

Analisis Aplikasi Uji Impak Tipe Charpy Untuk Pengukuran Kekuatan Tendangan Sepak Bola

Gatut Rubiono¹, Ikhwanul Qiram²

^{1,2} Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 01 Banyuwangi 68416
E-mail: g.rubiono@fdi.or.id

Abstrak— Uji impak untuk sifat mekanik suatu material dilakukan dengan menggunakan prinsip ayunan berat pendulum untuk mengetahui besar energi yang diserap pada saat kontak dengan benda uji. Tendangan kaki pada sepakbola memiliki kesamaan kondisi dengan metode uji ini. Analisis ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode uji impak tipe Charpy untuk pengukuran kekuatan tendangan sepakbola. Kekuatan tendangan didefinisikan dalam bentuk energi yang diserap oleh bola saat tumbukan dengan kaki. Analisis dilakukan dengan mendapatkan data biometerik tubuh manusia rata-rata yang didapatkan dari referensi hasil penelitian. Berat sepatu digunakan data berat maksimal sebuah merk. Data ini selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan menggunakan persamaan uji impak. Sudut awal kaki diasumsikan sebesar 20-75° dengan selang 5°. Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil analisis menunjukkan bahwa uji impak tipe Charpy dapat digunakan untuk mengukur kekuatan tendangan sepakbola. Hasil juga menunjukkan kesesuaian dengan kondisi fisiknya dimana semakin besar sudut awal maka energi yang diserap bola juga akan semakin besar. Sudut awal kaki memiliki pola hubungan linier terhadap energi yang diserap bola.

Kata Kunci— tendangan, sepakbola, uji impak, kekuatan.

I. PENDAHULUAN

Sepak bola merupakan salah satu cabang olahraga yang paling banyak digemari oleh sebagian besar manusia di dunia [1]. Permainan sepakbola sering dilakukan oleh anak-anak, orang dewasa maupun orang tua [1,2] atau sebagai penonton [1]. Permainan sepak bola tidak sekedar dilakukan untuk tujuan rekreasi dan pengisi waktu luang tetapi juga dituntut untuk suatu prestasi yang optimal. Prestasi yang tinggi hanya dapat dicapai dengan latihan-latihan yang direncanakan dengan sistematis [1]. Pemain sepakbola mengandalkan pada kemampuan memindahkan bola secara akurat ke sebuah sasaran menggunakan bagian tubuh terutama bagian bawah. Penelitian ilmu olahraga termasuk memfokuskan pada teknik dasar menendang [3].

Menendang adalah teknik dasar yang paling dominan dalam permainan sepak bola dari beberapa teknik dasar yang ada [1]. Menendang merupakan teknik yang paling banyak digunakan. Tujuan menendang bola adalah untuk mengumpan, menembak kegawang, umpan silang, mengumpan jarak jauh, umpan terobosan dan menyapu untuk menggagalkan serangan lawan [2]. Kemampuan menendang bola dengan baik dan benar dapat dipergunakan sebagai suatu usaha untuk memindahkan bola dari satu titik ketitik lain dengan menggunakan kaki [1].

Gerak menendang adalah sebuah gerak kinematik rantai terbuka (*an open-chain kinetic movement*) yang melibatkan koordinasi dan gerakan seluruh

tubuh. Kekuatan tendangan akan menentukan kecepatan bola. Kombinasi dengan sudut lintasan gerak bola akan menentukan pola atau alur lintasan bola. Kekuatan dan pengkondisian secara profesional dapat digunakan untuk memperoleh informasi yang berguna untuk merancang program latihan. Program latihan ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan performa tendangan dengan mengoptimalkan gaya yang dikenakan pada bola saat tumbukan dengan kecepatan tertentu [4].

Analisis gerak menendang adalah yang paling banyak diteliti karena kemampuan menendang adalah faktor yang paling penting dalam sepak bola untuk mencetak gol [5]. Saat pemain melakukan tendangan, pemain tersebut akan mengupayakan kakinya dengan kuat menendang bola sehingga bola bergulir dengan cepat dan kuat menuju ke sasaran tertentu [1]. Analisis gerakan menendang bola dibagi menjadi tiga tahap yaitu awalan (*impact*), perkenaan (*free impact*) dan akhir (*post impact*) [6].

Salah satu topik penelitian tendangan sepak bola adalah pengukuran tendangan, baik dari segi kekuatan, kecepatan, akurasi maupun hasil tendangan seorang atlet. Penelitian ini telah banyak dilakukan, diantaranya referensi [1,2] meneliti kekuatan tendangan berdasarkan hasil tendangan jauh (lambung) dari titik dimana bola ditendang sampai jatuhnya bola di tanah. Referensi [3] meneliti tendangan untuk mendapatkan kecepatan gerak bola dan akurasi. Referensi [5] meneliti kecepatan

tendangan dengan menggunakan perangkat kamera dan analisis data video.

Penelitian pengukuran kecepatan bola antara lain dilakukan referensi [7] meneliti alat ukur kecepatan dan ketepatan tendangan pinalti berbasis pengolahan citra digital dengan pengamatan kamera. Pengukuran kecepatan dan ketepatan dilakukan dengan pengamatan gerak bola menggunakan kamera dan sensor yang mendeteksi gelombang ultrasonik. Referensi [8] mengukur kecepatan gerak bola menggunakan radar saku (*pocket radar*) dan referensi [9] menggunakan *stationary Dropller radar gun*. Referensi [10] melakukan eksperimen tendangan dengan robot kaki yang dilengkapi dinamometer dan plat bersensor beban untuk mengukur gaya tumbukan dengan bola.

Sepakbola seperti halnya cabang olahraga yang lain selalu berkaitan dengan gerak manusia. Gerak manusia dapat dianalisis menggunakan teori-teori gerak secara umum menggunakan ilmu fisika, matematika dan cabang-cabang ilmu lainnya. Metode-metode analisis yang digunakan adalah bentuk-bentuk pemodelan sebagai langkah pendekatan terhadap permasalahan fisik yang terjadi dalam gerak manusia dalam berolahraga. Bentuk fisik manusia dimodelkan dalam bentuk yang relatif sederhana untuk mendapatkan penyelesaian umum analisis gerak.

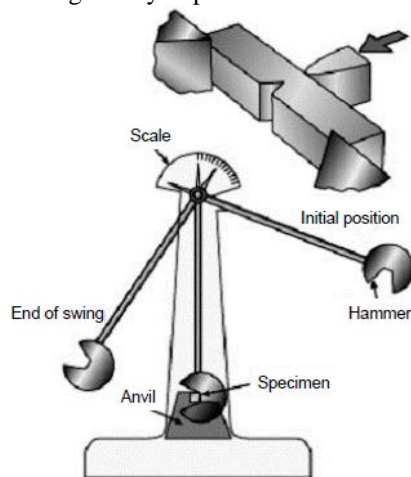
Leonardo Da Vinci (1452-1519), seorang pelukis, pemahat, arsitek dan penemu menyatakan bahwa kaki manusia adalah karya terbesar di bidang rekayasa dan seni (*a masterpiece of engineering and work of art*) [11]. Aktivitas kaki manusia merupakan salah satu topik riset yang banyak dilakukan. Hal ini berkaitan dengan beban kerja yang terjadi pada kaki saat aktivitas. Riset ditujukan pada peningkatan performa, pencegahan cedera bahkan pengembangan alat bantu untuk penyandang cacat.

Pengukuran beban pada kaki banyak mendapat perhatian dalam dekade terakhir khususnya untuk kebutuhan klinis [12]. Manusia memiliki kapasitas untuk memproses gerak biologis pada tahun pertama hidupnya. Mekanisme gerak biologis ini dapat diamati dengan metode *psychophysically* yang mengamati gerak secara visual [13]. Distribusi beban pada kaki manusia dapat dianalogikan sebagai beban longitudinal yang ditemukan di suspensi belakang truk (kendaraan niaga) [11].

Tendangan sepak bola menunjukkan sebuah gerakan motorik yang kompleks yang terdiri dari 6 tahap yaitu sudut awalan pendekatan (*approach angle*), penempatan gaya-gaya kaki (*plant foot forces*), ayunan sendi tungkai (*swing limb loading*), lengkungan pinggul (*flexion at the hip*), perpanjangan lutut (*extension at the knee*), kontak

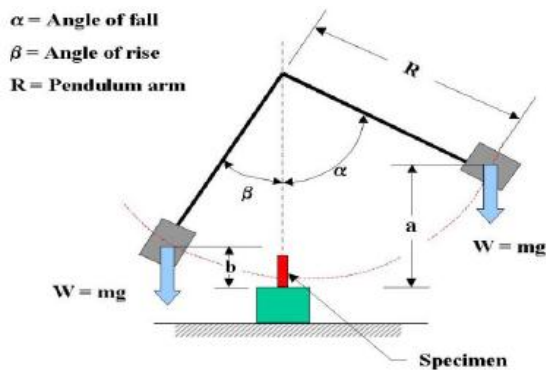
kaki dengan bola (*foot contact with the ball*) dan langkah lanjutan (*follow-through*). Resultan gerakan bola ditunjukkan oleh karakteristik tahapan inti yaitu interaksi bola dengan kaki yang terjadi sekitar 10 mili detik. Sehingga, tendangan sepak bola dapat dikarakteristikan dengan gabungan mekanisme seperti dampak dan lempar [14].

Gerak dasar menendang bola adalah gerak ayun kaki. Gerak ayun ini juga dapat ditemukan di bidang rekayasa pengujian material. Pengujian ini disebut dengan uji dampak yang memanfaatkan gerak ayun sebuah pendulum. Uji dampak merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, serta keuletan material [15]. Salah satu tipe pengujian dampak adalah tipe Charpy dimana sebuah bahan dikenai beban kejutan dari ayunan berat pendulum [16]. Pendulum dengan berat tertentu dijatuhkan dari ketinggian tertentu untuk berkontak dengan spesimen. Energi yang dipindahkan ke material uji didapatkan dengan membandingkan beda tinggi pendulum sebelum dan sesudah kontak [17]. Beda tinggi ini didapatkan dari nilai cosinus sudut awal dan sudut sesudah tumbukan sebagai bentuk kelembaman gerak ayun pendulum.



Gambar 1. Skema uji dampak tipe Charpy [18]

Gerak pendulum dapat dianalisis menggunakan diagram benda bebas dimana sebuah pendulum dengan massa (m) diayunkan dari ketinggian (a) sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram gerak ayun pendulum [19]

Pendulum pada posisi diam dengan ketinggian tertentu memiliki nilai energi potensial. Setelah dilepaskan untuk berayun, dalam gerakannya, energi potensial menjadi berkurang dan energi kinetiknya menjadi meningkat. Energi yang diserap spesimen atau benda uji saat terjadinya tumbukan adalah selisih antara energi potensial dan energi kinetik [16]. Energi ini dirumuskan sebagai [19]:

$$E_{abs} = WR(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1)$$

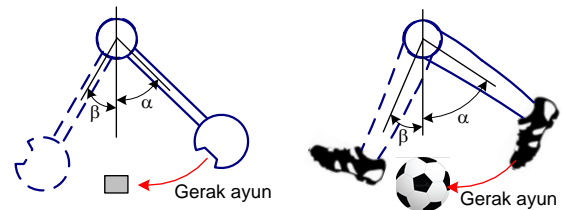
Dimana:

$$W = m \cdot g \quad (2)$$

Gerak kaki saat menendang memiliki kesamaan dengan gerak pendulum pada uji impact. Kaki pemain dengan berat tertentu diayunkan dari ketinggian tertentu sampai bertumbukan dengan bola. Analogi energi yang diserap oleh bola saat bertumbukan dengan kaki dapat digunakan untuk analisis kekuatan tendangan. Berdasarkan latar belakang ini maka teori dan aplikasi uji impact tipe Charpy dapat digunakan sebagai dasar analisis pengukuran kekuatan tendangan sepakbola.

II. METODOLOGI

Kesamaan gerak ayun uji impact dan gerakan kaki saat menendang bola digunakan sebagai dasar analisis. Kekuatan tendangan bola didefinisikan sebagai jumlah energi yang diserap oleh bola saat bertumbukan dengan kaki. Gerak ayun uji impact dan tendangan sepakbola memiliki kesamaan sudut awal, saat tumbukan dan sudut sesudah terjadinya tumbukan. Bagian kaki yang bertumbukan dengan bola dapat dianggap sebagai pendulum. Bagian kaki antara lutut dan mata kaki dapat dianggap sebagai panjang lengan pendulum. Bola dalam hal ini dianggap sebagai spesimen yang dikenai perlakuan tumbukan. Spesimen uji impact menyerap energi dari gerak ayun pendulum sedangkan bola menyerap energi dari gerak ayun kaki. Analogi ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Analogi uji impact dan tendangan sepakbola

Analisis dilakukan dengan memberikan nilai pada setiap besaran yang ada dalam persamaan (1). Berat kaki dapat mengacu pada data prosentase berat tubuh manusia. Berat kaki untuk laki-laki berkisar 1.37-1.43% dari berat tubuh keseluruhan. Panjang bagian kaki antara lutut dan mata kaki pada kisaran 24.7% dari tinggi keseluruhan. Data ini merupakan nilai rata-rata yang didapat dari pengukuran 100 laki-laki dimana berat rata-rata adalah 73 kg dan tinggi rata-rata 173.1 cm [20].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data awal untuk data biometrik tubuh manusia menggunakan referensi [20]. Prosentase berat kaki berdasarkan referensi [20] diambil nilai tengah sebesar 1.40%. Dengan berat tubuh keseluruhan rata-rata sebesar 73 kg maka berat kaki adalah 1.02 kg. Salah satu merk sepatu bola memiliki produk sepatu dengan massa berkisar 130-150 gram dengan bobot maksimum tidak lebih dari 200 gram [21]. Dengan asumsi bobot maksimum maka kaki dan sepatu memiliki massa keseluruhan sebesar 1.22 kg. Tinggi keseluruhan rata-rata 173.1 cm maka panjang bagian kaki antara lutut dan mata kaki pada kisaran 24.7% adalah 42.76 cm. Konstanta gravitasi digunakan sebesar 9.81 m/dt².

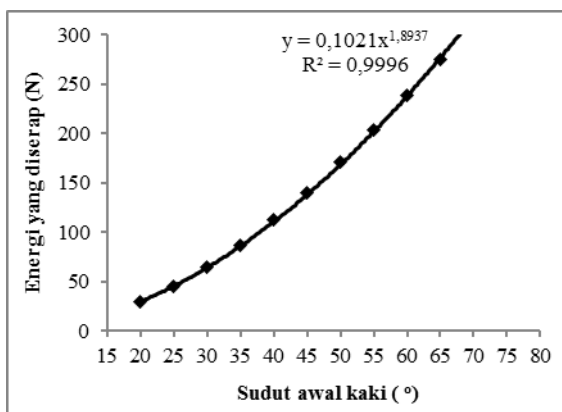
Saat menendang, kaki berayun dari posisi sudut awal tertentu. Diasumsikan sudut sesudah tumbukan dengan bola berkurang menjadi seperempatnya (25%) karena gerakan ayun ini terhambat oleh massa bola. Sudut awal posisi kaki diasumsikan antara 20-70° dan diberikan rentang sebesar 5° untuk analisis beberapa posisi yang dapat terjadi. Dengan menggunakan persamaan (1) maka untuk sudut awal kaki sebesar 20° didapat contoh perhitungan energi yang diserap sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E_{abs} &= 1.02 \times 9.81 \times 42.76 (\cos 5^\circ - \cos 20^\circ) \\ &= 1.02 \times 9.81 \times 42.76 (0.996 - 0.940) \\ &= 24.22 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

TABEL I
PERHITUNGAN ENERGI YANG DISERAP

α (°)	β (°)	E_{abs} (Joule)
20	5,00	28,96
25	6,25	44,98
30	7,50	64,28
35	8,75	86,73
40	10,00	112,13
45	11,25	140,27
50	12,50	170,94
55	13,75	203,87
60	15,00	238,81
65	16,25	275,46
70	17,50	313,52
75	18,75	352,69



Gambar 4. Grafik hubungan sudut awal kaki dan energi yang diserap bola

Grafik pada gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar sudut awal kaki maka energi yang diserap bola juga semakin besar. Besarnya sudut ini menghasilkan nilai cosinus yang kecil sehingga nilai selisih cosinus sudut awal dan sudut sesudah tumbukan dengan bola menjadi besar. Selisih yang besar ini akan menghasilkan nilai energi yang besar pula. Energi maksimum terjadi pada sudut awal kaki 75° yaitu 352.69Joule. Energi minimum terjadi pada sudut awal kaki 20° yaitu 28.96Joule. Garis regresi pada grafik menunjukkan pola hubungan linier dengan nilai R² sebesar 0.9996.

Tabel I menunjukkan hubungan linier antara sudut awal kaki dengan energi yang diserap bola. Energi yang diserap menunjukkan kenaikan secara gradual sesuai dengan bertambahnya sudut awal kaki. Fenomena terjadi pada kenaikan sudut awal dari 20° menjadi 75° sebesar 4.5 kali lipat menyebabkan kenaikan energi yang diserap sebesar 12.18 kali lipat. Sudut awal kaki yang besar menghasilkan energi potensial yang besar pula

karena posisi ketinggian yang relatif besar pula. Besarnya energi potensial ini berubah menjadi energi kinetik saat kaki bergerak mengayun dan bertumbukan dengan bola.

Hasil analisis ini mendukung aktivitas fisik dalam menendang bola dimana ayunan kaki merupakan salah satu faktor penting dalam menghasilkan tendangan yang optimal. Untuk mendapatkan energi yang besar maka sudut awal kaki harus besar pula. Di sisi lain, sudut sesudah tumbukan yang kecil akan menghasilkan nilai cosinus yang besar sehingga energi yang diserap bola juga akan besar. Tetapi hal ini secara praktis akan sulit dilakukan karena kontrol menahan gerakan kaki sesudah tumbukan dengan bola akan membutuhkan tenaga tersendiri dan pelatihan khusus.

Aplikasi uji dampak ini dapat digunakan untuk penelitian berbasis eksperimen dengan alat bantu. Alat uji secara teknis dapat didesain agar dapat dilakukan pengaturan berbagai variabel penelitian yang mungkin dapat diteliti. Penelitian juga dapat dilakukan untuk mengamati gerak dan lintasan bola dengan berbagai variasi model tendangan. Keterbatasan alat dapat berupa akurasi atau aplikasi untuk jenis tendangan lambung. Tetapi secara umum, alat uji ini sangat layak untuk digunakan dalam penelitian tendangan sepakbola.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara umum hasil analisis menunjukkan bahwa uji dampak tipe Charpy dapat digunakan untuk mengukur kekuatan tendangan sepakbola. Kekuatan tendangan ini direpresentasikan sebagai energi yang diserap bola saat terjadi tumbukan dengan kaki. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa semakin besar sudut awal kaki maka energi yang diserap juga akan semakin besar. Sudut awal kaki dan energi ini menunjukkan pola hubungan yang linier sesuai dengan fenomena fisiknya.

Analisis juga dapat dilakukan dengan menggunakan prinsip bahwa gerakan tendangan sepakbola menggunakan gerak ayun dimana gerak ini terpusat pada sendi pinggang seperti yang dilakukan oleh referensi [3]. Hal ini dilakukan dengan menggunakan prosentase berat bagian kaki dan ukuran panjang yang berbeda. Tetapi secara umum, hasilnya akan menunjukkan pola atau fenomena yang serupa.

NOMENCLATURE

- g konstanta gravitasi
m/dt²
- m massa pendulum
kg
- R panjang lengan pendulum

m
W gaya berat pendulum = $m \cdot g$ (kg m/dt²)

Greek Letter

α sudut awal pendulum

β sudut sesudah tumbukan pendulum

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan bagian penelitian yang dilakukan dengan pendanaan hibah penelitian Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi (Kemenristek Dikti) dengan skim Penelitian Dosen Pemula tahun anggaran 2017/2018

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Hasbi, H. Mentara, Hasanuddin, 2015, *Pengaruh Latihan Kekuatan Otot Tungkai Terhadap Jauhnya Tendangan dalam Permainan Sepak Bola pada Club PS Puma Pombalowo Kecamatan Parigi*, E-Journal Tadulako Physical Education, Health And Recreation 3(11): 1-12
- [2]. R.A. Yanuar, 2012, *Pengaruh Latihan Double Leg Cone Hop Terhadap Tendangan Melambung Jauh pada Sekolah Sepak Bola New Salatiga Football Club*, Naskah Publikasi, Program Studi Div Fisioterapi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [3]. O. L. Castellanos, S. A. Farhadi, A. D. Suarez, 2014, *Motion Analysis and Biomechanics of the Side-Foot Soccer Kick*, Aquila: The FGCU Student Journal 1: 1-9
- [4]. T. L. Haines, T. M. Erickson, J. M. McBride, 2012, *Kicking Power*, National Strength and Conditioning Association 34(6): 52-56
- [5]. T. Apriantono, H. Nishizono, N. Inoue, 2013, *Pengaruh Latihan Beban Terhadap Kekuatan Otot Kaki dan Kemampuan Menendang Pemain Sepak Bola*, Cakrawala Pendidikan XXXII(2): 277-284
- [6]. A. Fiandi, J.A. Putra, N. Ardiansyah, 2015, *Analisis Biomekanika pada Gerakan Menendang Bola Khususnya Tendangan Swing Shoot*, <http://www.ajnb- biomekanika.blogspot.com>, diunduh tanggal 28 Juli 2018
- [7]. I. Marwan, A. Rohyana, E. Listyasari, 2016, *Model Alat Ukur Kecepatan dan Ketepatan Tendangan Finalty Permainan Sepak Bola Berbasis Pengolahan Citra Digital*, Jurnal Sport 1(1): 108-124
- [8]. Z. Grgantov, A. Rada, M. Erceg, H. Kujundzic, M. Milic, 2013, *Reliability of The Tests of Maximal Kicking Performance in Youth Croatian Soccer Players*, Global Research Analysis 2(9): 75-77
- [9]. L. Rodríguez-Lorenzo, M. Fernández-Del Olmo, J. A. Sánchez-Molina, R. Martín-Acero, 2018, *Kicking Ability and Kicking Deficit in Young Elite Soccer Players*, Kinesiology 50(2): 1-10
- [10]. A. Koizumi, S. Hong, K. Sakamoto, R. Sasaki, T. Asai, 2014, *A Study of Impact Force on Modern Soccer Balls*, Procedia Engineering 72 (2014): 423 – 428
- [11]. K. A. Kirby, 2017, *Longitudinal Arch Load-Sharing System of the Foot*, Rev Esp Podol 28(1): e18-e26
- [12]. J. Perttunen, 2002, *Foot Loading in Normal and Pathological Walking*, dissertation, the Faculty of Sport and Health Sciences of the University of Jyväskylä
- [13]. D. H. F. Chang, N. F. Troje, 2009, *Characterizing Global and Local Mechanisms in Biological Motion Perception*, Journal of Vision 9(5):8, 1–10
- [14]. T. Sterzing, 2010, *Kicking in Soccer*, XXVIII International Symposium of Biomechanics in Sports: 42-45
- [15]. R. B. S. Majanasatra, 2013, *Analisis Simulasi Uji Impak Baja Karbon Sedang (AISI 1045) dan Baja Karbon Tinggi (AISI D2) Hasil Perlakuan Panas*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas 45 Bekasi 1(2): 61-66
- [16]. Y. Handoyo, 2013, *Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas 45 Bekasi 1(2): 45-53
- [17]. J. Harvey, 2016, *Charpy vs. Izod: an Impact Testing Comparison*, Artikel, <http://www.element.com>, diunduh tanggal 28 Juli 2018
- [18]. Ž. Alar, D. Mandić, A. Dugorepec, M. Sakoman, 2015, *Application of Instrumented Charpy Method in Characterisation of Materials*, Interdisciplinary Description of Complex Systems 13(3): 479-487
- [19]. N. Singh, 2009, *Experimental Study and Parametric Design of Impact Testing Methodology*, Thesis, Departement of Mechanical Engineering, Thapar University, Patiala (Punjab)
- [20]. Anonim, 2018, *Percent Body Weight*, <http://www.exrx.net>, diunduh tanggal 28 Juli 2018
- [21]. Anonim, 2018, *Nike Mercurial Superfly, Menembus Batas Kecepatan*, <http://www.sport.detik.com>, diunduh tanggal 30 Juli 2018