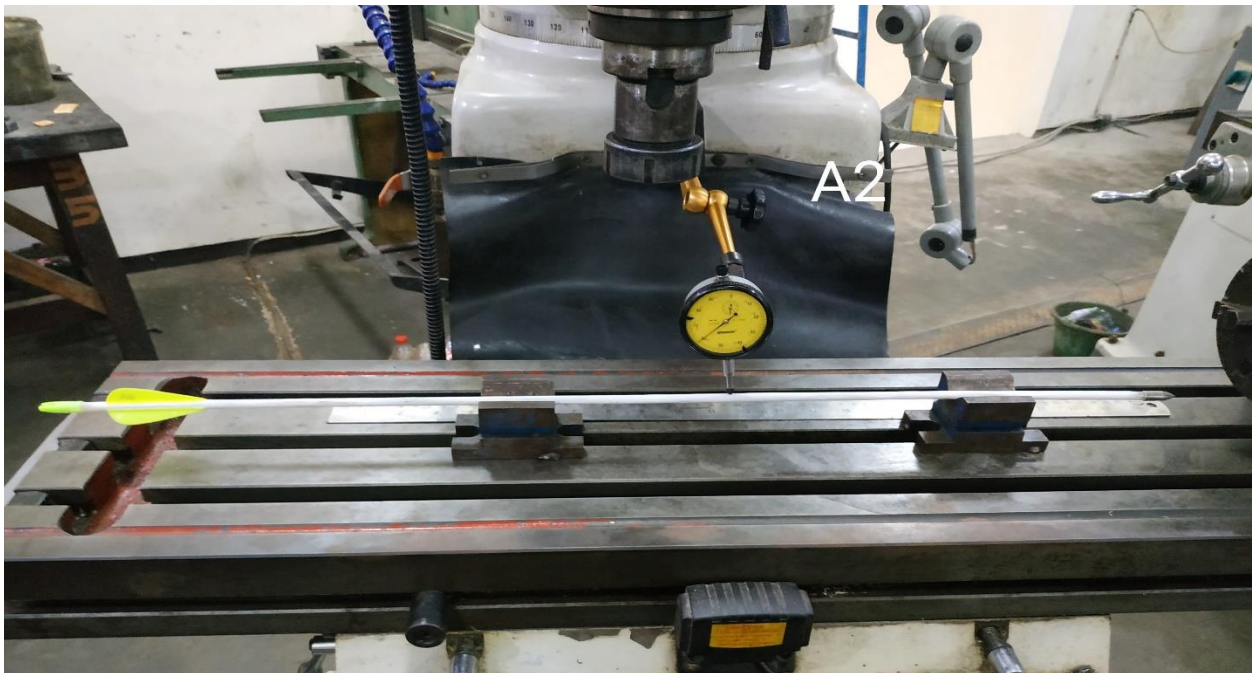


Lampiran 5. Foto uji kelurusan

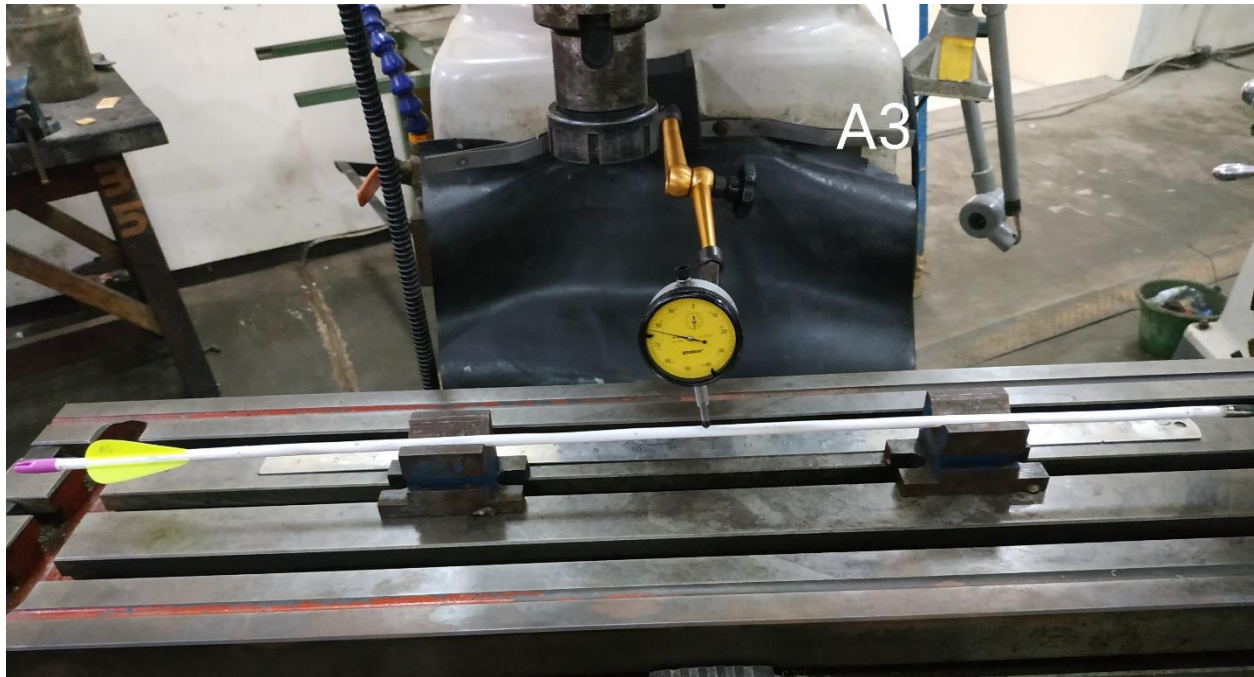
Prototipe A1



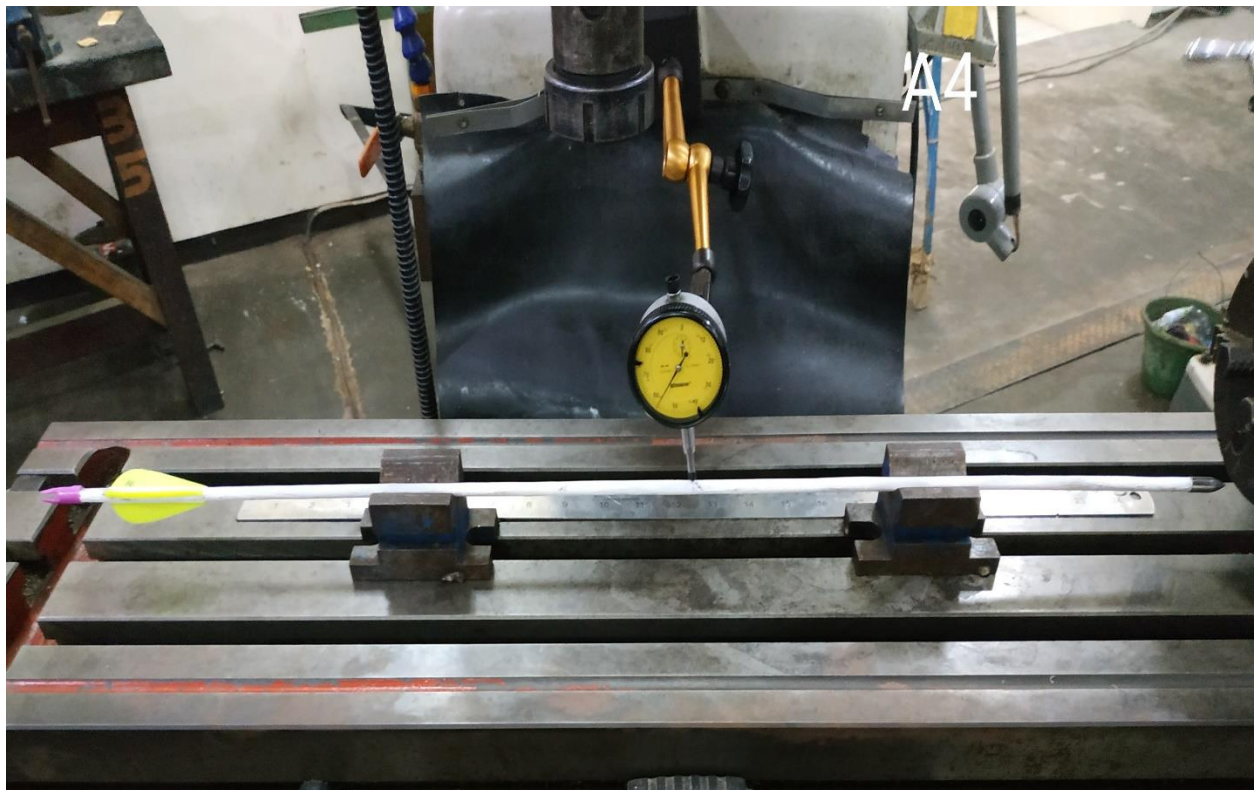
Prototipe A2



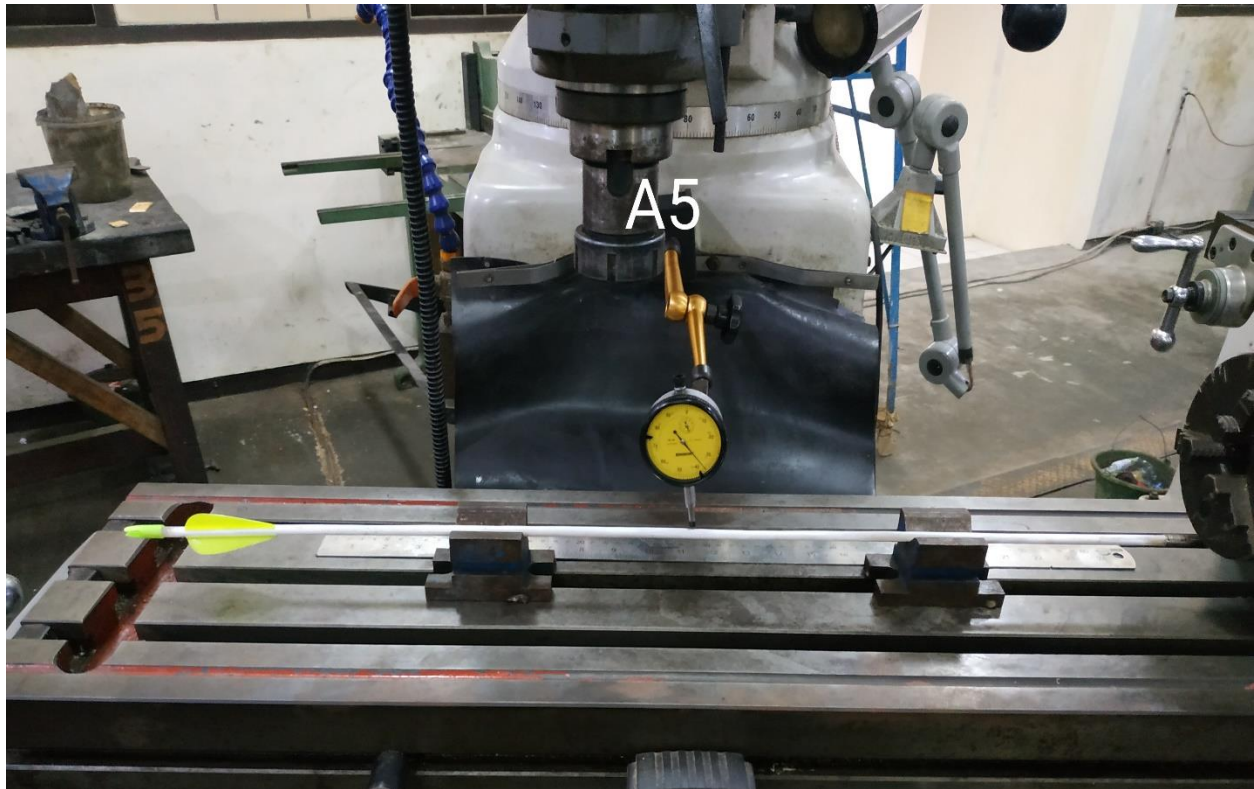
Prototipe A3



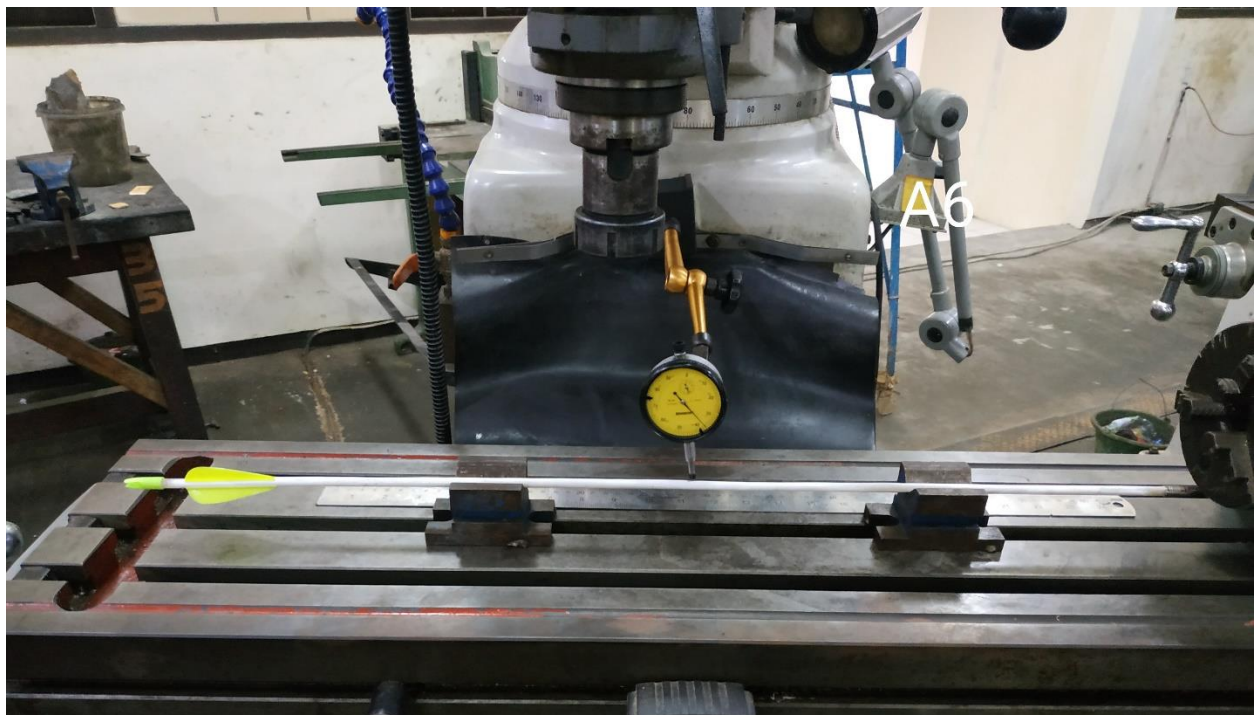
Prototipe A4



Prototipe A5



Prototipe A6



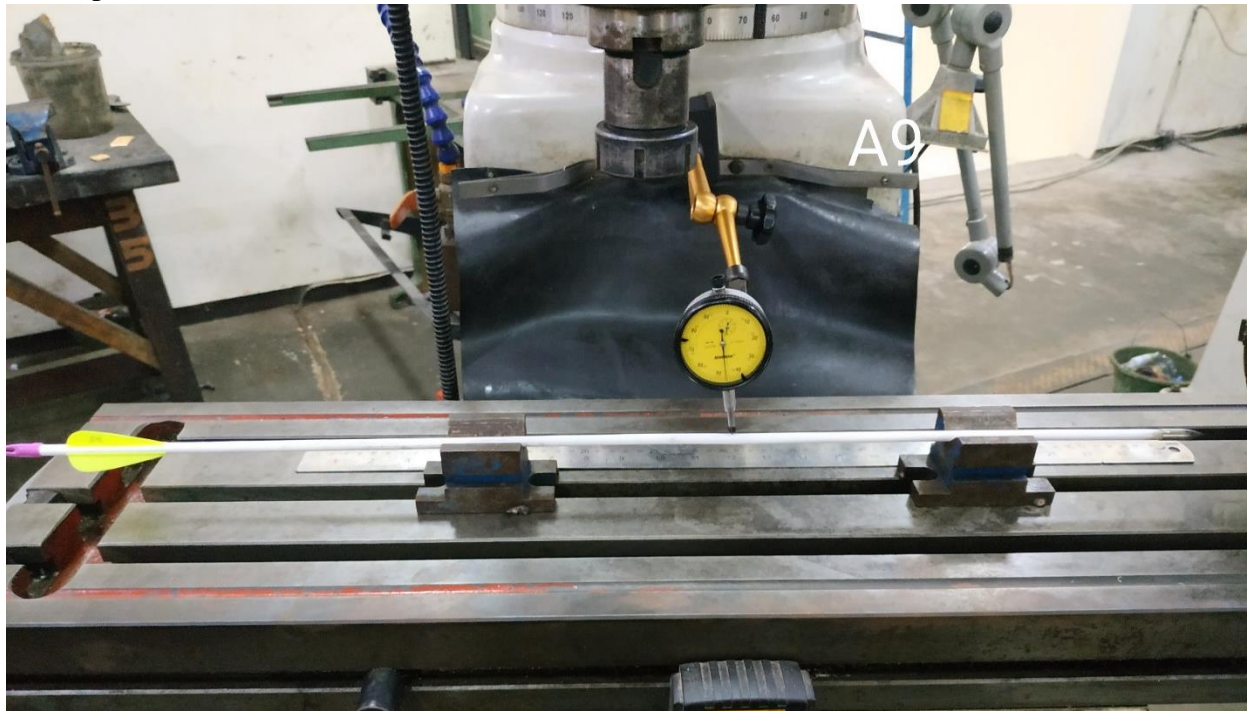
Prototipe A7



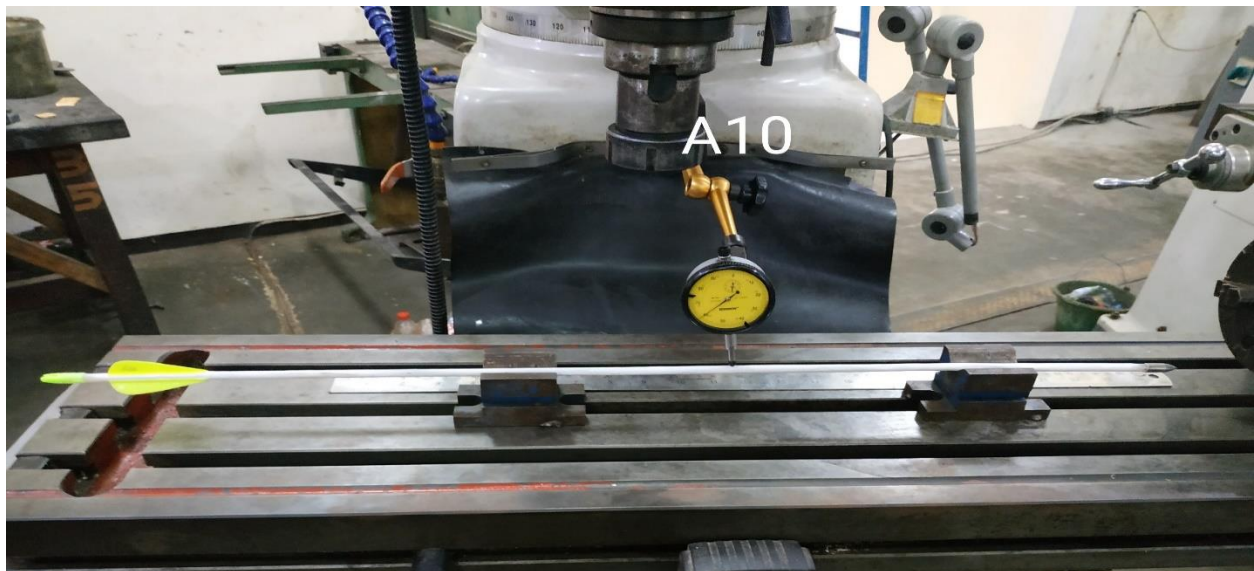
Prototipe A8



Prototipe A9

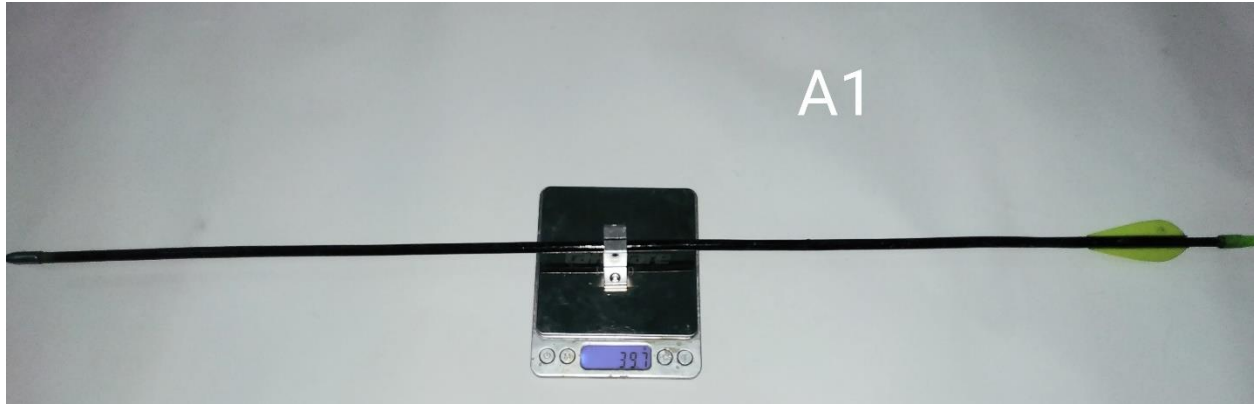


Prototipe A10



Lampiran 6. Berat prototipe

Prototipe A1



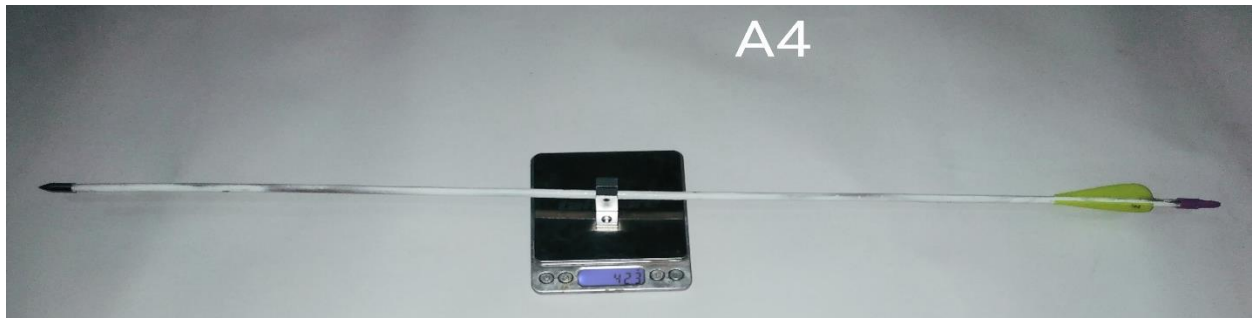
Prototipe A2



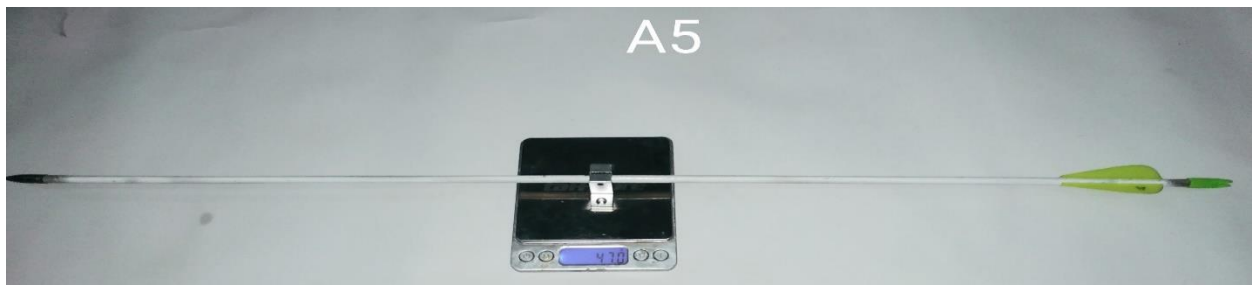
Prototipe A3



Prototipe A4



Prototipe A5



Prototipe A6



Prototipe A7



Prototipe A8



Prototipe A9



Prototipe A10

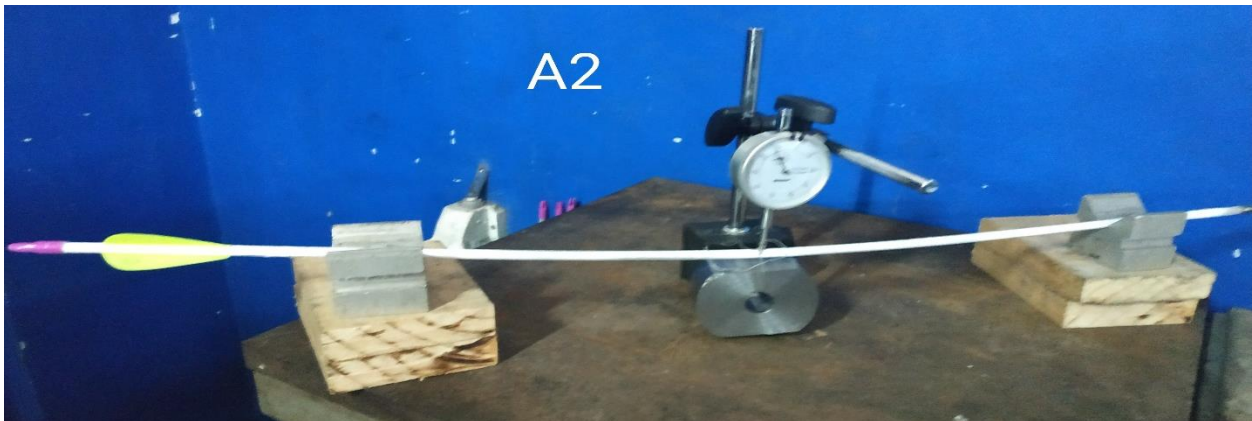


Lampiran 7. Uji Kekakuan *Arrow*

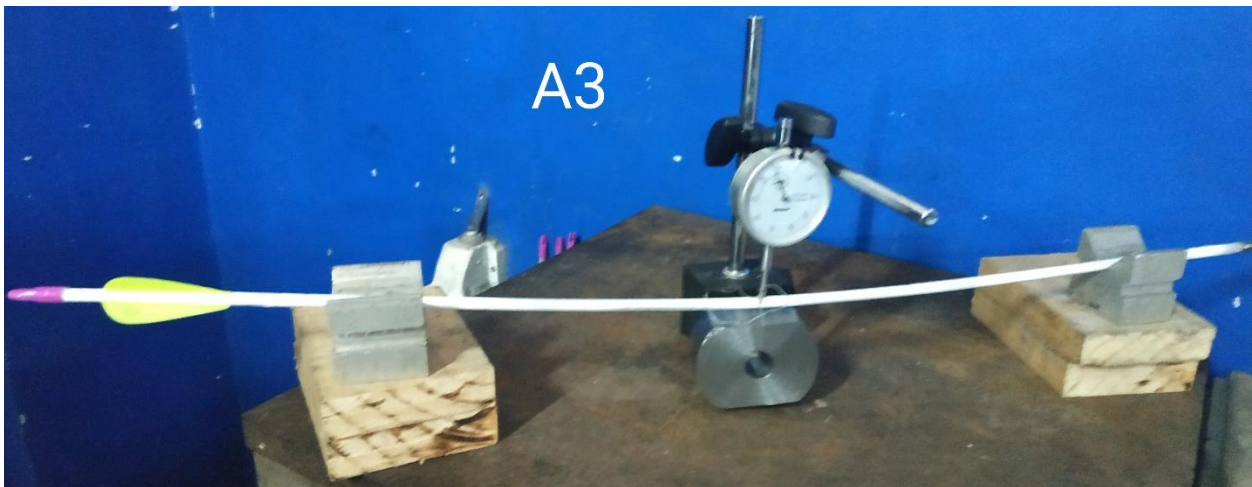
Prototipe A1



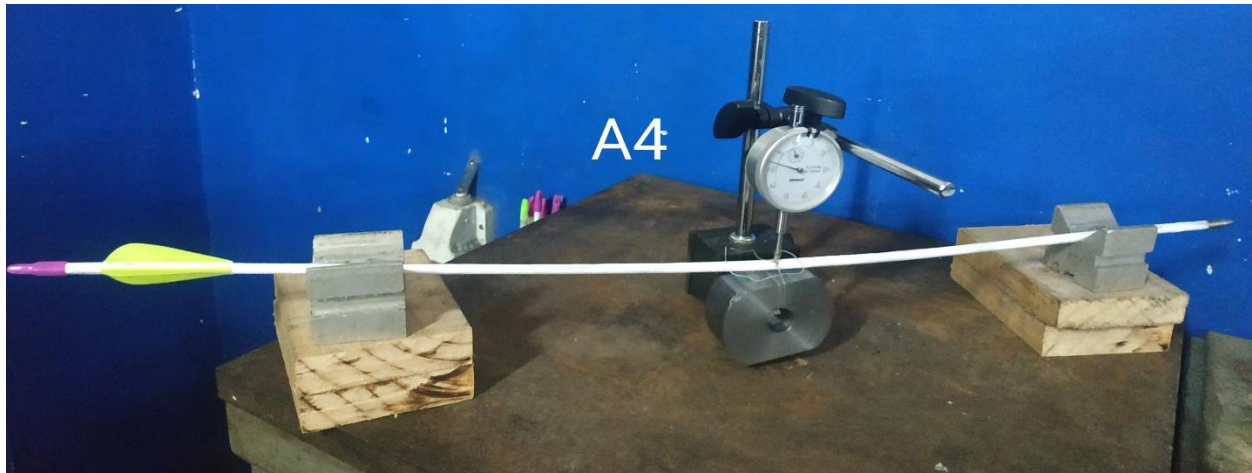
Prototipe A2



Prototipe A3



Prototipe A4



Prototipe A5



Prototipe A6



Prototipe A7



Prototipe A8



Prototipe A9



Prototipe A10

