

## DESAIN PARAMETER SISTEM OPTICAL TRACKING UNTUK ROKET LAPAN

Sri Kliwati

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
Bidang Telemetry dan Kendali Pusat Teknologi Roket  
Jl. Raya LAPAN Rumpin Bogor  
Email: [sri\\_kliwati@yahoo.com](mailto:sri_kliwati@yahoo.com)

### Abstrak

Tulisan ini membahas desain parameter sistem optical tracking untuk peluncuran roket. Desain parameter ini meliputi jarak optic atau kamera dengan titik peluncuran, kecepatan awal roket, dan kecepatan sudut untuk sumbu pitch dan yawing system kamera. Hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan nilai minimum kecepatan sudut pitch motor kamera adalah 25 deg/sec dengan jarak ke titik peluncuran 50 m. Pembesaran optik kamera diasumsikan satu kali, kecepatan sudut kamera ini dapat direduksi dengan memperjauh jarak ke titik luncur. Hasil desain dan simulasi ini akan digunakan sebagai acuan untuk rancang bangun prototype system optical tracking roket.

**Kata kunci:** Optical tracking, roket, desain parameter.

### 1. PENDAHULUAN

Pada setiap peluncuran roket LAPAN, maka perlu untuk menganalisis kinerja roket tersebut. Untuk itu dibutuhkan suatu dokumentasi yang baik pada setiap momen peluncuran roket. Untuk kasus ini, rekaman video peluncuran roket merupakan dokumentasi yang paling informatif. Roket LAPAN perlu di-video pada saat objek masih terlihat oleh kamera. Agar mendapatkan hasil rekaman video yang memadai tentang peluncuran roket, maka proses perekaman dibuat otomatis. Adapun parameter visual dalam peluncuran roket, antara lain: pembakaran propelan, struktur roket, trajektori, atau manuver roket. Untuk membuat sitem tersebut, dibutuhkan parameter-parameter sebagai berikut:

- Kecepatan pengambilan gambar
- Kecepatan pemrosesan gambar
- Kecepatan sudut pitch kamera
- Kecepatan sudut yaw kamera

Semua parameter tersebut sesuai dengan kecepatan gerak roket. Oleh karena itu, penting untuk menentukan jarak antara lokasi awal roket meluncur (launching pad) dengan kamera. Optical tracking ini sudah diaplikasikan pada peluncuran roket di Jepang.<sup>1,2,3</sup> Aplikasi ini dikombinasikan dengan perangkat RADAR. Sistem optical tracking ini perlu dibangun, karena hasil dari sistem ini diperlukan dalam dokumentasi.

Tulisan ini membahas rancangan parameter hardware sistem optik untuk tracking roket LAPAN. Jarak antara kamera dengan launching pad adalah 50 m. Penempatan kamera ini untuk tracking jenis roket dengan kecepatan pada saat awal peluncuran antara 0 sampai dengan 2 Mach. Parameter yang dicari adalah kecepatan proses per frame, kecepatan total (akuisisi data, algoritma recognition /pengenalan). Parameter yang lain adalah kecepatan sudut yaw dan pitch kamera. Sistem ini dirancang dengan menggunakan servo motor dan gear box. Hasil rancangan ini akan digunakan sebagai landasan untuk membuat sistem hardware optical tracking roket.

### 2. LANDASAN TEORI

Dari berbagai jenis roket LAPAN, kecepatannya mencapai 3 Mach ( yaitu 3x340 m/s). Parameter visibilitas pandangan terjauh mata melihat roket pada saat diluncurkan akan menentukan jarak maksimum roket yang bisa di-track berbasis optik. Visibilitas tersebut dipengaruhi oleh cuaca, kandungan awan, atau kepadatan partikel udara. Jika kecepatan maksimum adalah 3 Mach, maka dalam waktu 1 detik roket meluncur sejauh  $\pm 1$ km. Jika dianggap sudut elevasi adalah  $90^0$ , maka sudut *pitch* adalah atan 1000/50. Sedangkan kecepatan sudut pitch roket tersebut adalah:

$$\dot{\theta} = \operatorname{atan} \left( \frac{v_{y\text{roket}}}{d} t \right) \quad (1)$$

Sedangkan untuk *yaw* adalah sebagai berikut:

$$\dot{\theta} = \operatorname{atan} \left( \frac{v_{x\text{roket}}}{d} t \right) \quad (2)$$

Adapun *d* adalah jarak antara kamera dan launching pad, *t* adalah waktu.

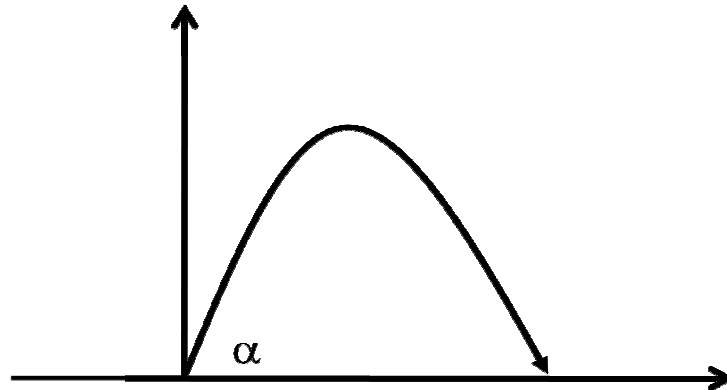
Dari persamaan di atas terlihat, bahwa kecepatan sudut dapat diperkecil dengan memperbesar *d*. Akan tetapi semakin besar *d*, objek yang ditangkap juga semakin kecil. Maka dari itu, untuk memperoleh rekaman yang baik,

perlu diadakan pengukuran berkali-kali dengan jarak dan sudut yang berlainan. Dalam sistem tracking optic ini dibutuhkan kecepatan sudut kamera yang tinggi pada saat awal roket diluncurkan. Perubahan sudut tersebut dapat ditulis dengan persamaan berikut.

$$\theta_n = \text{atan} \left\{ \frac{\sum_1^n h_n}{d + \Delta d} \right\} - \sum_{n-1}^n \theta_n \quad (3)$$

### 3. HASIL SIMULASI

Simulasi ini dilakukan berdasarkan landasan teori seperti diuraikan diatas, yaitu menggunakan persamaan (1) hingga persamaan (3).



Gambar 1. Setting simulasi parameter optical tracking roket.

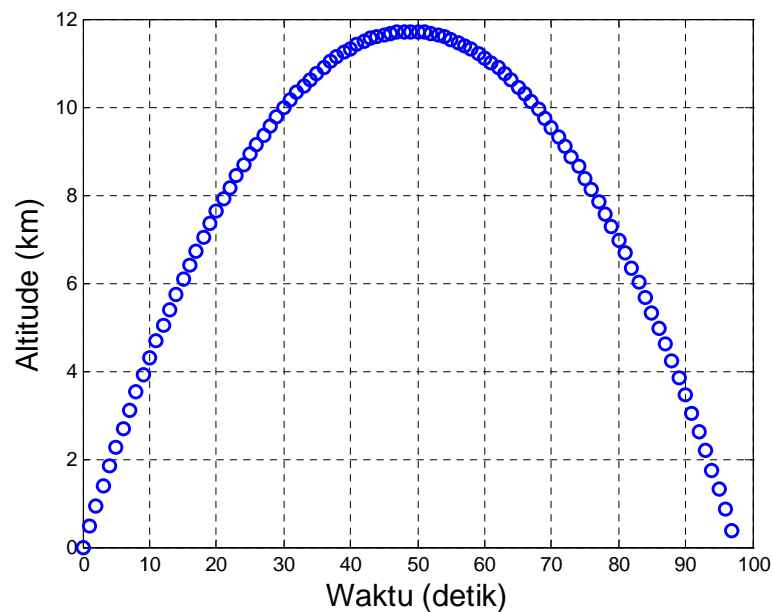
Seperti terlihat pada gambar 1 di atas, gerak roket disimulasikan sebagai parabolik dengan parameter sudut elevasi  $\alpha$ , kecepatan awal roket saat burning time  $V_0$ , dan jarak optimal terhadap titik meluncur  $D$ . Jika kecepatan awal adalah sebesar 2 Mach atau 2x340 m/det, maka waktu yang diperlukan sampai roket jatuh dengan sudut elevasi  $\alpha$  adalah 70 deg, maka waktu yang diperlukan sampai roket jatuh adalah:

$$t = \frac{v_0 \cos \alpha}{2g} \quad (4)$$

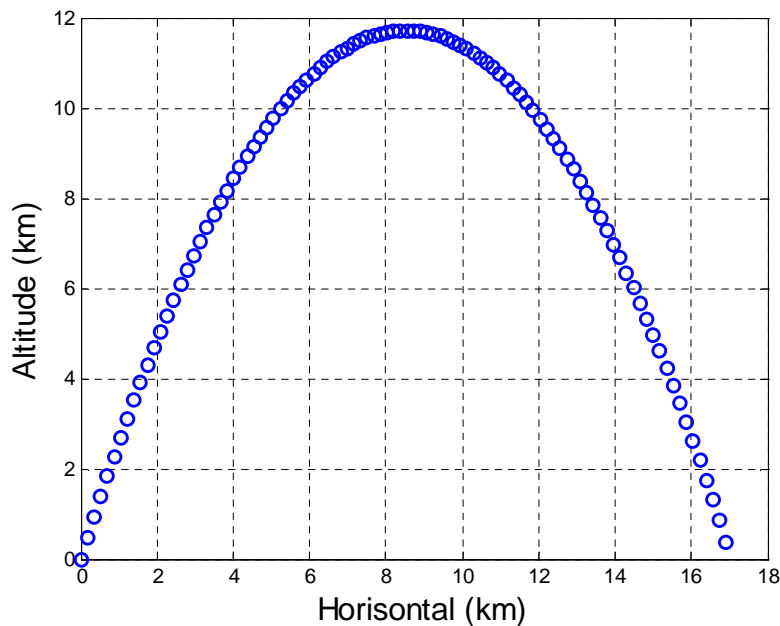
Disini  $\alpha$  adalah sudut elevasi ( $70^0$ ) dan  $g$  adalah 10 m/det<sup>2</sup>. Sedangkan tinggi roket dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$s_y(t) = v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (5)$$

Dengan menggunakan (4) dan (5), maka tinggi roket dapat dihitung dari saat meluncur, hingga jatuh ke laut.



Gambar 2. Trayektori roket, tinggi vs. waktu selama terbang.



**Gambar 3.** Trayektori roket, tinggi vs. jarak horisontal selama terbang.

Gambar 2 dan gambar 3 adalah simulasi trayektori roket yang berbentuk parabola. Gambar 2 adalah tinggi versus waktu, sedangkan gambar 3 adalah tinggi versus jarak horizontal.

Dengan menggunakan parameter seperti diatas, maka secara umum perubahan sudut optik dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\Delta\theta_n = \text{atan} \left\{ \frac{\sum_1^n s_{y_n}}{D+s_{x_n}} \right\} - \sum_1^{n-1} \Delta\theta_n \quad (6)$$

Dengan menggunakan persamaan (6) di atas, maka kecepatan sudut *pitch* kamera untuk tracking roket dapat ditentukan dengan menggunakan parameter seperti pada table 1 berikut.

**Tabel 1.** Parameter terbang roket

Parameter	Nilai
Kecepatan awal roket	1.5x340 m/s
Sudut elevasi	70 <sup>0</sup>
Waktu terbang	98 detik
Jarak maksimum horizontal	17 km
Apogee roket	13.5 km

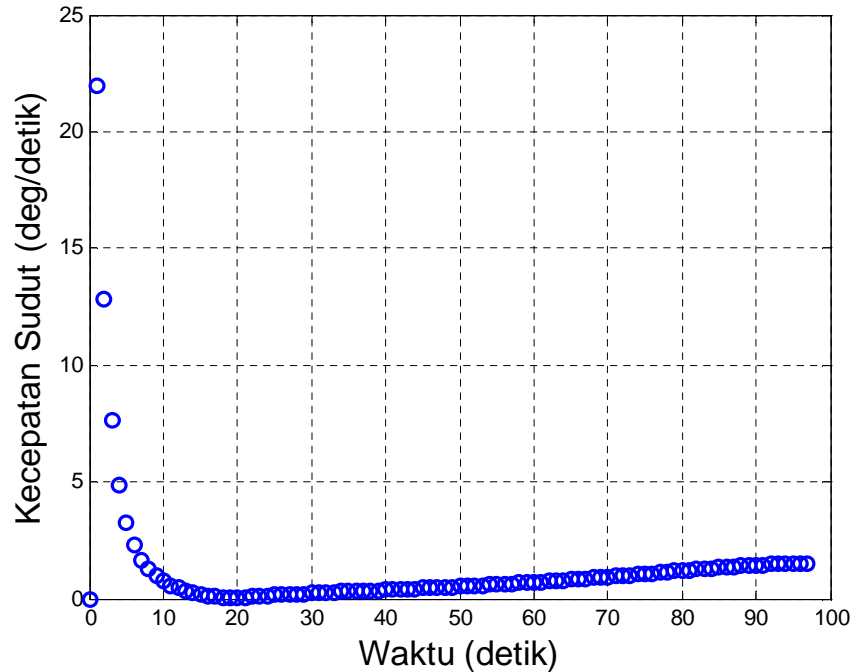
Dengan menggunakan persamaan (1) hingga (6) dan parameter dari tabel 2 di bawah, maka kecepatan sudut kamera selama terbang adalah seperti pada gambar 4 berikut.

**Tabel 2.** Desain parameter aktuator optik tracking.

Parameter	Nilai
Minimum kecepatan sudut	25 deg/sec
Resolusi sudut	1 <sup>0</sup>
Jarak kamera dengan launching pad	50 m

Pada gambar tersebut terlihat, pada detik awal diperlukan kecepatan sudut kamera hingga minimal 25 deg/detik, akan tetapi mulai pada detik ke 10 secara perlahan kecepatan sudut hanya bertambah hingga kurang dari 4 deg/detik. Profile kecepatan sudut ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (6). Semakin jauh jarak kamera ke titik luncur, maka kecepatan sudut yang diperlukan akan semakin kecil. Akan tetapi jarak pandang roket semakin dekat dan kurang jelas. Oleh karena itu pemilihan perangkat keras yang digunakan sangat menentukan parameter yang digunakan pada saat uji tracking roket. Aktuator yang lebih cepat dan lebih halus sangat diperlukan. Pembesaran lensa kamera yang lebih besar juga akan lebih jauh jarak pandangnya. Kombinasi ke dua parameter ini sangat penting digunakan dalam pemilihan hardware dan implementasi di lapangan.

Jika spesifikasi dari kamera dan aktuator yang digunakan telah ada, maka dengan menggunakan landasan teori diatas, uji tracking roket ini akan dapat optimal. Hasil dari simulasi ini dapat selalu digunakan sebagai patokan penggunaan hardware untuk tracking optic. Jika tidak diperhatikan parameter, seperti jarak kamera ke titik luncur dan kecepatan sudut maksimum aktuator, maka tidak akan mendapatkan hasil yang optimal, bahkan trayektori roket tidak akan terdeteksi, karena kemampuan hardware tidak memenuhi syarat.



**Gambar 4.** Hasil perhitungan kecepatan sudut kamera yang diperlukan untuk tracking selama terbang roket.

#### 4. KESIMPULAN

Telah didesain sistem tracking roket berbasis optik yang digunakan untuk merekam kondisi peluncuran selama masih dapat terlihat secara visual kamera. Fokus kamera diposisikan tidak berubah, minimum kecepatan sudut yang harus dilakukan oleh actuator adalah 25 deg/detik. Parameter yang diperoleh dari desain ini dapat direalisasikan dengan hardware yang ada dipasaran atau dapat dikembangkan sendiri. Kesesuaian kemampuan hardware dengan parameter untuk ujicoba ini sangat menentukan keberhasilan tracking trayektori roket.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ChenJinXi, "A small guided missile tracking and measuring technology", Dissertation, University of Electronic Science and Technology.
- Tsuneyoshi Uyemura et al, "Optical Tracking for Japanese Sounding Rockets", SPIE Proceedings Vol. 0097.