

Analisis Matematis Prediksi Jarak Lompatan Atlet Lompat Jauh Berbasis Sudut Tolakan (*Take-off*)

Feby Indriana Yusuf¹, Gatut Rubiono²

[#]Pendidikan Matematika, Universitas PGRI Banyuwangi, Banyuwangi, 68416
E-mail: febyindrianay@unibabwi.ac.id

^{*}Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi, Banyuwangi, 68416
E-mail: g.rubionov@gmail.com

Abstrak — Sudut tolakan (*take-off*) merupakan parameter penting dalam lompat jauh. Sudut ini mempengaruhi jarak lompatan yang dapat dicapai seorang atlet. Penelitian ini bertujuan mendapatkan hasil analisis prediksi jarak lompatan atlet lompat jauh berbasis sudut *take-off*. Penelitian dilakukan dengan menentukan sudut berdasarkan referensi-referensi. Analisis dilakukan dengan persamaan matematis. Kisaran sudut tolakan 19-27° diinputkan dengan interval 1°. Kecepatan lari atlet ditentukan sebesar 7 m/dt berdasarkan referensi-referensi yang melakukan eksperimen lapangan. Tinggi atlet diasumsikan 170 cm dengan ketinggian pusat massa sebesar 85 cm. Analisis dilakukan untuk jarak dan tinggi lompatan berdasarkan sudut *take-off*. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada sudut *take-off* 21° diperoleh jarak lompatan terjauh yaitu sebesar 5.82 meter dengan tinggi lompatan 1.75 meter.

Kata Kunci — lompat jauh, jarak lompatan, sudut *take-off*.

I. PENDAHULUAN

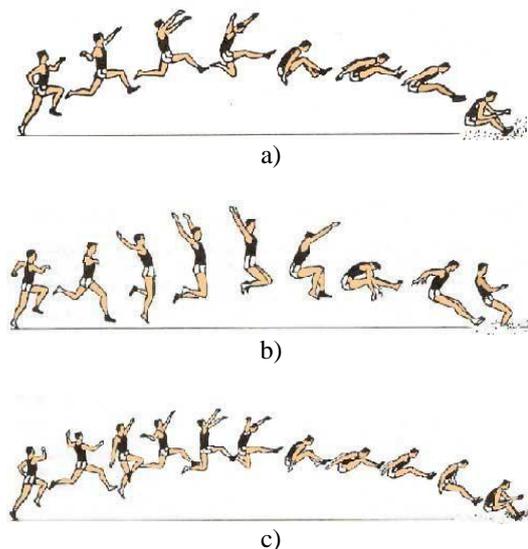
Lompat jauh merupakan salah satu nomor lompat dalam cabang olahraga atletik. Lompat jauh merupakan suatu bentuk gerakan melompat, melayang dan mendarat sejauh-jauhnya [1]. Lompat jauh merupakan suatu rangkaian gerakan untuk mencapai jarak sejauh mungkin dengan menggunakan tumpuan kaki [2]. Gerakan-gerakan dalam lompat jauh tersebut harus dilakukan secara baik dan harmonis [1]. Prestasi lompat jauh adalah hasil lompatan yang dapat dicapai oleh seorang pelompat pada saat mengikuti tes atau perlombaan lompat jauh [3]. Jarak lompatan diukur dari papan tolakan atau tumpuan sampai batas terdekat dari letak pendaratan [2].

Lompat jauh adalah suatu bentuk gerakan melompat mengangkat kaki ke atas ke depan dalam upaya membawa titik berat badan selama mungkin di udara yang dilakukan dengan cepat dengan jalan melakukan tolakan pada satu kaki untuk mencapai jarak yang sejauh-jauhnya [3]. Lompat jauh merupakan cabang olahraga dimana tubuh manusia melompat melampaui jarak horisontal menggunakan postur dan gerakan yang sesuai melalui lari cepat dan tolakan positif (*positive take-off*) [4].

Lompat jauh ditinjau dari teknik gerakannya dapat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu awalan, bertumpu, melayang dan mendarat. Lompat jauh merupakan gabungan antara gerak rotasi dan gerak linier. Bertumpu adalah perpindahan dari kecepatan horizontal ke kecepatan vertikal yang dilakukan dengan cepat dan kuat untuk mengangkat tubuh ke atas melayang di udara. Tujuan dalam tahap bertumpu atau bertolak ini adalah untuk memaksimalkan

kecepatan vertikal dan untuk memperkecil hilangnya kecepatan horizontal [2].

Lompat jauh memiliki 3 macam gaya atau sikap badan saat melompat yaitu gaya jongkok (*stride jump*), gaya lenting (*hang style*) dan gaya berjalan di udara (*hitch kick style*). Ilustrasi ketiga gaya ini dapat dilihat pada gambar 1. Gerakan pada gambar 1 tersebut merupakan gerak lengkung atau parabola dimana dapat dilakukan pendekatan secara matematis.

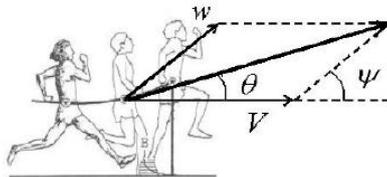


Gambar 1. Gaya lompat jauh a) gaya jongkok b) gaya lenting c) gaya berjalan di udara [5]

Tahap tolakan (*take-off*) saat melompat merupakan tahapan penting dalam lompat jauh. *Take-off* merupakan titik perubahan dimana seorang atlet

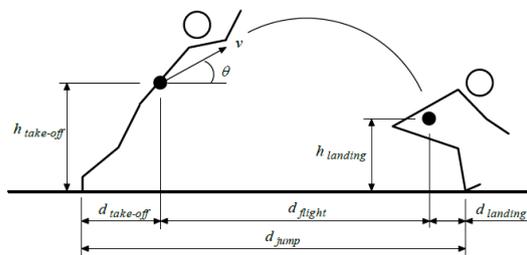
bergerak horisontal menjadi gerakan peluru (*projectile*) dan merupakan faktor penting yang menentukan performansi lompatan. Saat bertolak, seorang atlet harus mengayunkan kakinya secepat mungkin, mempersingkat waktu *take-off*, meningkatkan kecepatan vertikal, menambah kuantitas kecepatan lari dan memilih sudut tolakan yang tepat [6].

Salah satu cara menghitung sudut tolakan optimum diilustrasikan dengan gambar 2. Pemodelan ini dilakukan oleh Tsuboi (2010) menggunakan 3 parameter yaitu kecepatan horisontal pusat massa atlet (V), kecepatan gerak akrobat tolakan kaki (w) dan sudut tolakan (ψ). Sudut tolakan optimum didefinisikan sebagai fungsi dari 3 parameter ini [7].

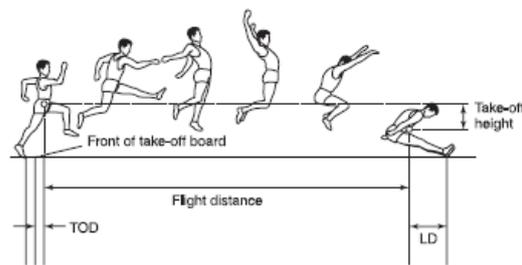


Gambar 2. Model *take-off* Tsuboi [7]

Jarak lompatan merupakan jarak dari garis tolakan sampai dengan area dimana kaki mendarat. Jarak ini dapat didefinisikan sebagai jumlah jarak *take-off*, $d_{take-off}$, jarak melayang, d_{flight} , dan jarak pendaratan, $d_{landing}$. Ketiga parameter jarak ini dapat berubah sesuai dengan sudut tolakan atlet [8]. Pemodelan ini dapat dilihat pada gambar 3 dan 4 berikut.



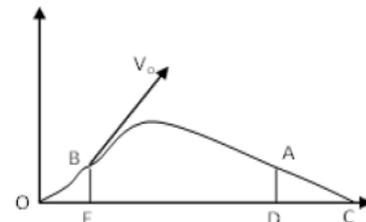
Gambar 3. Diagram lompat jauh [8]



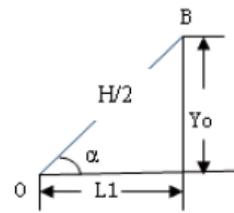
Gambar 4. Pemodelan lompat jauh [9]

Lintasan gerak tubuh atlet dimodelkan seperti gambar 4. Gambar 5 menunjukkan trayektori *take-off* [6]. Pemodelan ini menghasilkan persamaan jarak lompatan sebagai berikut:

$$L = H/2 * \cos \alpha + V_0^2 * \cos \alpha (\sin \alpha / g) * \left(1 + \sqrt{1 + 2 * g * Y_0 / V_0^2 * \sin^2 \alpha} \right) \quad (1)$$



Gambar 4. Lintasan gerak atlet lompat jauh [6]



Gambar 5. Trayektori *take-off* [5]

Penelitian gerak lompat jauh telah banyak dilakukan dari aspek parameter kinematika [10,11] dan model mekanik [6]. Sedangkan aspek *take-off* dilakukan untuk analisis teknis [4], metode analisis [7], analisis kinematika [12] dan analisis 3D [13]. Penelitian sudut *take-off* juga telah dilakukan untuk mendapatkan sudut optimum [8].

Sudut *take-off* ideal dipandang dari segi mekanika adalah 45°. Sudut *take-off* ini digunakan berdasarkan asumsi bahwa kecepatan lari atlet adalah konstan dan tidak dipengaruhi oleh sudut tolakan. Bergantung pada kecepatan *take-off* dan besarnya *power* gaya ke atas maka didapatkan sudut 22-28° [7]. Hasil perhitungan sudut *take-off* didapatkan sebesar 19-27° dan sudut lompatan atlet sebesar 31-39° [8]. Sudut *take-off* yang disarankan adalah 20-25° dimana sudut idealnya adalah 24° [4], 20-22° [6] sekitar 21° untuk atlet kelas dunia [14]. Hasil penelitian merekomendasikan sudut 18.3-24.6° [10]. Sedangkan berdasarkan hasil eksperimen, para atlet melompat dengan kisaran sudut 12.44-17.5 [13], 26.2-27.9° [15], 20.1-24.6° [6], 21-30° [11] dan 16.15-23.18° [14].

Sudut *take-off* berdasarkan berbagai referensi yang ada dapat digunakan sebagai bahan untuk memprediksi jarak lompatan seorang atlet. Hal ini dapat digunakan sebagai rekomendasi dalam pelatih dan program pelatihannya. Hal ini akan berpengaruh terhadap prestasi seorang atlet yang dalam hal ini adalah capaian jarak terjauh dari hasil lompatannya. Untuk itu, penelitian ini bertujuan mendapatkan hasil analisis prediksi jarak lompatan atlet lompat jauh berbasis sudut *take-off*.

II. METODOLOGI

Referensi-referensi secara umum menunjukkan bahwa sudut *take-off* yang disarankan adalah 19-27°. Kecepatan lari atlet lompat jauh berdasarkan eksperimen antara lain 8.76-9.27 m/dt [6], 7.33- 9.13 m/dt [13], 9,28-9.90 m/dt [14] dan 7.26-7.93 m/dt [15]. Berdasarkan referensi-referensi ini maka kecepatan lari diambil sebesar 7 m/dt. Tinggi atlet diasumsikan 170 cm dengan ketinggian pusat massa diasumsikan sebesar 85 cm. Variabel-variabel ini selanjutnya digunakan sebagai variabel masukan untuk persamaan (1). Kisaran sudut 19-27° diinputkan dengan interval 1°. Hasil perhitungan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik. Hasil perhitungan juga akan dibandingkan dengan hasil penelitian lompatan atlet mahasiswa sebesar 3.44-4.88 m [16].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN
Jarak Lompatan

Contoh perhitungan dengan data:

- $\alpha = 19^\circ$
- $V_0 = 7 \text{ m/dt}$
- $Y_0 = 85 \text{ cm} = 0.85 \text{ m}$
- $g = 9.81 \text{ m/dt}$

Besaran variabel ini diinputkan ke persamaan (1):

$$L = \frac{0.85}{\sin 19} * \cos 19 + 7^2 * \cos 19 (\sin 19 / 9.81) * \left(1 + \sqrt{(1 + 2 * 9.81 * 0.85 / 7^2 * \sin 19^2)}\right)$$

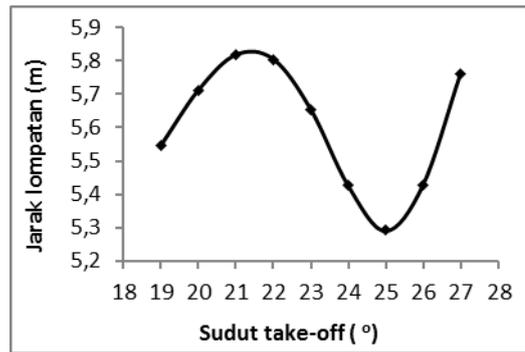
Sehingga $L = 5.55 \text{ m}$

Dengan cara yang sama didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

TABEL 1
HASIL PERHITUNGAN

Sudut <i>Take-off</i> (°)	Jarak Lompatan (m)
19	5,55
20	5,71
21	5,82
22	5,80
23	5,65
24	5,43
25	5,29
26	5,43
27	5,76

Hasil perhitungan di tabel 1 ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:

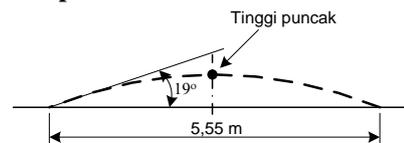


Gambar 6. Grafik Jarak Lompatan

Grafik pada gambar 6 menunjukkan bahwa jarak lompatan cenderung meningkat pada sudut 19-21°. Selanjutnya cenderung menurun pada sudut 22-25°. Pada sudut 25-27°, jarak lompatan menunjukkan kenaikan lagi. Hal ini disebabkan variabel sudut dimana nilai kuadrat sudut menghasilkan angka lebih besar dari siklus 360° sehingga menghasilkan nilai negatif yang berdampak pada pengurangan nilai hasil perhitungan jarak lompatan.

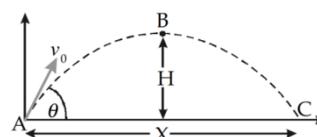
Jarak lompatan optimum terjadi pada sudut 21° yaitu sebesar 5.82 meter. Berikutnya pada sudut 22° yaitu sebesar 5.80 meter. Selisih yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa sudut 21-22° merupakan sudut optimum. Dengan perhitungan lebih lanjut, sudut optimum didapatkan 21.3-21.6° yang menghasilkan jarak terjauh sebesar 5.83 meter. Jarak lompatan terendah terjadi pada sudut 25°. Hasil ini sesuai dengan referensi [13] yang menyatakan bahwa sudut 21° merupakan rekomendasi ideal bagi atlet kelas dunia. Nilai optimum ini juga sesuai dengan referensi-referensi yang lain [4,7,9].

Tinggi Lompatan



Gambar 7. Skema tinggi lompatan

Dengan mengambil contoh hasil perhitungan sudut *take-off* 19° dan jarak lompatan 5.55 meter maka dapat ditampilkan dalam gambar 7. Diasumsikan bahwa gerak parabola yang terjadi adalah parabola simetris yang disebabkan faktor gravitasi. Parabola simetris memiliki ketinggian maksimum lompatan terjadi pada titik simetri.



Gambar 8. Lintas Gerak Parabola dengan titik tertinggi di B

Tinggi maksimum ini dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut: Pada saat atlet mencapai titik tertinggi maka kecepatan arah sumbu y adalah $V_y = 0$, sehingga diperoleh persamaan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai lompatan tertinggi :

$$\begin{aligned} V_y &= V_0 \sin \alpha - gt \\ 0 &= V_0 \sin \alpha - gt \\ gt &= V_0 \sin \alpha \\ t &= \frac{V_0 \sin \alpha}{g} \end{aligned}$$

Sehingga dapat dilakukan perhitungan tinggi lompatan maksimal dengan persamaan :

$$H_{max} = V_0 \sin \alpha \left(\frac{V_0 \sin \alpha}{g} \right) - \frac{1}{2} g \left(\frac{V_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 \quad (2)$$

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned} \alpha &= 21^\circ \\ V_0 &= 7 \text{ m/dt} \\ g &= 9.81 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

Besaran variabel diinputkan pada persamaan (2):

$$H_{max} = 7 * \sin 21 \left(\frac{7 * \sin 21}{9.81} \right) - \frac{1}{2} (9.81) \left(\frac{7 * \sin 21}{9.81} \right)^2$$

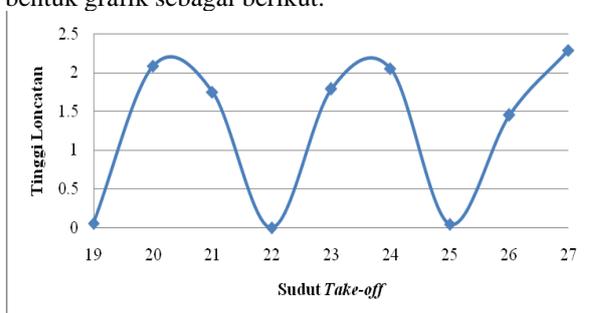
diperoleh $H_{max} = 1.74 \text{ m}$

Dengan cara yang sama didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

TABEL 2
HASIL PERHITUNGAN

Sudut Take-off (°)	Tinggi Lompatan (m)
19	0.06
20	2.08
21	1.75
22	0.00
23	1.79
24	2.05
25	0.04
26	1.45
27	2.28

Hasil perhitungan di tabel 2 ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Tinggi Lompatan

Berdasarkan grafik 7 diketahui bahwa tinggi lompatan pada sudut *take-off* 19° sebesar 0.06 meter, pada sudut *take-off* 20° sebesar 2.08 meter, pada

sudut *take-off* 21° sebesar 1.74 meter, pada sudut *take-off* 22° sebesar 0.000195 meter, pada sudut *take-off* 23° sebesar 1.79 meter, pada sudut *take-off* 24° sebesar 2.05 meter, pada sudut *take-off* 25° sebesar 0.04 meter, pada sudut *take-off* 26° sebesar 1.45 meter, tinggi lompatan maksimal terjadi pada sudut *take-off* 27° yaitu sebesar 2.28 meter.

Pada sudut *take-off* tertentu terdapat tinggi lompatan dengan nilai yang sangat kecil, hal tersebut dapat terjadi karena pada perhitungan tinggi lompatan maksimum tanpa mempertimbangan perubahan energi kinetik gerakan lompat jauh. Pada sudut *take-off* 27° diperoleh tinggi maksimal lompatan atlet adalah 2.28 meter, dikarenakan untuk memperoleh tinggi lompatan maksimal berfokus pada nilai sinus sudut *take-off*.

Tinggi lompatan yang terlalu besar akan mengakibatkan atlet mengalami gaya berat yang cenderung membuat atlet tersebut bergerak turun ke arah tanah. Tinggi lompatan yang relatif rendah akan menyebabkan atlet cenderung lebih cepat mendarat. Tinggi lompatan ini sangat terkait dengan sudut *take-off* karena menjadi pertimbangan kemampuan tubuh manusia untuk bertumpu dan bertolak untuk melakukan lompatan. Hal ini berkaitan dengan berat badan atlet sebagai beban yang akan mengalami gaya berat tubuh.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Jarak lompatan dipengaruhi oleh kecepatan awal dalam melakukan lompatan, jarak optimum lompatan sebesar 5.82 meter dapat diperoleh atlet lompat jauh dengan mengambil sudut *take-off* 21° dengan asumsi kecepatan dalam lompatan konstan
- 2) Pada jarak lompatan maksimum atau terjauh yaitu pada sudut *take-off* 21° diperoleh tinggi lompatan sebesar 1.75 meter
- 3) Tinggi lompatan dipengaruhi juga oleh kecepatan awal dalam melakukan lompatan, dalam penelitian ini dengan menggunakan nilai konstanta konstan diperoleh tinggi maksimum lompatan sebesar 2.28 meter dengan sudut *take-off* sebesar 27°
- 4) Pada perhitungan jarak lompatan dan tinggi lompatan, beberapa komponen yang sangat berpengaruh adalah sudut *takeoff* atlet dalam mengawali lompatan, kecepatan awal, dan tinggi atlet lompat jauh.

Saran dalam penelitian selanjutnya agar mempertimbangan massa (berat) tubuh atlet, nilai perubahan energi kinetik, dan tinggi masing-masing atlet untuk memperoleh jarak lompatan dan tinggi lompatan. Penelitian selanjutnya dapat juga difokuskan untuk membuat persamaan matematika

baru terkait kinematika gerakan lompat jauh tanpa mengasumsikan satu atau lebih dari satu variabel diasumsikan konstan.

NOMENCLATURE

V_0 = kecepatan awalan (m/dt)

α = sudut *take-off* (°)

g = konstanta gravitasi (9,81 m/dt²)

Y_0 = tinggi pusat massa saat *take-off* (m)
= $H/2 * \sin \alpha$

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Indarto, 2015, *Upaya Peningkatan Pembelajaran Lompat Jauh Gaya Jongkok dengan Bermain Lompat dan Loncat pada Siswa Kelas V SD Negeri Sigenuk Kecamatan Pituruh Kabupaten Purworejo*, Skripsi, Program Studi PGSD Pendidikan Jasmani, Jurusan Pendidikan Olahraga, Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Yogyakarta
- [2]. R. R. Jati, 2016, *Analisis Gerak Teknik Awalan dan Tumpuan Lompat Jauh Atlet Putri pada Jateng Open I Tahun 2015 di Solo*, Skripsi, Program Studi Pendidikan Keolahragaan, Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Yogyakarta
- [3]. D. Iswandi, 2012, *Pengaruh Latihan Lompat Meraih Sasaran Terhadap Kemampuan Lompat Jauh*, Artikel Penelitian, Program Studi Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Jurusan Ilmu Keolahragaan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Tanjungpura Pontianak
- [4]. B. Zhang, 2013, *Takeoff Technical Analysis in Long Jump Based on the Dynamics Statistical Model*, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 6(24): 4579-4582
- [5]. Anonim, 2018, *Long Jump*, BrianMac Sports Coach - www.brianmac.co.uk, diakses tanggal 28 Juni 2018
- [6]. Z. Pan, 2013, *Analysis of Mechanical Model on Factors Influencing the Long Jump Result Under the Perfect Condition*, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(5): 1589-1593
- [7]. M. V. Guiman, B. Ioan, 2015, *A Method for the Analysis of the Take-off and the Flight Start in the Long Jump*, Palestrica of the Third Millennium – Civilization and Sport 16(4): 324–328
- [8]. M. Wakai, N. P. Linthorne, 2005, *Optimum Take-off Angle in the Standing Long Jump*, Human Movement Science 24(1): 81–96
- [9]. R. Bartlett, 2007, *Introduction to Sports Biomechanics Analysing Human Movement Patterns*, Second edition, Routledge, New York
- [10]. I. Hussain, A. Khan, A. Mohammad, A. Arshad, Bari, A. Ahmad, 2011, *A Comparison of Selected Kinematical Parameters Between Male and Female Intervarsity Long Jumpers*, Journal of Physical Education and Sport 11(2): 182-187
- [11]. R. Pavlovic, D. Bonacin, D. Stankovic, 2016, *Differences in Kinematic Parameters of the Long Jump between Male and Female Finalists of World Championships – Berlin 2009*, International Journal of Science Culture and Sport 4(4): 353-366
- [12]. M. Matić, V. Mrdaković, N. Janković, D. Ilić, D. Stefanović, S. Kostić, 2012, *Active Landing and Take-off Kinematics of The Long Jump*, Physical Education and Sport 10(3): 243 – 256
- [13]. B. Li, X. Ding, X. Shi, 2013, *The 3D Jumping Technical Analysis of Long Jump Athletes Based on the Statistics*, 2nd International Conference on Management Science and Industrial Engineering (MSIE 2013): 413-416
- [14]. M. V. Guiman, 2015, *Theoretical and Experimental Aspects Concerning the Long Jump Trial*, Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series I 8(2): 17-24
- [15]. S. Béres, Z. Csende, A. Lees, J. Tihanyi, 2014, *Prediction of Jumping Distance Using a Short Approach Model*, Kinesiology 46(1): 88-96
- [16]. R. Hidayat, 2018, *Analisis Gerakan Lompat Jauh pada Mahasiswa UPGRIS*, Jendela Olahraga 3(1): 14-21