



Analisis Tendangan Pisang Pesepak Bola

David Bandhaso^{1,2}, Adrianus Inu Natalisanto^{1,2,*}, Rahmawati Munir^{1,2}

¹⁾ *Laboratorium Fisika Teori dan Material, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman*

²⁾ *Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman*

*Jln. Barong Tongkok, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu,
kota Samarinda, 75242, Kalimantan Timur, Indonesia*

**¹⁾E-mail korespondensi: adrianus.inu@gmail.com*

Abstract

Banana kick is a type of soccer kick uses the Magnus effect. The Magnus effect is a change in the direction of the ball's trajectory caused by the Magnus force. The force arises when a ball moving in air rotates on its axis. This research was conducted to analyze the ball entering the goal as a result of the Magnus force created by footballers. By used Tracking Video Analysis and Modeling Tool software to several video tracks of football matches, it can be obtained the initial velocity, elevation angle, and angular velocity to determine the reach and heigh of the ball and the pertain Magnus force. The optimal kick condition is at a distance of 12,51628 meters from the goal, it can show the bending of the ball's trajectory. The results of this study can be used in banana kick training.

Keywords: *Banana Kick, Magnus Effect, Soccer, Tracking Video*

PENDAHULUAN

Tendangan pisang merupakan salah satu jenis tendangan dalam sepak bola. Tendangan ini memunculkan gaya Magnus yang menyimpangkan arah lintasan bola akibat bola yang berotasi pada sumbunya ketika bergerak dalam lintasannya. Penelitian terdahulu tentang tendangan pisang telah dilakukan oleh [4] dan Purwadi [9]. Mereka berhasil merumuskan persamaan solusi analitik dan memperlihatkan simulasi lintasan bola yang mengalami Efek Magnus.

Namun, dari penelitian mereka dan penelitian lain yang terkait oleh Akbar [1] dan Leela [7], penulis belum menemukan penelitian tentang pembuktian keberlakuan persamaan solusi lintasan tersebut pada kondisi sesungguhnya, khususnya pada tendangan bola yang menghasilkan gol. Oleh karena itu, penulis terdorong meneliti keberlakuan persamaan solusi lintasan tersebut pada kondisi sesungguhnya lewat perbandingan antara lintasan hasil persamaan matematika dan lintasan dari hasil *tracking software* atas video sejumlah pertandingan sepak bola. Hasil penelitian diharapkan dapat dipakai dalam pelatihan tendangan pisang.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam sepak bola, saat seorang pemain profesional menendang bola, dia tentu telah melakukan perhitungan yang akurat secara intuitif sehingga tendangannya akan mempengaruhi bentuk lintasan bola. Bentuk lintasan itu selain dipengaruhi kecepatan awal, sudut elevasi bola yang ditendang, juga dipengaruhi gravitasi bumi dan rotasi bola yang timbul akibat ketepatan atau tidak tendangan pada pusat massa bola tersebut. Bila tendangan tepat pada pusat massa, maka bola akan bergerak mengikuti lintasan parabola, sedangkan bila tendangan tidak tepat pada pusat massa, maka bola akan berotasi dan bergerak mengikuti lintasan tendangan pisang karena munculnya gaya Magnus. Adanya perbedaan tekanan udara di atas dan di bawah bola, sehingga bola bergerak ke arah tekanan yang tinggi seolah-olah bola berbelok dari jalur seharusnya.

Pada bola yang ditendang tepat pada pusat massanya itu, bila diterapkan hukum Newton kedua, akan dapat diperoleh persamaan lintasan bola Tanpa Efek Magnus, yaitu:

$$y = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} x - \frac{1}{2} \frac{g}{v_{0x}^2} x^2. \quad (1)$$

Namun, pada bola yang ditendang tidak tepat pada pusat massanya, akan terjadi rotasi dan timbul gaya Magnus. sehingga bila diterapkan hukum Newton kedua, akan diperoleh persamaan lintasan bola dengan Efek Magnus, yaitu:

$$y = \left(\frac{1}{\omega}\right) \{\omega(\dot{x} - A) + g\}. \quad (2)$$

dengan

$$A = \frac{(g + v_{0x} \cdot \omega)}{\omega}, \quad (3)$$

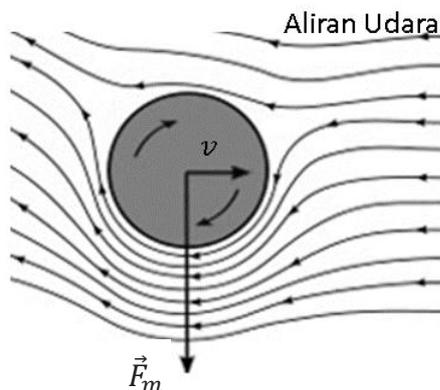
$$\omega = \frac{\pi^2 \rho D^3 f}{2 \cdot m}, \quad (4)$$

dan

$$\dot{x} = -\frac{g}{\omega} + A \cdot \cos(\omega t) + V_{0y} \cdot \sin(\omega t). \quad (5)$$

Gaya Magnus pada bola yang berotasi tersebut sebesar [9]

$$\vec{F}_m = \frac{\pi}{4} \rho D^3 \vec{\omega} \times \vec{v}. \quad (6)$$



Gambar 1. Efek Magnus yang Terjadi Pada Benda Berotasi

Termuat dalam pers. (1), (2), (3), (4), atau (5), besaran x dan y yang menyatakan posisi titik massa bola di dalam ruang 2D koordinat kartesian, g yang menyatakan percepatan gravitasi bumi, V_{0x} yang menyatakan kecepatan awal bola terhadap sumbu- x , V_{0y} yang

menyatakan kecepatan awal bola terhadap sumbu-y, D yang menyatakan diameter bola, f yang menyatakan frekuensi rotasi bola, ρ yang menyatakan rapat massa udara, m yang menyatakan massa bola, dan t yang menyatakan waktu.

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu: laptop, perangkat lunak *Tracker Video Analysis and Modelling Tool* (TVAMT), dan perangkat lunak Microsoft Excel. Perangkat lunak TVAMT dipakai untuk memperoleh nilai titik-titik koordinat pergerakan bola tiap perubahan waktu, kecepatan awal bola, kecepatan bola tiap perubahan waktu, sudut tendangan bola (sudut elevasi), kecepatan sudut putaran bola terhadap sumbunya, jarak jangkauan dan ketinggian bola masuk gawang dari tangkapan citra video bahan penelitian. Sementara itu, perangkat lunak Microsoft Excel dipakai untuk memplot grafik pers. (1), pers.(2), dan titik-titik koordinat pergerakan bola hasil *tracking* TVAMT, serta untuk memperoleh nilai-nilai MAPE (persamaan (7)).

Video yang dianalisa tersebut berupa video lima tendangan ke gawang yang menghasilkan gol. Video ke-1 ialah video tendangan Neymar dalam pertandingan final Olimpiade di Rio 2016 antara Brasil melawan Jerman (*link* akses video: <https://www.youtube.com/watch?v=od-dwl1QCbQ>). Video ke-2 ialah video tendangan Toni Kross dalam pertandingan Group F FIFA WC 2018 Rusia antara Jerman melawan Swedia (*link* akses video: <https://www.youtube.com/-watch?v=KVis67xtTck>). Video ke-3 ialah video tendangan Balotelli dalam pertandingan Group K UEFA Europa League 2017 antara OGC Nice melawan Zulte Waregem (*link* akses video: <http://www.youtube.com/-watch?v=od-dwl1QCbQ>). Video ke-4 ialah video tendangan Rakitic dalam pertandingan Group B UEFA Champions League 2018 antara Barcelona melawan Tottenham (*link* akses video: <https://www.youtube.com/-watch?v=nSblgPqKtwo&t=95s>). Video ke-5 ialah video tendangan Xhaka dalam pertandingan Premier League 2018 antara Arsenal melawan Crystal Palace (*link* akses video: <https://www.youtube.com/wat-ch?v=sULe-koZ7-jKo&t=168s>).

Pengambilan data dengan TVAMT itu dilakukan dengan langkah-langkah, yaitu: dipersiapkan video pertandingan sepak bola, dibuka aplikasi TVAMT, diimpor video, diatur posisi awal dan akhir *frame video*, diatur koordinat menggunakan *coordinate axes*, dikalibrasi ukuran terhadap tinggi gawang (2,44 m) atau jarak titik penalti ke garis gawang (11 m), dilakukan *tracking* video dari posisi awal bola hingga terjadi gol, dan disalin data hasil *tracking* ke dalam Microsoft Excel untuk diolah.

Pengolahan data dilakukan untuk menampilkan grafik hubungan jangkauan dan ketinggian dalam lintasan *tracking* tanpa Efek Magnus dan dengan Efek Magnus. Langkah-langkah pengolahan data dengan Microsoft Excel itu, yaitu: disiapkan *Microsoft Excel*, kemudian dimasukkan variabel ke dalam *cell* dan rumus ke dalam *formula bar*. Baik untuk lintasan dengan Efek Magnus maupun tanpa Efek Magnus, digunakan massa dan diameter bola sesuai ketentuan FIFA, yaitu $m=(0,422 \pm 0,010)$ kg dan diameter $D(0,216 \pm 0,004)$ m. Dalam kedua tinjauan itu dipakai rapat massa udara $\rho = 1,2 \frac{kg}{m^3}$.

Hal terakhir yang dilakukan adalah uji korelasi dengan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Uji itu dilakukan untuk memeriksa tingkat akurasi hasil peramalan per. (1) dan persamaan (2) terhadap hasil *tracking* TVAMT. Persamaan MAPE itu, yaitu:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \left(\frac{h_{eks(i)} - h_{hit(i)}}{h_{eks(i)}} \right) \times 100\% \right|}{n} \quad (7)$$

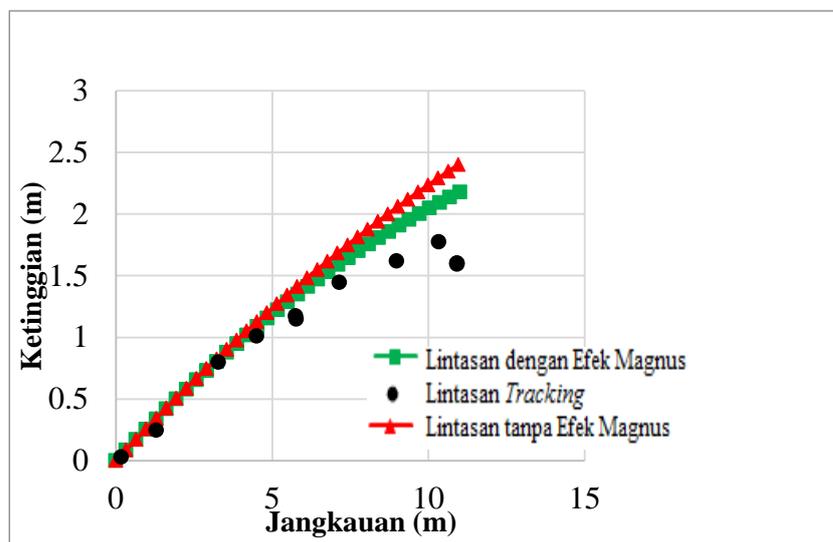
dengan $h_{eks(i)}$ menyatakan nilai dari hasil eksperimen, $h_{hit(i)}$ menyatakan nilai dari hasil persamaan dengan Efek Magnus atau tanpa Efek Magnus, dan n menyatakan banyaknya data [3]. Nilai MAPE yang diperoleh kemudian dicocokkan dengan indikator yang diperlihatkan dalam Tabel 1. Dari tabel tersebut terlihat prinsip penyimpulan nilai MAPE, yaitu: semakin kecil nilai MAPE, maka semakin sesuai hasil pers. (1) atau pers. (2) dengan hasil *tracking* TVAMT.

Tabel 1. Tabel Penjelasan MAPE

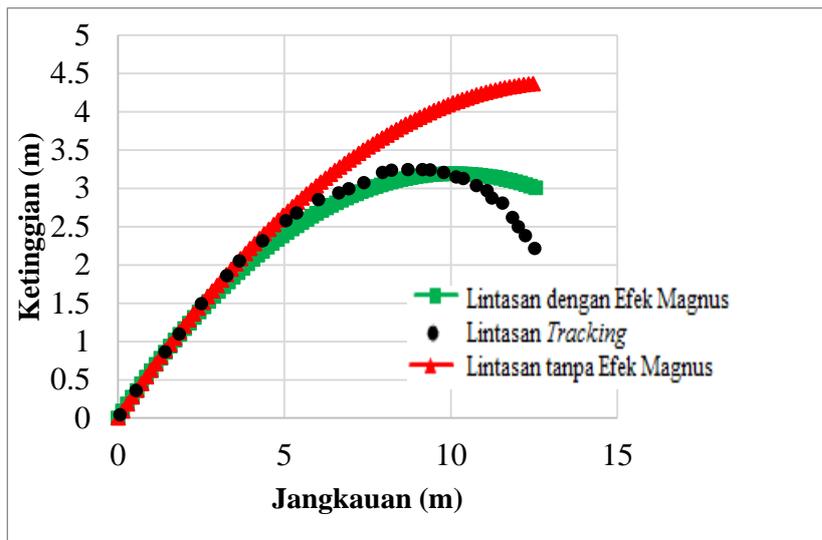
Kode	Range MAPE	Kesimpulan
SB (Sangat Baik)	< 10 %	Kemampuan model peramalan sangat baik
B (Baik)	11 – 20%	Kemampuan model peramalan baik
C (Cukup)	21- 50 %	Kemampuan model peramalan layak
K (Kurang)	>51 %	Kemampuan model peramalan buruk

HASIL DAN PEMBAHASAN

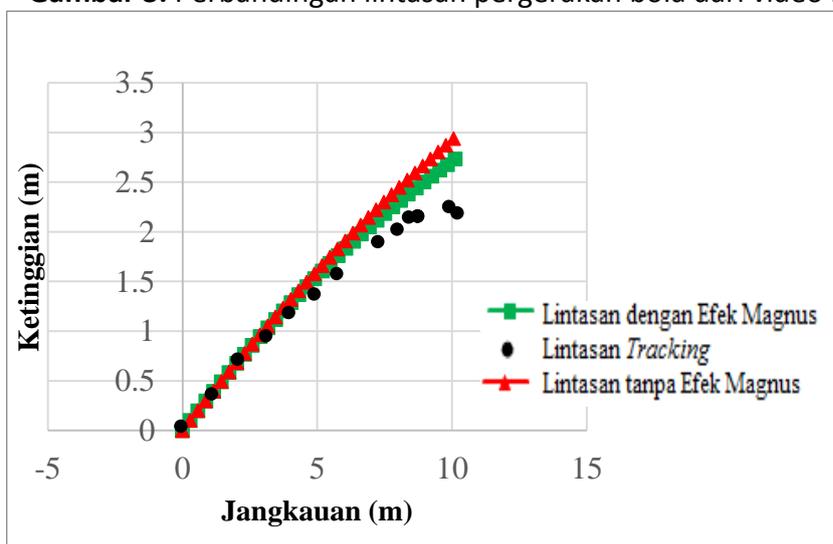
Dari *tracking* terhadap video ke-1 s.d. video ke-5 dengan perangkat lunak TVAMT diperoleh data waktu, kecepatan, sudut elevasi, kecepatan sudut, jarak jangkauan dan ketinggian. Data kecepatan awal, sudut elevasi dan kecepatan sudut yang diperoleh itu kemudian dimasukkan ke dalam persamaan Efek Magnus (pers. (2) s.d. (6)) dan persamaan tanpa Efek Magnus (pers. (1)). Lalu, hasilnya untuk tiap perubahan waktu di-plot ke dalam grafik menggunakan Microsoft Excel dengan hasil diperlihatkan dalam Gambar 1 s.d. Gambar 5.



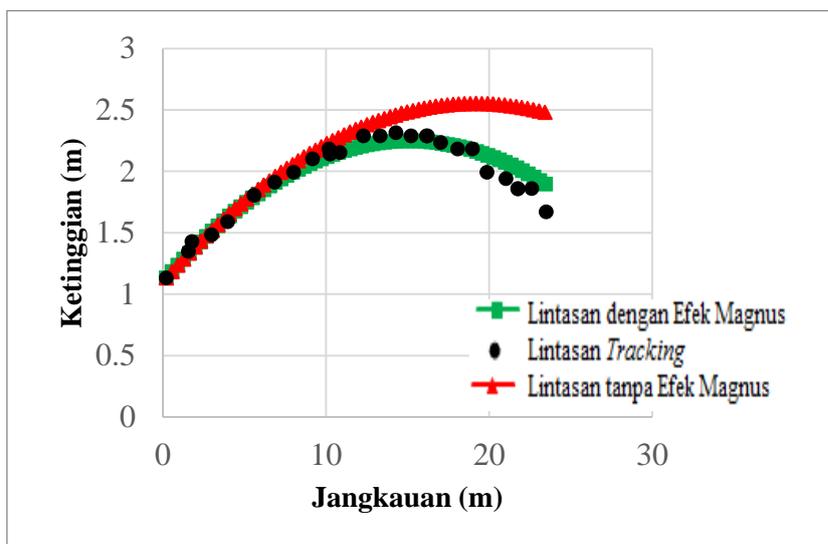
Gambar 2. Perbandingan lintasan pergerakan bola dari video ke-1



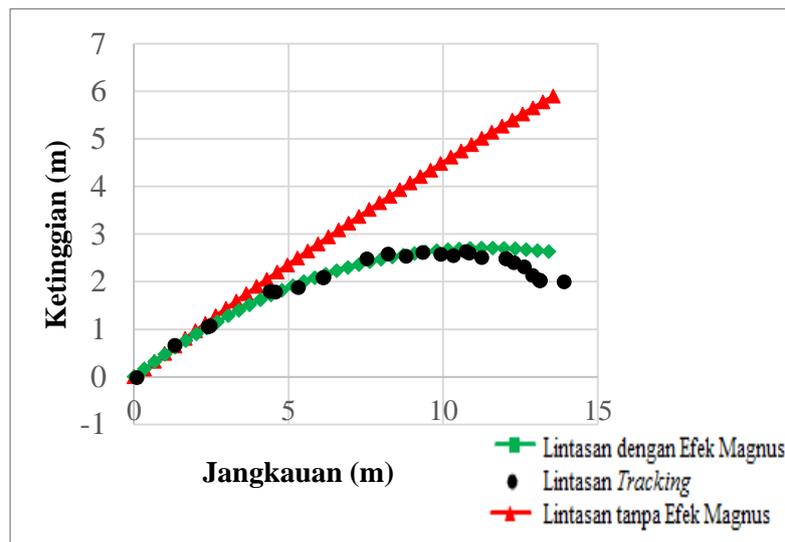
Gambar 3. Perbandingan lintasan pergerakan bola dari video ke-2



Gambar 4. Perbandingan lintasan pergerakan bola dari video ke-3



Gambar 5. Perbandingan lintasan pergerakan bola dari video ke-4



Gambar 5. Perbandingan lintasan pergerakan bola dari video ke-5

Dari analisis terhadap video ke-1, yang lintasannya diperlihatkan dalam Gambar 1, diperoleh hasil penendangan bola, yaitu kecepatan awal bola 35,4123 m/s, sudut elevasi $14,94639^\circ$ dan laju rotasi bola terhadap sumbunya sebesar 466,416 rad/s. Dalam rentang waktu 0,34 s bola itu mencapai jangkauan 11,00772 m dan ketinggian 2,177012 m di dalam gawang. Gaya Magnus yang bekerja pada bola itu konstan sebesar 8,61437 N.

Dari analisis terhadap video ke-2, yang lintasannya diperlihatkan dalam Gambar 2, diperoleh hasil penendangan bola, yaitu kecepatan awal bola 16,93931 m/s, sudut elevasi $33,21128^\circ$ dan laju rotasi bola terhadap sumbunya sebesar 55,36207 rad/s. Dalam rentang waktu 0,85 s bola itu mencapai jangkauan 12,54675 m dan ketinggian 3,189381 m di dalam gawang. Gaya Magnus yang bekerja pada bola itu konstan sebesar 8,902666 N.

Dari analisis terhadap video ke-3, yang lintasannya diperlihatkan dalam Gambar 3, diperoleh hasil penendangan bola, yaitu kecepatan awal bola 31,98531 m/s, sudut elevasi $19,38973^\circ$ dan laju rotasi bola terhadap sumbunya sebesar 25,68631 rad/s. Dalam rentang waktu 0,35 s bola itu mencapai jangkauan 10,12468 m dan ketinggian 2,732267 m di dalam gawang. Gaya Magnus yang bekerja pada bola itu konstan sebesar 7,432077 N.

Dari analisis terhadap video ke-4, yang lintasannya diperlihatkan dalam Gambar 4, diperoleh hasil penendangan bola, yaitu kecepatan awal bola 35,54088 m/s, sudut elevasi $8,540666^\circ$ dan laju rotasi bola terhadap sumbunya sebesar 16,66999 rad/s. Dalam rentang waktu 0,66 s bola itu mencapai jangkauan 23,4542 m dan ketinggian 2,244578957 m di dalam gawang. Gaya Magnus yang bekerja pada bola itu konstan sebesar 5,624392 N.

Dari analisis terhadap video ke-5, yang lintasannya diperlihatkan dalam Gambar 5, diperoleh hasil penendangan bola, yaitu kecepatan awal bola 36,92076 m/s, sudut elevasi $26,38143^\circ$ dan laju rotasi bola terhadap sumbunya sebesar 505,2248 rad/s. Dalam rentang waktu 0,4 s bola itu mencapai jangkauan 14,13426 m dan ketinggian 2,703169 m di dalam gawang. Gaya Magnus yang bekerja pada bola itu konstan sebesar 177,0792 N.

Hasil uji korelasi dengan MAPE (pers. (7)) diperlihatkan dalam Tabel 2. Pada Tabel 2 terungkap lintasan *tracking dalam* video ke-5 tidak begitu sesuai dengan hasil pers. (2). Itu berbeda dari pada lintasan tracking atas video ke-1 s.d. video ke-4. Hal tersebut diduga karena keterbatasan perangkat lunak TVAMT, yakni belum memperhitungkan sudut ruang 3D.

Tabel 2. Hasil Uji Korelasi

Video	MAPE		Keterangan (MAPE)	
	x	y	x	Y
Video 1	10,78%	19,77%	B	B
Video 2	5,22%	11,41%	SB	B
Video 3	9,69%	18,74%	SB	B
Video 4	1,62%	2,94%	SB	SB
Video 5	39,81%	37,54%	C	C

Pembandingan lintasan dengan Efek Magnus (kurva hijau) dan tanpa Efek Magnus (kurva merah), seperti diperlihatkan Gambar 1 s.d. 5, memperlihatkan betapa simpangan lintasan dengan Efek Magnus lebih rendah dari pada simpangan lintasan tanpa Efek Magnus. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu [1] yang menyatakan bahwa rotasi bola akan menyimpangkan lintasan gerak bola secara tajam. Selang waktu terjadinya Efek Magnus yang terbilang singkat itulah yang kerap menyebabkan terjadinya gol akibat penjaga gawang terlambat mengantisipasi perubahan arah bola akibat gaya Magnus yang bekerja.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Besar Efek Magnus pada tendangan yang dilakukan pemain profesional yang menghasilkan gol dalam berbagai kondisi tendangan dan jarak dari gawang, yaitu pada video 1 didapatkan 8,361437 N, video 2 didapatkan 8,902666 N, video 3 didapatkan 7,432077 N, video 4 didapatkan 5,624392 N, dan video 5 didapatkan 177,0792 N.
2. Jarak jangkauan yang memiliki Efek Magnus terbesar (video 2 dengan pemodelan terbaik) adalah 14,77871 m dengan nilai MAPE 16,03%.
3. Ketinggian yang terbentuk dari Efek Magnus terbesar (video 2 dengan pemodelan terbaik) adalah 3,184852 m dengan nilai MAPE 14,89%.
4. Perbandingan lintasan *tracking* video pertandingan sepak bola dengan lintasan tanpa Efek Magnus dan lintasan dengan Efek Magnus memperlihatkan bahwa lintasan dengan Efek Magnus lebih mendekati lintasan hasil *tracking* dibandingkan dengan lintasan tanpa Efek Magnus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kepala Laboratorium Fisika Teori dan Material yang telah memberikan izin penggunaan fasilitas laboratorium sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Juga, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada saudara Akbar, Ansar, Rahmat, dan Wisnu yang telah meluangkan waktu dan tenaga menemani penulis selama pengambilan data dan pengolahannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, Ridho. (2015). *Pemodelan Matematis Lintasan Bola Knuckle Shot Khas Cristiano Ronaldo*, pp. 1-6 . DOI: 10.13140/RG.2.1.4146.1209.

- [2] Amri, S. (2016). *Pengembangan Buku Progress Learning Untuk Pembelajaran Teknik Dasar Shooting Sepakbola Di Ssb Apac Inti Kabupaten Semarang Tahun 2016*. DISERTASI Universitas Negeri Semarang.
- [3] D. C. Montgomery, C. L. Jennings, and M. Kulahci. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. Canada: John Wiley And Sons Inc.
- [4] Dianto. (2011). *Analisis Lintasan Gerak Bola yang Memiliki Spin Dalam Permainan Sepak Bola*, pp. 1-6.
- [5] Emral, H. (2016). *Sepak Bola Dasar*. Padang: SUKA BINA PRESS.
- [6] Febianto, I. (2018). *Sistem Pendukung Keputusan Penempatan Posisi Ideal Pemain Dalam Strategi Formasi Sepak Bola*. Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(3), pp. 19-28.
- [7] Leela, J. K., Comissiong, D. M., & Rahaman, K. (2014). *Modelling the flight characteristics of a soccer ball*. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(4), pp. 27.
- [8] Pulling, C. (2015). *Long Corner Kicks In The English Premier League: Deliveries Into The Goal Area And Critical Area*. *Kinesiology* 47 (2), pp. 193-201.
- [9] Purwadi, P., & Ishafit, I. (2014). *Pemodelan Gerak Parabola yang Dipengaruhi Seretan serta Spin Efek Magnus Bola dengan Program Modells dan Excell*. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, 1(1), pp. 1-11. DOI: 10.12928/jrkpf.v1i1.1517.
- [10] Scheunemann, Timo. (2005). *Dasar Sepakbola Modern*. Malang: DIOMA.
- [11] Soekatamsi. 1988. *Teknik Dasar Bermain Sepakbola*. Surakarta: Tiga Serangkai. 1995 *Sepakbola I*. Surakarta: UNS Press.
- [12] Sucipto, D. (2000). *Sepak bola*. Jakarta: Depdikbud.