

## PREDIKSI LETAK PUSAT GRAVITASI RKX200TJBOOSTER

Shandi Prio Laksono, Hakiki  
Pusat Teknologi Roket/Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
[shandi.prio@lapan.go.id](mailto:shandi.prio@lapan.go.id)

### Abstrak

Pusat gravitasi suatu wahana sangat dipengaruhi oleh distribusi berat komponen penyusunnya. Berat wahana terbang RKX200TJ/Booster terdiri atas berat kosong, berat bahan bakar, dan berat booster roket. Berat kosong terdiri atas berat *airframe* dan berat *payload*. Berat masing – masing komponen ini harus diketahui lalu diposisikan sehingga didapat pusat gravitasi yang diinginkan dan tidak melebihi dari yang diizinkan. *Paper* ini membahas tentang prediksi letak pusat gravitasi wahana RKX200TJBooster. Prediksi letak pusat gravitasi adalah berdasarkan perhitungan matematis. Perhitungan dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui berat masing – masing komponen penyusun RKX200TJBooster lalu dihitung pengaruhnya terhadap pusat gravitasi wahana. Dari hasil perhitungan, didapat berat *take – off* adalah 26,716 kg dan letak pusat gravitasi pada saat *take off*, *after booster* dan *cruise* berada dalam 1.245 – 1290 mm.

Kata kunci: berat, pusat gravitasi, RKX200TJBooster, perhitungan.

### Abstract

*Center of gravity (CG) mainly affected by each component weight distribution. RKX200TJ/Booster weight consist of empty, fuel, and rocket booster weight. Then empty weight consists of airframe weight, and payload weight. Those weight must be known then placed to achieve desired center of gravity (CG) position . This paper presents prediction of RKX200TJ/Booster center of gravity (CG) location. Calculation was carried out by measuring weight of any RKX200TJ/Booster component then calculate their affect to center of gravity (CG). From calculation result, take off weight is 26,716 kg and center of gravity (CG) around 1.245 – 1290 mm..*

*Keywords: weight, center of gravity, RKX200TJ/Booster, calculation.*

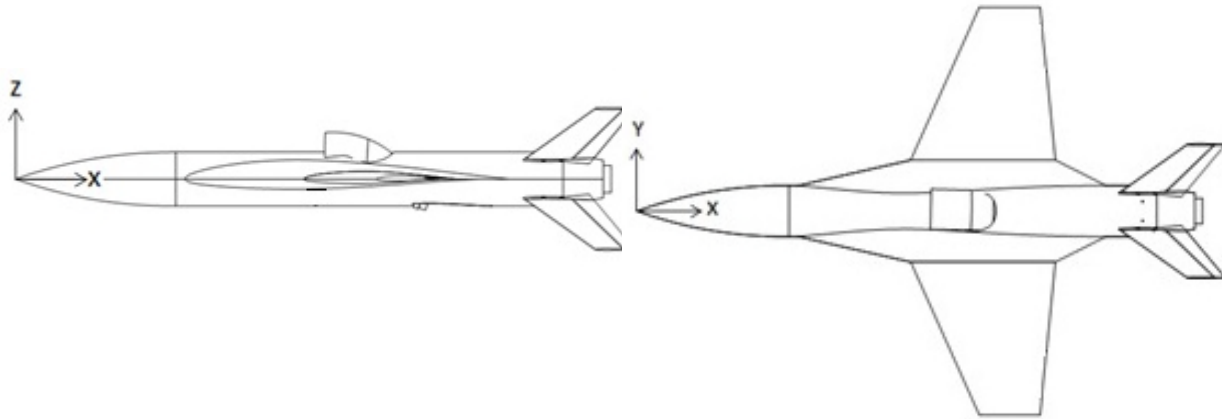
## 1. PENDAHULUAN

RKX200TJ/Booster merupakan wahana terbang dengan mesin turbojet (TJ) sebagai pendorong utamanya dan booster roket sebagai pendorong saat *take off*, yang dikembangkan oleh Pusat Teknologi Roket LAPAN untuk pengujian dan penelitian sistem kendali terbang dan sistem *autopilot* dengan kecepatan terbang 250 – 350 km/jam[1]. Wahana ini dikembangkan sejak tahun 2013. Geometri wahana RKX200TJ terdiri atas *fuselage*, sayap dan ekor. Wahana memiliki sistem kendali *elevator* yang terdapat pada keempat ekornya. Pada bagian sayap tidak terdapat sistem kendali. Nantinya wahana ini akan digunakan untuk berbagai keperluan khususnya untuk pengembangan *long – range cruise missile*[2].

Mengetahui letak *center of gravity* (CG) wahana RKX200TJ/Booster adalah penting. Distribusi berat komponen pada *fuselage* wahana RKX200TJ sangat mempengaruhi letak *center of gravity* (CG), terutama pada dua sumbu. Satu pada sumbu longitudinal dan yang lain sumbu vertikal[3]. *Paper* ini membahas prediksi letak *center of gravity* (CG) wahana RKX200TJ/Booster. Perhitungan *center of gravity* (CG) dilakukan setelah mengetahui berat masing – masing komponen penyusun RKX200TJBooster lalu dihitung pengaruhnya terhadap *center of gravity* (CG) wahana. Letak *center of gravity* (CG) berubah seiring dengan terlepasnya booster dari wahana dan berkurangnya jumlah bahan bakar. Oleh karena itu, perhitungan dilakukan dalam 3 kondisi wahana yang berbeda yaitu kondisi pertama adalah pada saat *take off*, kondisi kedua adalah pada saat booster terlepas dari wahana (*after booster*) sedangkan kondisi ketiga adalah pada saat wahana tanpa booster dan bahan bakar. Letak *center of gravity* (CG) yang akan dihitung adalah arah x atau longitudinal dan z atau vertikal. *Center of gravity* (CG) arah y dianggap nol.

## 2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisa berdasarkan perhitungan matematis untuk memprediksi letak *center of gravity* (CG). Gambar 2-1 menunjukkan sumbu utama wahana RKX200TJ. Sumbu longitudinal diwakili oleh sumbu X, sumbu lateral diwakili oleh sumbu Y sedangkan sumbu vertikal diwakili oleh sumbu Z. Titik referensi nol diasumsikan berada pada ujung *nose* wahana.



Gambar 2-1. Sumbu Utama Wahana RKX200TJ

### a. PENENTUAN CENTER OF GRAVITY

*Center of gravity* (CG) adalah titik dimana semua berat wahana terkonsentrasi. Prestasi sebuah wahana terbang dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya *center of gravity* (CG)[4]. *Center of gravity* (CG) sangat dipengaruhi oleh *fixed weight* seperti *airframe*, *payload* dan *variable weight* seperti bahan bakar. *Center of gravity* (CG) dapat diketahui melalui perhitungan, grafis maupun pengukuran[5]. *Center of gravity* (CG) dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini[6] :

$$\bar{x}_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

$$\bar{z}_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \bar{z}_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

Dimana  $W$  adalah berat masing – masing komponen yang dinyatakan dalam satuan kg sedangkan  $x$  atau  $z$  adalah jarak komponen terhadap titik referensi nol yang dinyatakan dalam satuan mm. Persamaan (1) dan (2) menjumlahkan hasil perkalian masing – masing komponen dengan jarak masing-masing komponen terhadap titik referensi nol. Kemudian dibagi dengan total penjumlahan berat masing- masing komponen.

### b. PENENTUAN BERAT TAKE-OFF

Berat *take-off* adalah berat wahana sesaat sebelum diluncurkan dari *launcher*. Berat *take-off* wahana RKX200TJ/*Booster* dapat dideskripsikan sebagai bagian dari beberapa berat di bawah ini:

1. Berat Kosong
2. Berat Bahan Bakar
3. Berat *Booster*

Apabila dituliskan dalam persamaan matematis, berat *take-off* wahana dinyatakan pada persamaan (3) berikut ini :

$$W_{TO} = W_E + W_F + W \quad (3)$$

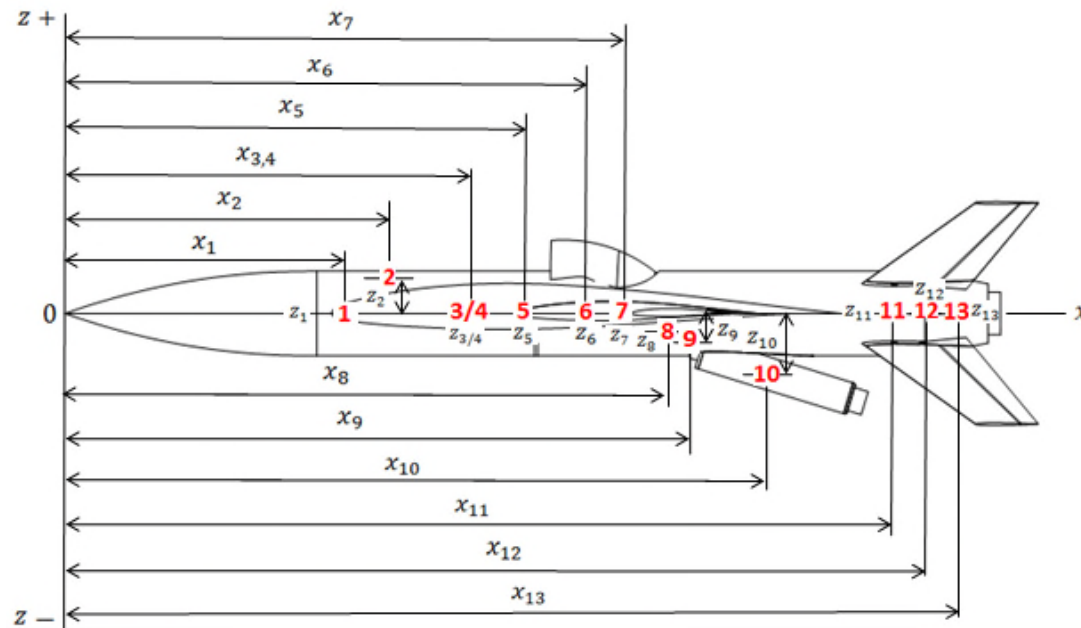
Dimana berat kosong wahana dinyatakan pada persamaan (4) berikut ini :

$$W_E = W_{AF} + W_{PL} \quad (4)$$

Berat kosong mencakup berat *airframe*, dan berat *payload*. Berat *payload* mencakup berat seluruh komponen termasuk diantaranya berat mesin turbojet, komponen elektronik (IMU, baterai, radio, antena), ballast dll. Berat bahan bakar adalah berat bahan bakar yang digunakan pada wahana RKC200TJ/Booster, pada kasus ini adalah berat kerosen. Berat *booster* adalah berat *booster* roket yang digunakan untuk wahana RKC200TJ.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3-1 menunjukkan metode visual untuk perhitungan *center of gravity* (CG) wahana RKC200TJ/Booster. Metode ini menganggap masing – masing komponen RKC200TJ/Booster sebagai berat partikel yang terletak pada jarak tertentu dari titik referensi nol wahana. Masing – masing komponen diwakili dalam bentuk angka.



Gambar  
3-1.  
Metode

Visual Perhitungan *Center of Gravity* RKC200TJ/Booster

Tabel 3-1 menunjukkan ringkasan pengelompokan berat masing – masing komponen penyusun wahana RKC200TJ/Booster. Pada Tabel ini, kita juga dapat melihat letak masing – masing komponen penyusun wahana RKC200TJ/Booster.

Tabel 3-1. Pengelompokan Berat Komponen Penyusun RKX200TJBooster[7]

No	Nama	Berat (kg)	$x_i$ (mm)	$z_i$ (mm)
1	<b>Kompartemen Payload</b>	<b>2,02</b>	620	-30
	a   <i>Assembly Box</i> IMU	0,33		
	b   <i>Assembly Box</i> Radio	0,11		
	c   <i>Assembly Box</i> Baterai	1,22		
	d   Akrilik	0,32		
e   Lain - lain (Kabel + Baut)	0,04			
2	<b>Kompartemen Switch</b>	<b>0,51</b>	720	80
3	<b>Kompartemen Fuel (Kosong)</b>	<b>0,44</b>	870	-15
	a   Struktur	0,24		
	b   Tangki BVM	0,07		
	c   Pompa	0,1		
	d   <i>Filter</i>	0,02		
e   Lain – lain (Selang + Baut)	0,01			
4	<b>Kompartemen Fuel (Isi)</b>	<b>0,59</b>	870	-15
	a   Struktur	0,24		
	b   Tangki BVM	0,07		
	c   <i>Fuel</i>	0,15		
	d   Pompa	0,1		
	e   <i>Filter</i>	0,02		
f   Lain – lain (Selang + Baut)	0,01			
5	<b>Kompartemen Ballast</b>	<b>6,12</b>	1.060	-30
	a   Struktur	0,27		
	b   <i>Ballast</i>	5,8		
	c   Baut	0,05		
6	<i>Fuel</i>	<b>3</b>	1.222	0
7	<i>Airframe</i>	<b>7,47</b>	1.351	0
8	<i>Frame Penguat Mounting Booster</i>	<b>0,1</b>	1.484	-90
9	<i>Mounting Booster</i>	<b>0,17</b>	1.489,3	-95
10	<i>Booster</i>	<b>3</b>	1.683,6	-200
11	<b>Kompartemen Engine</b>	<b>2,62</b>	1.720	10
	a   <i>Turbojet Engine</i>	2,56		
	b   <i>Clamp</i>	0,06		
12	<b>Kompartemen Motor Servo</b>	<b>0,516</b>	2.000	0
	a   Motor Servo	0,24		
	b   Struktur Motor Servo	0,276		
13	<i>Exhaust</i>	<b>0,6</b>	2.050	0

Data pada Tabel 3-1 kemudian dihitung, hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3-2. Pada Tabel ini kita dapat melihat berat wahana dan letak *center of gravity* (CG) pada masing-masing kondisi wahana.

Tabel 3-2: Hasil Perhitungan RKX200TJBooster

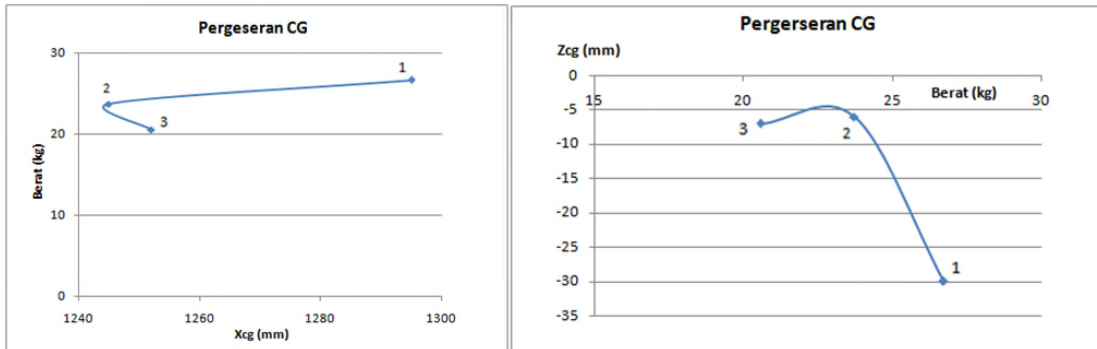
No	Kondisi		Berat Wahana (Kg)	$x_{CG}$ (mm)	$z_{CG}$ (mm)	Ket
1	<i>Booster</i>	+	26,716	1.295	-28	Tanda (+) pada kolom kondisi menunjukkan bahwa komponen tersebut <i>include</i> pada wahana. Tanda (-) pada kolom kondisi menunjukkan bahwa komponen tersebut <i>exclude</i> pada wahana.
	Bahan Bakar	+				
2	<i>Booster</i>	-	23,716	1.245	-6	
	Bahan Bakar	+				
3	<i>Booster</i>	-	20,566	1.252	-7	
	Bahan Bakar	-				

Perhitungan kondisi 1 bertujuan untuk mengetahui berat wahana pada saat *take off* ( $W_{TO}$ ) serta letak CG-nya. Kondisi 1 merupakan kondisi wahana sesaat sebelum *take off* dimana *booster* masih terpasang

pada wahana dan bahan bakar masih dalam keadaan penuh. Dari hasil perhitungan didapat berat wahana adalah 26,716 kg sedangkan letak CG adalah 1.295 mm dalam arah sumbu X dan  $-28$  mm arah sumbu Z.

Perhitungan kondisi 2 bertujuan untuk mengetahui berat wahana pada saat *booster* terlepas ( $W_{After\ Booster}$ ) serta letak CG-nya. Kondisi 2 merupakan kondisi wahana sesaat setelah *booster* terlepas dari wahana sedangkan berat bahan bakar belum berubah. Dari hasil perhitungan didapat berat wahana adalah 23,566 kg sedangkan letak CG adalah 1.245 mm dalam arah sumbu X dan  $-6$  mm arah sumbu Z.

Perhitungan kondisi 3 bertujuan untuk mengetahui berat kosong wahana ( $W_E$ ) serta letak CG-nya. Kondisi 3 merupakan kondisi akhir terbang wahana dimana *booster* sudah terlepas dan bahan bakar mendekati habis. Dari hasil perhitungan didapat total berat wahana sebesar 20,566 kg sedangkan letak CG adalah 1.252 mm dalam arah sumbu X dan  $-7$  mm arah sumbu Z.



**Gambar 3-2. Kurva Pergeseran Center of Gravity Rkx200Tj/Booster**

Gambar 3-2. menunjukkan kurva pergeseran *center of gravity* (CG) yang terjadi pada wahana Rkx200Tj/Booster. Kurva di sebelah kiri menunjukkan pergeseran *center of gravity* (CG) pada sumbu x. Sedangkan kurva di sebelah kanan menunjukkan pergeseran *center of gravity* (CG) pada sumbu z. *Center of gravity* (CG) bergeser akibat perubahan kondisi pada wahana dari *take off* hingga *landing*. Saat *take off* (kondisi 1),  $x_{CG}$  berada di belakang tangki bahan bakar yaitu pada jarak 1.295 mm dari *nose*, sedangkan  $z_{CG}$  berada di bawah sumbu longitudinal wahana. Saat *booster* terlepas (kondisi 2),  $x_{CG}$  bergerak maju sejauh 50 mm ke arah *nose* sehingga mendekati tangki bahan bakar, meskipun  $z_{CG}$  bergerak ke atas tetapi masih berada di bawah sumbu longitudinal wahana. Seiring dengan pemakaian bahan bakar, letak  $x_G$  dan  $z_{CG}$  kembali bergeser. Letak  $x_{CG}$  bergeser ke belakang hingga sejauh 7 mm yaitu pada jarak 1.252 mm dari *nose* sedangkan  $z_{CG}$  kembali bergeser ke bawah hingga sejauh 7 mm dari sumbu longitudinal. Kondisi ini terjadi sampai dengan bahan bakar habis.

#### 4. KESIMPULAN

Telah dilakukan perhitungan untuk memprediksi letak *center of gravity* (CG) wahana Rkx200Tj/Booster. Letak *center of gravity* (CG) bergeser seiring dengan perubahan kondisi pada wahana yang diakibatkan oleh perubahan berat. Berat *take - off* adalah 26,716 kg, masih dibawah berat *take - off* maksimum yang ditentukan oleh desainer yaitu 30 kg. Letak  $x_{CG}$  pada saat *take off*, *after booster* dan *cruise* berada dalam 1.245 – 1.295 mm. Nilai ini masih berada dalam batas aman sebab nilai  $x_G$  yang diizinkan oleh desainer berkisar 1.200 – 1.400 mm. Sedangkan untuk letak  $z_G$  berkisar  $-6$  sampai dengan  $-28$  mm sedangkan nilai  $z_{CG}$  maksimum yang diizinkan oleh desainer adalah  $-33$  mm. Dengan hasil prediksi letak *center of gravity* (CG) ini, dapat disimpulkan juga bahwa peletakkan komponen *payload* pada *fuselage* tidak memerlukan perubahan. Data hasil perhitungan sebaiknya dibandingkan dengan hasil pengukuran. Sementara, hasil pengukuran *center of gravity* (CG) dan perubahan *static margin* akibat pergeseran *center of gravity* (CG) pada Rkx200Tj/Booster belum dapat dibahas pada *paper* ini.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bpk Sutrisno selaku Kepala Pusat Teknologi Roket yang telah mendukung kegiatan rekayasa, Bpk. Herma Yudhi Irwanto selaku Kepala Program sistem kendali, teman – teman peneliti, perencana dan teknisi litkayasa yang telah berperan serta dalam penelitian dan pengembangan RKK200TJ/Booster.

### PERNYATAAN PENULIS

Seluruh isi artikel ini menjadi tanggung jawab penulis.

### DAFTAR PUSTAKA

- 1) Riyadl, A., Hakiki, and Putro, I.E., 2013, *Design Review RKK200TJ/EDF*, Pusat Teknologi Roket LAPAN, Bogor.
- 2) Satrya, E., Sofyan, Edi., and Hakiki, 2014, *Prediksi Prestasi Terbang Booster Assisted RKK200EDF Pada Saat Awal Keluar Launcher*, Pusat Teknologi Roket LAPAN, Bogor.
- 3) Lee, K, 2004, *Development of Unmanned Aerial Vehicle for Wildlife Surveillance, University of Florida*.
- 4) Sadraey, M, 2009, *Aircraft Configuration Optimization Through Optimal Longitudinal Center of Gravity Range*. 9<sup>th</sup> AIAA Aviation Technology, Integration, and Operation Conference (ATIO).
- 5) Anon, 2016, *Local Motors Unmanned Design Guide* tersedia di : <https://lm-shop.s3.amazonaws.com/challengeuploads/25e57d7c-776a-4fff-9049-0544fec744cd.pdf> Diakses Mei 2016.
- 6) Kwan, K., and Tassan, S, 2007, *UAV Proposal Conceptual Design Review Documentation*, Purdue University.
- 7) Laksono, S.P, 2016, *Technical Note Perhitungan Center of Gravity RKK200TJ/Booster 072016* Pusat Teknologi Roket LAPAN, Bogor.
- 8) Buharali, K, *Mass and Balance in Aircraft*, 2016 tersedia di : [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/af82af3a84ced38\\_ek.pdf?tipi=68](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/af82af3a84ced38_ek.pdf?tipi=68) diakses Mei 2016.
- 9) Fleeman, E.L., 2001, *Tactical Missile Design*, American Institute of Aeronautics Astronautics, Virginia.
- 10) Anon, 1966, *Principles of Guided Missiles and Nuclear Weapons* Bureau of Naval Personnel, Washington DC.
- 11) Schumacher, Lauren and Fritz, Logan, 2014, *Preliminary Design of Inverted Advanced Range Unmanned System*, University of Kansas.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS 1



### DATA UMUM

Nama Lengkap : Shandi Prio Laksono  
Tempat & Tgl. Lahir : Jakarta, 20 Juli 1988  
Jenis Kelamin : Laki - Laki  
Instansi Pekerjaan : Pustekroket LAPAN  
NIP. / NIM. : 198807202014021004  
Pangkat / Gol.Ruang : Penata Muda / III a  
Jabatan Dalam Pekerjaan : Engineering Staff  
Agama : Islam  
Status Perkawinan : Belum Menikah

### DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMA NEGERI 1 BEKASI Tahun: 2003  
STRATA 1 (S.1) : TEKNIK MESIN ITB Tahun: 2006  
STRATA 2 (S.2) : Tahun:  
STRATA 3 (S.3) : Tahun:

### ALAMAT

Alamat Rumah : Jl. Nusantara I No.24 RT: 10 RW: 22 Harapan Jaya Bekasi  
Alamat Kantor / Instansi : Jl. Raya LAPAN No.2 Mekarsari Rumpin Bogor  
HP. : 083804381880  
Telp. :  
Email : shandi.prio@lapan.go.id

### RIWAYAT SINGKAT PENULIS



**SHANDI PRIO LAKSONO, S.T**, lahir di kota Jakarta pada tanggal 20 Juli 1988 bekerja sebagai Pegawai Negeri Sipil di lingkungan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), masuk mulai tahun 2014, menjadi salah satu Perekayasa di satuan kerja Pusat Teknologi Roket di Bidang Teknologi Kendali dan Telemetry di daerah Rumpin, Bogor. Sebelumnya pernah bekerja di perusahaan swasta dari tahun 2011-2013. Setelah menyelesaikan sekolah di SMAN 1 Bekasi, saya melanjutkan pendidikan di ITB tahun 2006, Jurusan Teknik Mesin lulus pada tahun 2011.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS 2

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Hakiki  
Tempat & Tgl. Lahir : Jakarta, 24 Januari 1980  
Jenis Kelamin : Laki - Laki  
Instansi Pekerjaan : Pustekroket / LAPAN  
NIP. : 198001242009121001  
Pangkat / Gol.Ruang : Peneliti Pertama / IIIA  
Jabatan Dalam Pekerjaan : Engineering Staff  
Agama : Islam  
Status Perkawinan : Menikah

### DATA PENDIDIKAN

SLTA :SMA Negeri 1 Tangerang Tahun: 1995  
STRATA 1 (S.1) :Teknik Mesin ITB Tahun: 1998

### ALAMAT

Alamat Rumah : Jl. Duku II no. 45 Perumnas II Parung Panjang Bogor  
Alamat Kantor / Instansi : Jl. Raya LAPAN No.2 Mekarsari Rumpin Bogor  
HP. : 081321122705  
Telp. :  
Email : haqq.lapan@gmail.com