

# Pemodelan Matematika *Sweet Spot* pada *Bat* dalam Permainan *Baseball*

Habby Rahman<sup>1</sup>, Muhammad Subhan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi Matematika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan dan Alam Universitas Negeri Padang (UNP)

---

## Article Info

### Article history:

Received February 15, 2023

Revised June 05, 2023

Accepted December 20, 2023

---

### Keywords:

Sweet Spot

Dynamical Model

Baseball

Mathematical Modeling

Bat

### Kata Kunci:

*Sweet Spot*

Model Dinamika

*Baseball*

Model Matematika

*Bat*

## ABSTRACT

This research will analyze the dynamics of the bat to determine a Sweet Spot. In this research, geometrical analysis and abstract description of the bat shape were carried out to obtain the geometric equation of the bat. Starting with variations in the mass of the bat, center of gravity, and moment of inertia to get the radius of the bat. In this case, the bat-ball system will be taken as an object of study using the conservation of momentum theorem, the theorem of the conservation of angular momentum, and the recovery coefficient. This will build a dynamics model of a rigid body. Then a sweet spot is drawn to get the speed of the ball after the bat is hit. and the conclusion is that the Sweet Spot on the bat will be above 0.564 m from the bat algae segment.

## ABSTRAK

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap dinamika pada *bat* untuk menentukan sebuah *sweet spot*. Dalam penelitian ini dilakukan analisis geometri dan deskripsi abstrak pada bentuk *bat* untuk mendapatkan persamaan geometri *bat*. Dimulai dengan variasi massa pemukul, titik berat, dan momen inersia untuk mendapatkan jari-jari dari *bat* tersebut. Selanjutnya, akan diambil sistem bola-*bat* sebagai objek studi dengan menggunakan teorema kekekalan momentum, teorema kekekalan momentum sudut, dan koefisien pemulihan. Ini akan dibangun model dinamika benda tegar. Kemudian digambarkan *sweet spot* untuk mendapatkan kecepatan bola setelah *bat* tersebut dipukul. dan diperoleh kesimpulan bahwa *Sweet Spot* pada *bat* akan berada di atas 0.564 m dari ruas ganggang *bat*.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



---

## Penulis pertama

Habby Rahman

Matematika, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar barat, Padang Utara, Padang, 25171 Padang, Sumatera Barat

Email: habbyrahman123@gmail.com



## 1. PENDAHULUAN

*Baseball* merupakan salah satu cabang olahraga permainan bola kecil. *Baseball* dimainkan oleh dua tim, masing-masing tim terdiri atas sembilan pemain di lapangan. Pada permainan *Baseball* yang menjadi ciri khas adalah *defensive* dan *offensive* secara terpisah yang dilakukan seperti bergiliran. Pada saat *offensive* atau menyerang hampir seluruh pemain mengerahkan teknik dan kekuatannya untuk bisa mengantisipasi bola yang disajikan oleh *Pitcher* lawan, sehingga penampilan pada saat *offensive* mampu meraih poin sebanyak-banyaknya.

Masalahnya adalah banyaknya orang atau pemain yang melakukan pukulan pada *bat* yang tidak maksimal. Pemain sering mengayunkan tongkat baseball namun sulit untuk mendekati bola karena mereka tidak mengetahui kecepatan bola yang dilemparkan oleh lawan. Memukul bola dalam baseball dianggap sebagai tugas yang sulit dan seringkali pemain melewatkan bola sepenuhnya meskipun ayunan yang dilakukan mungkin terlihat menarik [1]. Hal ini menyebabkan banyak pemain yang melakukan pukulan secara sembarangan dan akhirnya mendapatkan strike, tanpa mencetak poin melalui base atau mencetak home run. Maka, diperlukan sebuah *sweet spot* pada *bat* untuk melakukan pukulan dalam permainan *baseball*. *Sweet spot* adalah titik yang menggunakan kombinasi factor dapat memberikan solusi yang cocok untuk melakukan aktivitas tertentu. *Sweet spot* dalam tongkat *baseball* adalah titik tumbukan di mana guncangan benturan, yang dirasakan oleh tangan pemukul sehingga pemukul hampir tidak menyadari tumbukan itu. Pada titik benturan lainnya, benturan dapat dirasakan sebagai getaran atau guncangan pada tangan, terutama jika benturan terjadi pada titik yang jauh dari *sweet spot* [2]. *Sweet spot* harus menjadi lokasi di mana energi maksimum ditransfer ke bola sehingga bola mencapai kinerja terbaik.

*Sweet spot* pada *bat* akan menggunakan beberapa teori seperti pusat gravitasi, momen inersia, hukum kekekalan momentum, dan hukum kekekalan momentum sudut. Untuk pusat gravitasi akan digunakan untuk memakai prinsip momen terhadap gaya sejajar dari gaya gravitasi untuk menentukan lokasi resultannya [3]. Momen inersia terjadi dalam situasi dimana pemain melakukan rotasi, *spin*, atau *twist* dan setiap situasi dimana *bat* diayunkan. Hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan momentum sudut akan digunakan untuk mencari kecepatan bola setelah bola tersebut dilempar.

Pemodelan matematika *sweet spot* pada *bat* dalam permainan *baseball* digunakan untuk mendapatkan hasil pukulan yang teratur dan maksimal. Model matematika tidak pernah memberikan pernyataan akurat secara lengkap dari situasi fisik, akan tetapi merupakan pengidealan. Model yang baik adalah model yang mendapatkan pengertian atau kejelasan mekanisme dalam permasalahan, namun kalkulasi matematika cukup akurat untuk memberikan kesimpulan yang berharga.

Pada penelitian ini, akan dibentuk model *sweet spot* pada *bat* yang dapat memberikan solusi terbaik terhadap pukulan yang dilakukan oleh pemain. *Bat* yang akan diayunkan harus disesuaikan agar pukulan yang akan diayunkan cocok dengan pemakaian *bat* yang akan digunakan.

## 2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dasar/teoritis. Metode yang akan digunakan adalah metode deskriptif. Metode deskriptif merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisa teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas dan berlandaskan pada studi kepustakaan. Untuk melakukan penelitian, dilakukan identifikasi masalah yang ada dalam melakukan penelitian. Amati *bat* yang akan dianalisis. Buatlah asumsi-asumsi, variable, dan parameter yang berkaitan dengan masalah untuk membuat model matematikanya. Buatlah model matematika *Sweet Spot* pada *bat* dalam permainan *baseball*. Selanjutnya akan dilakukan analisis terhadap model matematika, menginterpretasi hasil analisis dan diakhiri dengan menarik kesimpulan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

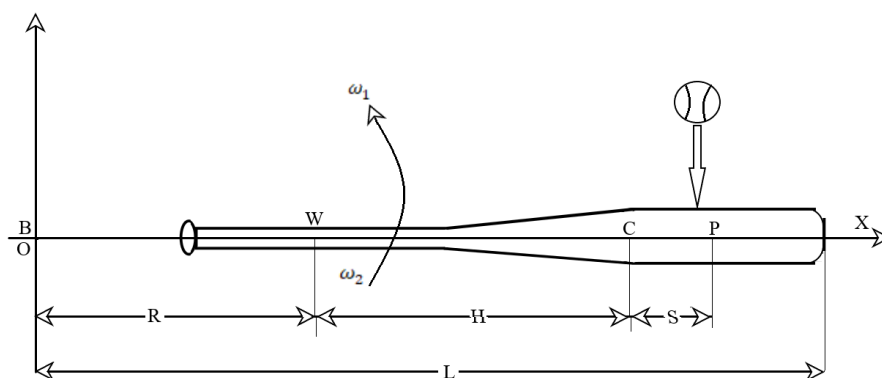
Berikut ini bentuk parameter, konstanta fisik dan gambar yang akan digunakan untuk membentuk Model Matematika *Sweet Spot* dalam *bat* dalam permainan *Baseball* yaitu:

**Tabel 1.** Parameter Pomedalan Matematika *Sweet Spot* pada *Bat* dalam permainan *Baseball*

Simbol	Keterangan	Satuan
$\omega_1$	Kecepatan sudut <i>bat</i> setelah melakukan pukulan	Rad/s
$\omega_2$	Kecepatan sudut <i>bat</i> setelah melakukan pukulan	Rad/s
$J$	Momen Inersia	$\text{Kgm}^2$
$E$	Koefisien Restitusi	-
$v_1$	Kecepatan bola sebelum pukulan	m/s
$v_2$	Kecepatan bola setelah pukulan	m/s
$u_1$	Kecepatan <i>bat</i> sebelum melakukan pukulan	m/s
$u_2$	Kecepatan <i>bat</i> setelah melakukan pukulan	m/s

**Tabel 2.** Konstanta Fisik yang ada dalam *bat*

Konstanta fisik	Simbol	Nilai
Jari-jari kecil	$r_1$	2,5 cm
Jari-jari besar	$r_2$	7 cm
Panjang <i>Bat</i>	$l$	0,855 m
Massa Jenis Kayu	$\rho$	$649 \text{ Kg/m}^3$
Massa <i>Bat</i>	$M$	0,885 Kg
Pusat Keseimbangan pada <i>Bat</i>	$C$	0,564 m



**Gambar 1.** Ilustrasi dari Proses *Sweet Spot*

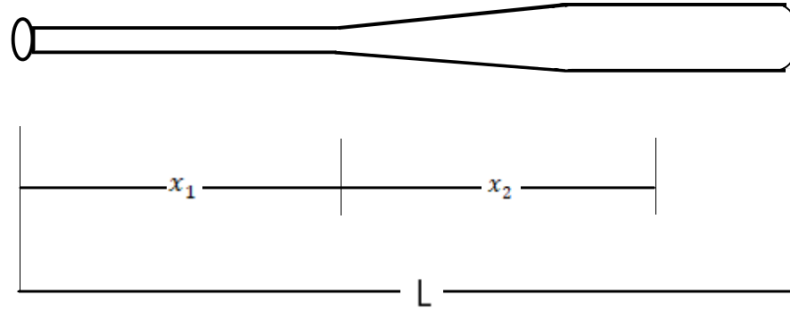
Misalkan poin  $B$  dari pusat gravitasi tubuh sebagai sumbu koordinat asal, sumbu *bat* sebagai sumbu  $x$ , arah tegak lurus sumbu sebagai sumbu  $y$  untuk membentuk sistem koordinat Cartesius. koordinat pusat *bat* adalah  $C$ , koordinat titik genggam adalah  $W$ , koordinat titik tekan adalah  $P$ , koordinat *bat* yang dekat dengan tubuh adalah  $x_0$ . jarak antara tubuh ke titik genggam adalah  $R$ . Jarak ini dihitung saat *bat* yang sudah dipegang oleh tangan menyatu oleh bola. sedangkan jarak antara titik genggam ke pusat *bat* adalah  $H$ , serta jarak antara pusat *bat* ke titik tekan adalah  $S$ . Maka skema tersebut akan ditunjukkan seperti gambar 1:

Selanjutnya, membentuk asumsi. Hal ini dilakukan dengan menentukan asumsi yang akan digunakan dalam membentuk model matematika *sweet spot* dalam *bat* dalam permainan *baseball*.



Berdasarkan yang diamati ,asumsi yang akan digunakan adalah 1) Bola tidak akan berputar selama terbang. 2) Bentuk *bat*nya simetris dan teratur. Karena, *bat* yang akan dipakai sudah teruji sebelum melakukan analisis. 3) Usaha yang dilakukan oleh pemukul adalah normal. Karena pemain yang melakukan pukulan sesuai dengan usaha yang akan dikeluarkan.

*Bat* adalah benda yang dapat diputar yang melintang di sepanjang sumbu x seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pencarian Nilai  $x_1$  dan  $x_2$  pada *Bat*

Dimana panjang  $x_1$  dan  $x_2$  dapat ditemukan dengan massa *bat* dari persamaan massa jenis dan volume serta pusat gravitasi yang diayunkan. Maka terbentuk persamaan (1) yaitu:

$$M = \rho \left[ \pi r_1^2 x_1 + \frac{1}{3} \pi r_2^2 H - \frac{1}{3} \pi r_1^2 h + \pi r_2^2 (L - x_2) \right] \quad (1)$$

$$\frac{h}{r_1} = \frac{H}{r_2}, H = h + x_2 - x_1.$$

Ket:

$M$  : Massa *bat*

$\rho$  : Massa Jenis *bat*

$V_l$  : Volume *bat*

$r_1$  : Jari-jari kecil *bat*

$r_2$  : Jari-jari besar *bat*

Berdasarkan definisi pusat gravitasi, kedua pusat sisi dari *bat* mengalami keseimbangan akibat gaya yang dihasilkan di sepanjang sumbu x. *Bat* adalah benda putar, maka volumenya akan berbentuk integral tentu dari nol ke nilai C untuk nilai dari  $x_1$ , lalu dilanjutkan dari C ke L untuk nilai dari  $x_2$  yang panjangnya sebesar Panjang dari pusat gravitasi tersebut. Maka didapatkan persamaan (2) dan (3), yaitu:

$$M_c g = \int_0^{x_1} \rho g \pi r_1^2 (C - x) dx + \int_{x_1}^C \rho g \pi r^2 (C - x) dx. \quad (2)$$

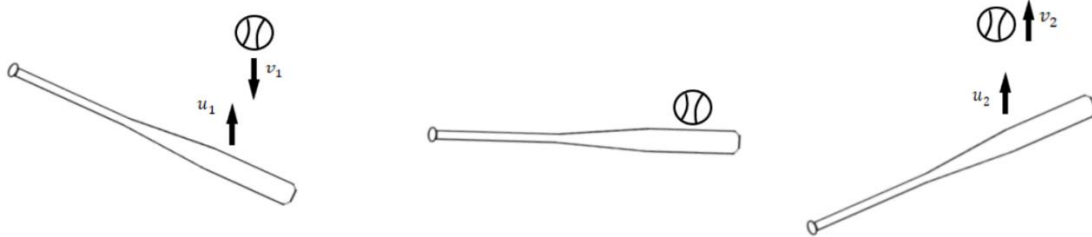
$$M_l g = \int_C^{x_2} \rho g \pi r^2 (x - C) dx + \int_{x_2}^L \rho g \pi r_2^2 (x - C) dx. \quad (3)$$

Disini terdapat nilai  $r$  yang dimana nilai tersebut adalah faktor integral dari  $x$ .

$$\frac{r_2 - r_1}{x_2 - x_1} = \frac{r - r_1}{x - x_1}. \quad (4)$$

Dengan substitusi persamaan (1),(4) ke persamaan (2) atau (3), maka didapatkan nilai sebesar  $x_1 = 0,3459$  dan  $x_2 = 0.6423$ . Nilai  $r$  yang dapat sebesar  $-0,0275151827 + 0,1518218623x$  yang akan digunakan untuk mencari besaran momen inersia.

Selanjutnya mencari kecepatan. Untuk mencari kecepatan, bola akan dilempar ke arah *bat* di sepanjang sumbu  $y$ . seperti Gambar 3:



**Gambar 3.** Pembentukan kecepatan pada bola-*bat* terhadap sumbu- $y$

Pada saat tumbukan, gaya antara bola dan *bat* jauh lebih besar daripada gravitasi bola, gravitasi *bat*, dan stamina lengan. Oleh karena itu dengan mengambil sistem *bat*-bola sebagai objek studi, dan arah gaya pemukul ke atas dan menyentuh ke arah bola, maka, ada hukum kekekalan momentum di arah sumbu  $y$ . Bentuk persamaannya adalah:

$$m_1 v_1 + m_2 u_1 = m_1 v_2 + m_2 u_2. \quad (5)$$

Bentuk kecepatan sudut akan dihitung dari pemain yang sedang melakukan ayunan untuk memukul ke arah bola. sudut akan dibentuk dari *bat* yang melakukan ayunan ke arah bola. dalam hal ini didapatkan kecepatan *bat* yang dapat digabungkan dengan kecepatan sudut Maka rumusnya adalah:

$$u_1 = \omega_1 (R + H) \quad (6)$$

$$u_2 = \omega_2 (R + H). \quad (7)$$

Nilai  $e$  adalah kecepatan relatif mendekati titik kontak tumbukan sebelum tumbukan dibagi dengan kecepatan relatif jauh setelah tumbukan yaitu:

$$e = \frac{v_2 - u_2 - \omega_2 S}{-v_1 + u_1 + \omega_1 S}. \quad (8)$$

Ketetapan persamaan kekekalan momentum sudut sistem bola-*bat* dengan mengambil pusat gravitasi tubuh sebagai sumbu poros, dengan mengambil pusat massa pada *bat*, maka sistem bola-*bat* tidak memiliki gaya eksternal. Sehingga membentuk hukum kekekalan momentum sudut dari persamaan hukum kekekalan momentum, maka bentuk persamaannya adalah:

$$m_1 v_1 (R + H + S) + J \omega_1 = m_1 v_2 (R + H + S) + J \omega_2. \quad (9)$$

Selanjutnya substitusi persamaan (6) dan (7) ke persamaan (8) menjadi:

$$\omega_2 = \frac{v_2 - e(-v_1 + \omega_1 (R + H + S))}{(R + H + S)} \quad (10)$$

Hasil dari persamaan (10) akan dimasukkan ke dalam persamaan (9). Maka:



$$v_2 = v_1 - \frac{J(1+e)[v_1 - \omega_1(R+H+S)]}{J+m_1(R+H+S)^2}. \quad (11)$$

Dimana momen inersia adalah  $J = \int_{x_0}^{x_0+L} \rho \pi r_x^2 x^2 dx$

Turunan  $v_2$  terhadap  $S$ . Yaitu:

$$\frac{\partial v_2}{\partial S} = \frac{-J(1+e)\omega_1(j+m_1(S+H+R)^2) - 2m_1J(1+e)(v_1 - m_1(S+H+R))}{(J+m_1(S+H+R)^2)^2}. \quad (12)$$

Dengan  $\frac{\partial v_2}{\partial S} = 0$  maka didapatkan posisi memukul terbaik.

Hasilnya adalah *Sweet Spot* berada di antara 70 cm dari pegangan *bat* dengan kecepatan bola  $v_1=27,7$  m/s dan  $\omega_1=17,288$  rad/s dalam massa bola  $m_1=0,14$  Kg.

#### 4. Kesimpulan

Bedasarkan hasil dari penelitian, diperoleh bahwa *Sweet Spot* dapat diselesaikan dengan menggunakan pemodelan matematika. Hasil akhir menunjukkan bahwa dengan nilai  $x_0, v_1=27,7$  m/s dan  $\omega_1=17,288$  rad/s didapatkan bahwa nilai kecepatan setelah memukul bola adalah 25 m/s.

#### REFERENSI

- [1] Cross, R. (2011). *Physics of baseball & softball*. Springer Science & Business Media.
- [2] Zhu, K., Zhang, J., Wang, T., & Zhu, M. (2014). *Research The Sweet Spot On A Baseball Bat Based On Optimization Algorithms*.
- [3] Nugroho, P. W. (2018). *Statika: Statika* (Vol. 1). UPT Percetakan dan Penerbitan Polinema.
- [4] Susila, N Dan Gunawan, H. 2001. *Kalkulus*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Wang, Z. (2013). *Mathematical Model Research Of Baseball Sweet Spot Basedon Mechanical Analysis And Matlab Simulation*.
- [6] Pagalay, U. 2009. *Mathematical Modelling*. Malang: Uin Press.
- [7] Tim Gtk Diknas. (2021). *Modul Belajar Mandiri Calon Guru (Bidang Fisika)*. Jakarta: Direktorat Gtk Pendidikan Dasar.
- [8] Maya, R. (2014). *Persamaan Diferensial Biasa*. Bandung: Uin Sunan Gunung Djati Bandung.
- [9] Bower, R.G. (2012) *The Sweet Spot Of A Cricket Bat For Low Speed Impacts*. *Sports Engineering*.
- [10] Alderson, Sandy., Antonetti, Chris., Etc. (2015) *Official Playing Rules Committee. The Office Of The Commissioner Of Baseball*.
- [11] Zandy, Bernard & White, Jontahan J. 2004. *Keterampilan Kalkulus*. Bandung: Pakar Raya.
- [12] Sutimin, W. 2007. *Buku Ajar Pemodelan Matematika*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [13] Song, Z. C., Zhang, T. L., Zhang, C., & Song, X. H. (2011). Sweet Spot and the Influence of Corking and Materials on Baseball Bat. In *Advanced Materials Research* (Vol. 143, pp. 1332-1336). Trans Tech Publications Ltd.
- [14] Adair, R. K. (1990). *The physics of baseball* (p. 110). New York: Harper & Row.
- [15] Williams, T., & Underwood, J. (1986). *Science of hitting*. Simon and Schuster.