

Analisis Gerak Anak Panah dengan Kecepatan Awal

Anas Mukhtar¹, Gatut Rubiono²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 01 Banyuwangi 68416
Email: anasmukhtar@unibabwi.ac.id¹, g.rubiono@unibabwi.ac.id²

Abstrak – Olahraga panahan menggunakan busur untuk meluncurkan anak panah dengan kecepatan tertentu hingga mencapai sasarannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis gerak anak panah yang diluncurkan dari busurnya dengan variasi kecepatan awal. Analisis dilakukan dengan kecepatan awal berdasarkan referensi-referensi yaitu sebesar 60 – 230 m/dt dengan interval 10 m/dt. Sudut tembakan diasumsikan sebesar 5°. Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan waktu tempuh untuk mencapai puncak atau tinggi maksimum, tinggi maksimum, waktu tempuh untuk mencapai jarak maksimum, dan jarak maksimum. Hasil perhitungan digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis gerak anak panah. Hasil analisis menjelaskan kecepatan awal anak panah sebagai faktor utama gerak anak panah yang dilepaskan dari busurnya.

Kata kunci: *anak panah, analisis, gerak, kecepatan awal*

PENDAHULUAN

Olahraga panahan merupakan salah satu olahraga tertua di dunia [1]. Busur dan anak panah awal dibuat dari bahan organik alami, yang tersisa sedikit dalam catatan arkeologi. Kepala panah batu api berusia sekitar 64.000 tahun adalah jejak paling awal. Sebelumnya, mata panah yang dikeraskan dengan api akan cukup untuk digunakan busur selama ribuan tahun. Busur paling awal yang masih ada adalah busur Holmegaard berusia 8000 tahun yang terbuat dari kayu elm yang ditemukan di rawa Denmark pada tahun 1940-an. Sebuah busur Neolitik berusia lebih dari 7000 tahun ditemukan di dekat Girona di Catalonia, Spanyol [2]. Busur dan anak panah pada awalnya terutama digunakan untuk berburu dan selanjutnya berkembang menjadi alat untuk perlindungan. Selama bertahun-tahun, manusia telah menyempurnakan busur dari busur panjang ke busur arah balik (*recurve bow*), ke busur berbahan komposit (*compound bow*). Busur dan panah telah menjadi lebih dari sekedar olahraga, di mana seseorang dapat bersaing di level tertinggi yaitu Olimpiade Musim Panas [3].

Panahan adalah cabang olahraga yang menggunakan akurasi sebagai unsur utama yang harus dimiliki setiap atlet. Jenis olahraga statis ini membutuhkan kondisi fisik yang baik diantaranya kekuatan dan daya tahan khususnya pada otot tubuh bagian atas [4]. Olahraga ini lebih dominan pada aspek dorongan berlanjut atau tarikan obyektif eksternal [5]. Aktivitas olahraga ini memerlukan keahlian khusus, baik ketepatan, koordinasi maupun melatih mental dan untuk meningkatkan kebugaran jasmani [6].

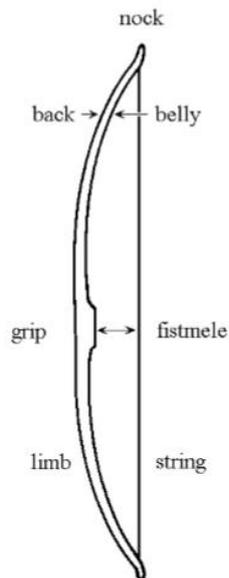
Performansi memanah tergantung pada kesesuaian yang tepat antara panah dan busur. Untuk performa terbaik, panah harus menekuk di sekitar haluan dan menghindari kontak apa pun yang dapat membelokkan panah dari lintasan yang diinginkan [7]. Busur terdiri dari dua bagian yang disatukan oleh pegangan yang digunakan pemanah untuk memegang busur. Tali busur dipasang pada bagian di dekat ujung. Sisi busur yang menghadap pemanah saat digunakan adalah perut, dan sisi yang menjauhi pemanah adalah punggung [8].

Setelah panah dipasang pada tali, pemanah menarik busur dari situasi penyangga ke dalam situasi "ditarik sepenuhnya" atau *fully drawn*, gerakan ini disebut "menarik" atau *drawing*. Untuk itu, pemanah mengaitkan dua atau tiga jari atau ibu jari dari "tangan poros" pada tali busur. Dengan tangan lainnya, "tangan busur", si pemanah memegang busur di pegangannya [9]. Di panahan, waktu paling kritis adalah beberapa detik sebelum anak panah dilepaskan. Waktu paling kritis ini disebabkan lintasan anak panah yang dilepaskan tergantung pada gerakan lengan pemanah pada fase pelepasan [10].

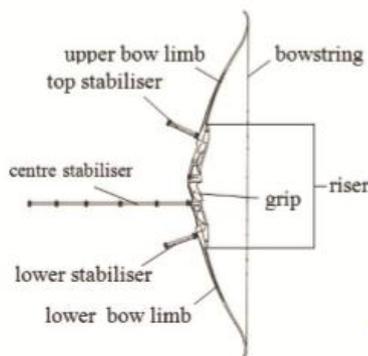
Selama membidik, seorang pemanah memegang busur yang direntangkan sementara sepotong kecil logam atau *clicker*, menekan panah ke samping pada busur. Pada akhir fase membidik, pemanah menarik panah ke belakang hingga *clicker* tergelincir di atas kepala panah dan menyebabkan bunyi klik, lalu pemanah menembak [11]. Saat anak panah dipercepat selama kekuatan gaya dari busur dan saat anak panah keluar dari haluan maka cenderung lentur secara longitudinal, mungkin memiliki sudut serang bukan nol, dan mungkin memiliki kecepatan rotasi longitudinal bukan nol [12]. Sudut dan posisi siku memainkan peran penting dalam mengarahkan

gaya di bahu. Posisi siku harus sejajar dengan garis gaya, yaitu jarak garis bahu dan garis gaya yang paling pendek. Garis ini disebut *draw force line* (DFL) [13].

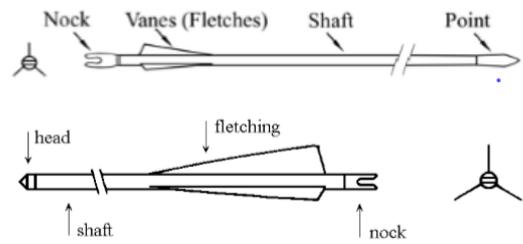
Busur sebagai alat untuk menyimpan energi elastis, dan meneruskan energi ini ke anak panah, kinerja busur sangat bergantung pada energi yang disimpan, dan sebagian energi ini ditransfer ke anak panah. Elemen penting selanjutnya adalah kecepatan panah, jangkauan, lintasan, dan akurasi [8]. Gerakan umum busur dan anak panah dicirikan oleh proses dinamis intensif, yaitu ketidakstabilan impuls gesper dan getaran melengkung [14]. Gerakan umum tali dan panah (balistik internal) disertai dengan osilasi intensif, yang disebabkan oleh rusaknya keseimbangan gaya statis pada saat tali dilepaskan [15]. Hal ini mempengaruhi performa aerodinamis karena hambatan aerodinamis terendah akan dicapai jika jalur panah kira-kira lurus dengan sudut serang nol [7].



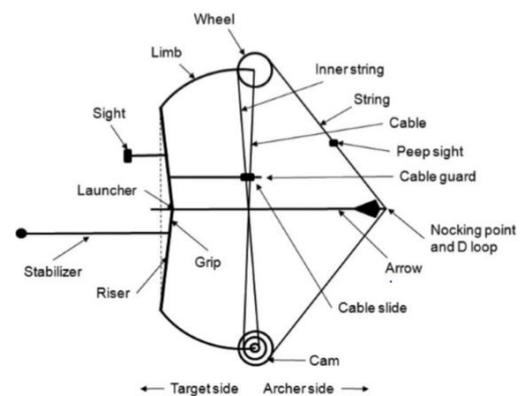
Gambar 1. Busur dan bagian-bagiannya [9]



Gambar 2. Recurve bow dan bagian-bagiannya [11]



Gambar 3. Anak panah dan bagian-bagiannya [7, 9]



Gambar 4. Compound bow [3] dan bagian-bagiannya [12]

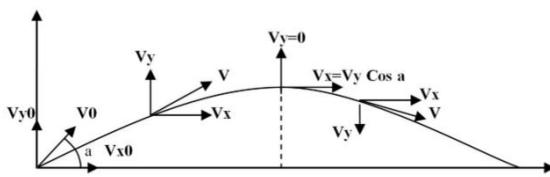
Saat anak panah dilepaskan dari busurnya, anak panah akan bergerak sebagai akibat transfer energi potensial dari busur menjadi energi kinetik anak panah. Gerak anak panah memiliki komponen kecepatan yaitu kecepatan awal sesaat setelah lepas dari busur dan kecepatan saat bergerak di udara. Kecepatan saat bergerak di udara akan cenderung berkurang karena pengaruh aerodinamis. Selain itu, lintasan gerak anak panah akan cenderung berubah karena gaya beratnya yang berkaitan dengan faktor gravitasi bumi.

Energi dan kecepatan sebuah anak panah merupakan fungsi dari massa anak panah [8]. Paradoks pemanah adalah kenyataan bahwa panah tidak terbang pada target di sepanjang garis yang diwakili oleh porosnya. Gaya yang bekerja pada panah selama pelepasannya tidak cukup sesuai dengan sumbu ini [15]. Kecepatan anak panah sebuah turnamen *recurve bow* dapat mencapai 65 m/dt dengan percepatan 700 – 1000g. Sedangkan anak panah dengan bahan komposit dapat mencapai 100 m/dt dengan percepatan 1500 – 1800 m/dt. Sistem penembakan panah baru yang menggunakan udara terkompresi sebagai sumber tenaga, memungkinkan peluncuran anak panah dengan kecepatan lebih dari 60 m/dt [16]. Riset terhadap

orang pemanah terlatih tingkat junior dan nasional Jerman menghasilkan kecepatan anak panah berkisar 186,06 – 230,72 m/dt [11].

Penelitian yang mengkaji anak panah telah dilakukan antara lain kajian aspek dinamika [17], tinjauan aspek mekanis [9], perilaku anak panah di bidang vertikal [15] dan yang ditembakkan dari busur berbahan komposit [12], pemodelan getaran [14], pemodelan perilaku anak panah berbahan komposit [7], anak panah yang ditembakkan atlet terlatih dengan pengukuran akustik [11], karakteristik aerodinamika anak panah karena pengaruh bentuk mata panah [16], dan simulasi sasaran panahan dengan kamera berbasis web dan sensor ultrasonik [18].

Gerak anak panah dapat dianggap sebagai sebuah gerak peluru yang memiliki lintasan parabola dan dapat diskemakan sebagai berikut:



Gambar 5. Lintasan gerak parabola [18]

Seorang pemanah akan membidik sasaran yang diposisikan dengan ketinggian tertentu dari permukaan tanah. Untuk itu perlu sebuah prediksi lintasan gerak anak panah. Arah dan posisi anak panah berdasarkan lintasan gerak parabola di gambar 5 adalah [18]:

$$x = (V_0^2 \sin 2a) / g \quad (1)$$

$$\sin 2a = (x - g) / V_0^2 \quad (2)$$

Dimana:

x = posisi di koordinat sumbu x

V_0 = kecepatan awal (m/dt)

a = sudut lintasan gerak ($^\circ$)

g = konstanta gravitasi (m/dt²) = 9,81 m/dt²

Berdasarkan skema di gambar 5, komponen kecepatan arah sumbu x adalah V_x dan komponen di sumbu y adalah V_y . Komponen kecepatan pada arah sumbu mendatar (sumbu X) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut [19]:

$$V_x = V_0 \cos \alpha = V_0 \cos \alpha \quad (3)$$

Dimana:

α = sudut parabola lintasan ($^\circ$)

Jarak pada arah bidang datar dirumuskan dengan:

$$x = V_x t = V_0 \cos \alpha t \quad (4)$$

Dimana:

t = waktu tempuh

Gerak pada arah vertikal merupakan gerak akibat gaya gravitasi bumi dan dirumuskan sebagai:

$$V_y = V_{0y} - gt \quad (5)$$

Ketinggian benda pada arah vertikal (sumbu Y) dirumuskan sebagai:

$$y = V_{0y} t - \frac{1}{2} gt^2 \quad (6)$$

Atau:

$$y = V_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} gt^2 \quad (7)$$

Gerak anak panah yang dilepaskan dari busur merupakan satu permasalahan yang kompleks. Untuk itu perlu kajian yang dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis gerak anak panah yang diluncurkan dari busurnya dengan variasi kecepatan awal.

METODE

Analisis dilakukan dengan memodelkan anak panah yang dilepaskan dari busur. Karakteristik anak panah seperti bagian-bagian, berat, bahan dan lain-lain serta kecepatan awal didapatkan dari referensi. Anak panah ProTour 470, 420 dan 380 masing-masing memiliki berat 0.0230 kg, 0.0237 kg dan 0.0244 kg [12]. Kecepatan awal didasarkan data dari referensi [11] dan [16] yang berkisar antara 60 – 230 m/dt, diambil dengan rentang nilai 10 m/dt. Sudut tembakan atau lintasan gerak pada skema di gambar 5 dapat diasumsikan 5° .

Analisis dilakukan untuk mendapatkan lintasan gerak anak panah berdasarkan data-data awal yang telah ditentukan. Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan waktu tempuh untuk mencapai puncak atau tinggi maksimum, tinggi maksimum, waktu tempuh untuk mencapai jarak maksimum, dan jarak maksimum. Hasil perhitungan digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis gerak anak panah.

Waktu tempuh untuk mencapai puncak atau tinggi maksimum dirumuskan dari hubungan kecepatan sebagai berikut [20]:

$$V_{ty} = V_0 \sin \alpha - gt \quad (8)$$

Sehingga waktu tempuh untuk mencapai puncak:

$$t = (V_0 \sin \alpha - V_{ty}) / g \quad (9)$$

Dimana V_{ty} adalah kecepatan benda saat mencapai puncak pada arah vertikal atau sumbu y , bernilai nol karena kecepatan hanya bekerja di arah mendatar.

Tinggi maksimum dirumuskan sebagai:

$$Y_{maks} = (V_0^2 \sin^2 \alpha) / 2g \quad (10)$$

Waktu tempuh untuk jarak maksimum dirumuskan sebagai:

$$t_{maks} = 2 t \quad (11)$$

Jarak maksimum dirumuskan sebagai:

$$X_{maks} = V_0 \cos \alpha t \quad (12)$$

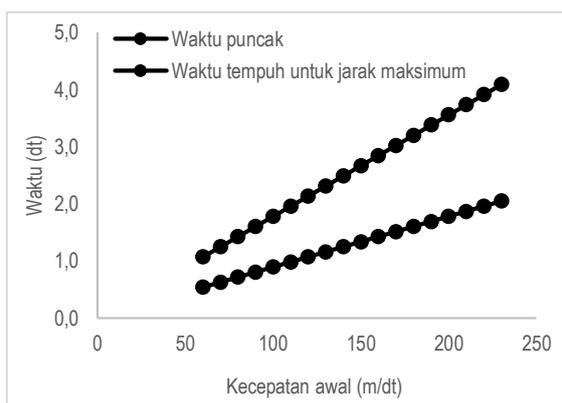
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan persamaan (9), (10), (11), dan (12) dengan asumsi kecepatan awal dan sudut

tembakan yang telah disebutkan maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

TABEL 1
HASIL PERHITUNGAN

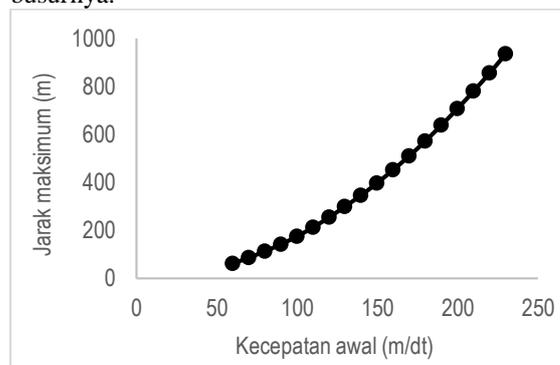
Kecepatan Awal (m/dt)	Waktu Puncak (dt)	Waktu tempuh untuk jarak maksimum (dt)	Jarak Maksimum (m)	Tinggi Maksimum (m)
60	0,53	1,07	63,72	1,39
70	0,62	1,24	86,74	1,90
80	0,71	1,42	113,29	2,48
90	0,80	1,60	143,38	3,14
100	0,89	1,78	177,01	3,87
110	0,98	1,95	214,18	4,68
120	1,07	2,13	254,90	5,58
130	1,16	2,31	299,15	6,54
140	1,24	2,49	346,94	7,59
150	1,33	2,67	398,28	8,71
160	1,42	2,84	453,15	9,91
170	1,51	3,02	511,56	11,19
180	1,60	3,20	573,52	12,54
190	1,69	3,38	639,01	13,98
200	1,78	3,55	708,05	15,49
210	1,87	3,73	780,62	17,07
220	1,96	3,91	856,74	18,74
230	2,04	4,09	936,39	20,48



Gambar 6. Grafik waktu

Grafik di gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan awal maka waktu tempuh anak panah mencapai kondisi puncak dan waktu tempuh untuk mencapai jarak maksimum juga semakin besar. Waktu puncak minimum terjadi pada kecepatan awal 60 m/dt yaitu sebesar 0,53 detik dan waktu puncak maksimum terjadi pada kecepatan awal 230 m/dt yaitu sebesar 2,04 detik. Waktu tempuh untuk mencapai jarak maksimum terendah terjadi pada kecepatan awal 60 m/dt yaitu sebesar 1,07 detik dan tertinggi pada kecepatan awal 230 m/dt yaitu sebesar 4,09 detik.

Perbedaan waktu tempuh ini berkaitan dengan jarak maksimum yang dapat dicapai anak panah jatuh di permukaan tanah. Kecepatan awal yang besar dalam waktu yang pendek akan mencapai jarak tempuh yang besar pula sehingga cenderung akan menghasilkan jarak maksimum yang besar pula. Untuk itu, agar mendapatkan waktu tempuh yang pendek maka anak panah harus memiliki kecepatan awal yang relatif besar saat dilepaskan dari busurnya.

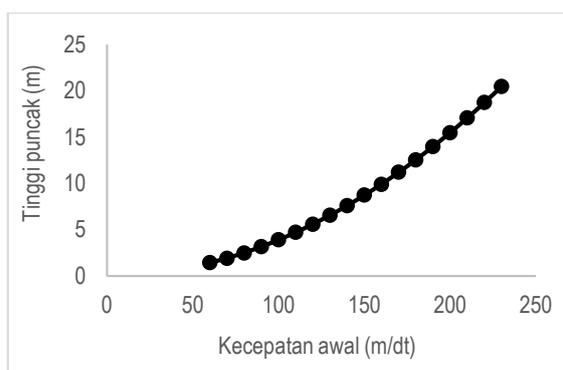


Gambar 7. Grafik jarak maksimum

Grafik di gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan awal maka jarak maksimum juga semakin besar. Jarak maksimum terendah terjadi

pada kecepatan awal 60 m/dt yaitu sebesar 63,72 m. Jarak maksimum tertinggi terjadi pada kecepatan awal 230 m/dt yaitu sebesar 936,39 m.

Kecenderungan ini sesuai dengan hubungan dimana jarak merupakan hasil kali kecepatan dan waktu tempuh. Kecepatan awal merupakan indikator kecepatan gerak anak panah. Semakin besar kecepatan awal maka kecepatan gerak anak panah juga akan semakin besar. Sehingga kecepatan yang besar akan menghasilkan jarak tempuh maksimum yang semakin besar pula. Untuk jarak sasaran yang relatif jauh maka kecepatan awal juga harus relatif besar sehingga waktu tempuh juga relatif kecil.



Gambar 8. Grafik tinggi puncak

Grafik di gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan awal maka tinggi puncak juga cenderung semakin besar. Tinggi puncak terendah terjadi pada kecepatan awal 60 m/dt yaitu sebesar 1,39 meter. Tinggi puncak terbesar terjadi pada kecepatan awal 230 m/dt yaitu sebesar 20,48 m. Kecenderungan ini menunjukkan fenomena yang sama dengan uraian pembahasan sebelumnya dimana kecepatan awal merupakan faktor penentu tinggi puncak.

Berdasarkan persamaan (12), jarak maksimum merupakan fungsi kecepatan awal, sudut tembakan dan waktu tempuh. Kecepatan awal dan waktu tempuh saling berkaitan secara langsung. Untuk mendapatkan jarak sasaran maksimum tertentu dapat diraih dengan kecepatan awal yang maksimum tetapi waktu tempuh yang sangat pendek. Untuk mendapatkan nilai maksimal maka sudut α harus menghasilkan nilai cosinus terbesar yaitu 1. Nilai cosinus ini didapatkan untuk sudut nol derajat sehingga bidikan anak panah saat di busur harus sejajar dengan garis horisontal atau permukaan tanah.

Uraian-uraian ini menunjukkan bahwa kecepatan awal memegang peran penting dalam gerak anak panah yang dilepaskan dari busurnya. Analisis yang dilakukan ini merupakan analisis berbasis gerak parabola atau gerak peluru. Pada kondisi sesaat dimana anak panah berada di satu titik tertentu maka analisis dilakukan berdasarkan gerak lurus berubah

beraturan. Analisis ini belum melibatkan analisis gaya-gaya. Anak panah memiliki berat tertentu sehingga saat bergerak akan mengalami gaya ke arah bawah karena berat dan faktor gravitasi. Selain itu, ujung anak panah akan menembus udara atau atmosfer lingkungan dimana hal ini merupakan fenomena aerodinamika. Gerak anak panah di udara akan menyebabkan terjadinya gaya hambat yang akan mengurangi kecepatan awalnya.

Analisis secara kompleks masih dapat dilakukan dengan melibatkan faktor berat anak panah dan faktor aerodinamika. Untuk mereduksi pengaruh kedua faktor ini maka kecepatan awal akan menentukan kecepatan geraknya sehingga kecepatan awal akan menentukan besar kecilnya waktu tempuh sampai menuju sasaran.

KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa gerak anak panah sangat dipengaruhi oleh kecepatan awal saat anak panah dilepaskan dari busurnya. Analisis lanjutan masih dapat dilakukan dengan menyertakan faktor berat anak panah dan efek aerodinamika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Nusufi, 2016, *Kontribusi daya tahan otot lengan dan panjang lengan dengan ketepatan memanah pada atlet panahan Pengprov Perpani Aceh Tahun 2015*, Jurnal Ilmu Keolahragaan 15(1): 1-25
- [2]. C. Ledsome, 2018, *Designing a better archery bow*, Proceeding of International Conference on Engineering and Product Design Education 6 & 7 September 2018, Dyson School of Design Engineering, Imperial College, London, United Kingdom
- [3]. H. Sabers, 2019, *Performance archery shooting*, A thesis, Master of Science, Industrial Engineering, Iowa State University
- [4]. D. D. S. Yulianto, Soegiyanto, T. Hidayah, 2015, *Pengaruh latihan hand grip terhadap peningkatan ketepatan tembakan anak panah ke sasaran trianggel target face pada klub panahan Mustika Blora tahun 2013*, Journal of Sport Sciences and Fitness 4(2): 27-30
- [5]. D. A. Baskoro, 2016, *Hubungan kekuatan otot lengan, VO₂ max dan persepsi kinestetik terhadap akurasi tembakan jarak 50 meter*, Journal of Physical Education, Sport, Health and Recreation 5(3): 130-133
- [6]. A. W. Utomo, I. Haridito, 2018, *Analysis strenght, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT) pembinaan prestasi atlet panahan di Mayangkara Archery Club Lamongan*, Jurnal Kesehatan Olahraga 02(07): 96-107
- [7]. M. Rieckmann, J. Codrington, B. Cazzolato, 2011, *Modelling the vibrational behaviour of composite archery arrows*, Proceedings of Acoustics 2011 2-4 November 2011, Gold Coast, Australia, Paper Number 102: 1-8
- [8]. T. A. Nieminen, 2010, *The Asian war bow*, conference proceedings of 19th Australian Institute of Physics Congress, ACOFTAOS

- [9]. B. W. Kooi, 1983, *On the mechanics of the bow and arrow*, PhD thesis, Mathematisch Instituut, Rijksuniversiteit Groningen, The Netherlands
- [10]. Z. Taha, J. A. Mat-Jizat, S. F. S. Omar, E. Suwarganda, 2016, *Correlation between archer's hands movement while shooting and its score*, *Procedia Engineering* 147(2016): 145-160
- [11]. M. Heller, 2012, *Evaluation of arrow release in highly skilled archers using an acoustic measurement system*, *Procedia Engineering* 34(2012): 532 – 537
- [12]. J. L. Park, 2010, *The behaviour of an arrow shot from a compound archery bow*, *Proc. IMechE Vol. 225 Part P: J. Sports Engineering and Technology*: 8-21
- [13]. Z. Ahmad, Z. Taha, H. A. Hassan, M. A. Hisham, N. H. Johari, K. Kadirgama, 2014, *Biomechanics measurements in archery*, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)* 6: 762-771
- [14]. I. Zaniewski, 2009, *Modeling of the archery bow and arrow vibrations*, *Shock and Vibration* 16(2009): 307–317
- [15]. I. Zaniewski, 2006, *Archer–bow–arrow behaviour in the vertical plane*, *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 8(1): 63-81
- [16]. K. Mukaiyamaa, K. Suzukia, T. Miyazakia, H. Sawada, 2011, *Aerodynamic properties of an arrow: Influence of point shape on the boundary layer transition*, *Proceeding of 5th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST)*: *Procedia Engineering* 13(2011): 265–270
- [17]. C. N. Hickman, 1937, *The dynamics of a bow and arrow*, *Journal of Applied Physics* 8: 404-409
- [18]. D. Rusjdi, Abdurrasyid, D. A. Wulandari, 2017, *Calculation for simulation of archery goal value using a web camera and ultrasonic sensor*, *AIP Conference Proceedings* 1867(2017) 020058: 1-6
- [19]. D. N. Afifah, D. Yulianawati, N. Agustina, R. D. S. Lestari, M. G. Nugraha, 2015, *Metode sederhana menentukan percepatan gravitasi bumi menggunakan aplikasi tracker pada gerak parabola sebagai media dalam pembelajaran fisika sma*, *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2015 (SNIPS 2015)* 8 dan 9 Juni 2015, Bandung, Indonesia: 305-308
- [20]. J. E. Sipayung, D. R. Ardani, Y. Afina, A. S. L. Pradipta, Herimanto, 2015, *Simulasi mencari waktu pada gerak parabola/peluru*, <https://www.researchgate.net/publication/280683760>, diakses 10 Agustus 2020