

ALGORITMA PENGENALAN POLA BINTANG UNTUK DETEKSI POSISI BINTANG PADA STAR SENSOR SATELIT LAPAN

M. Arif Saifudin, Robertus Heru Triharjanto

Peneliti Bidang Mekatronika, LAPAN

e-mail: masdidin@yahoo.com, rtriharjanto@yahoo.com

ABSTRACT

Star sensor is a high accuracy sensor for a satellite attitude determination. This sensor identifies the position of stars in celestial map by comparing the position of stars on its active sensor with the star position data contained in its catalogue. An algorithm is needed to recognize the star pattern imaged by sensoring and calculating the position of the stars. An efficient and accurate algorithm is needed to improve the performance of the star sensor for satellite attitude determination. A simple star pattern recognition algorithm uses the neighbourhood technique. The first approach of algorithm is detecting the brightest star and its neighbours in the sensor Field of View (FOV) and identifying whether the stars in image sensor are fit to the star pattern in the catalogue. The simple catalogue used contains the star position and all its neighbouring stars within particular distance in the scope of FOV. Test result showed that neighbours technique has an accuracy below 1 arc min which correspond to the typical accuracy value of star sensor.

Keywords: *Satellite attitude determination, Star pattern recognition, Star Sensor*

ABSTRAK

Star Sensor merupakan sensor untuk menentukan sikap satelit dengan akurasi tinggi. Star sensor memberikan data posisi bintang dengan cara membandingkan posisi bintang yang terdapat pada sensor sebagai piksel-piksel yang aktif dengan data bintang yang terdapat dalam katalog. Suatu algoritma diperlukan untuk mengenali pola bintang yang ditangkap oleh sensor dan melakukan perhitungan posisinya. Algoritma yang akurat dan efisien diperlukan untuk meningkatkan unjuk kerja star sensor untuk determinasi sikap satelit. Sebuah algoritma sederhana dibahas dalam tulisan ini, yaitu dengan menggunakan teknik bintang terdekat/tetangga. Pendekatan awalnya adalah dengan mendeteksi bintang-bintang tetangga dari suatu bintang paling terang yang tercakup dalam FOV (*Field of View*) sensor kemudian melakukan identifikasi bahwa pola bintang-bintang tersebut cocok dengan pola bintang tersebut dalam katalog. Katalog bintang sederhana yang digunakan berisi data posisi bintang dan bintang-bintang terdekat dalam jarak tertentu dalam cakupan FOV. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi dari teknik tersebut cukup baik, yaitu di bawah 1 arc min sesuai dengan nilai maksimum akurasi star sensor.

Kata Kunci: *Penentuan Sikap Satelit, Pengenalan Pola Bintang, Sensor Bintang*

1 PENDAHULUAN

Star sensor merupakan sensor determinasi sikap satelit dalam tiga sumbu yang cukup akurat dan banyak digunakan oleh banyak satelit untuk Sistem ADC (*Attitude Determination Control*) termasuk juga satelit LAPAN-A2 dan LAPAN-ORARI yang rencananya akan diluncurkan pada tahun 2011. Seperti ditunjukkan oleh akurasi untuk

beberapa sensor sikap ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 1-1: AKURASI TIPIKAL SENSOR PENENTUAN SIKAP SATELIT (Bak, 1999)

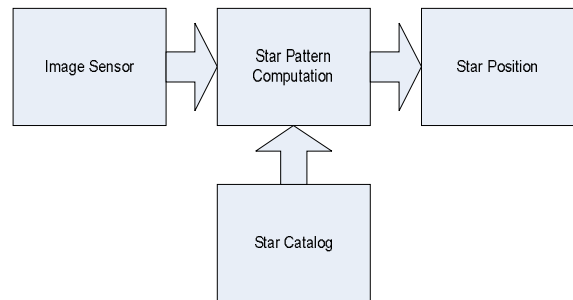
Horizon Sensor	0.05 deg-1deg
Sun Sensor	0.005 deg-4 deg
Star Sensor	$2.78 \cdot 10^{-4}$ deg - 0.0167 deg
Magnetometer	0.5 deg – 5 deg

Tingkat akurasi star sensor tergantung pada teknologi komputasi yang terdapat di dalamnya. Selain teknologi mikroprosesor dan sensor kamera, algoritma yang diterapkan dalam komputasi juga turut menentukan kecepatan dan akurasi determinasi sikap satelit.

Pada prinsipnya, cara kerja star sensor adalah melakukan perhitungan posisi bintang. Jika sekumpulan cahaya bintang yang ditangkap oleh sensor kamera dapat diketahui posisinya dalam referensi inersial, maka dapat diketahui orientasi sikap satelit pada saat itu.

Perhitungan posisi bintang yang dilakukan membutuhkan data referensi posisi bintang yang dinamakan katalog bintang (*star catalogue*) yang tersimpan dalam memori unit elektronik star sensor. Star sensor memberikan data posisi bintang dengan cara membandingkan posisi bintang-bintang yang terdapat pada sensor sebagai piksel-piksel yang aktif dengan data bintang-bintang yang terdapat dalam katalog. Suatu algoritma diperlukan untuk pengenalan pola bintang yang ditangkap oleh sensor dan melakukan perhitungan posisinya. Beberapa contoh algoritma pengenalan pola bintang yang telah dikembangkan seperti *Lost In Space Pyramid* (Diaz, K. D., 2006), *Bit Match* (Hua Li, Bao, Chun Zhang, Ying, Yi Li, Hua, Wen Xu, Shi, 2005), serta algoritma *Oriented Triangles* (Rousseau, G. L. au, Bostel, J., Masari, B., 2005). Pendekatan awalnya adalah dengan mendeteksi bintang-bintang tetangga dari suatu bintang yang paling terang yang tercakup dalam FOV (*Field of View*). Sensor kemudian melakukan identifikasi bahwa bintang-bintang tersebut cocok dengan pola bintang dalam katalog. Algoritma tersebut hanya membutuhkan posisi bintang dalam kartesian (vektor satuan x,y, z) untuk menghitung jarak masing-masing bintang terhadap bintang tetangganya. Posisi masing-

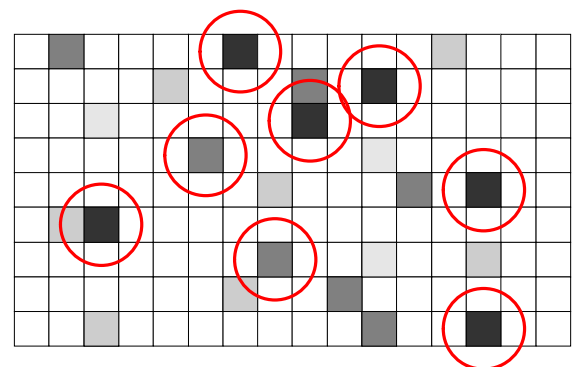
masing bintang yang teridentifikasi yaitu *Right Ascension* (RA) dan Deklinasi (DE) kemudian dicari rata-rata *RA_mean* dan *DE_mean* terhadap titik tengah sensor. Sebagai referensi, sebuah katalog bintang sederhana yang digunakan berisi data posisi 4000 bintang. Proses penentuan posisi bintang ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 1-1: Proses Sederhana Penentuan Posisi Bintang

2 IDENTIFIKASI POLA BINTANG

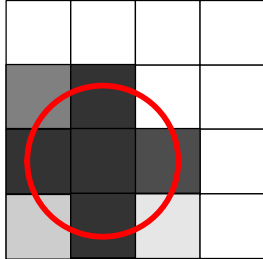
Cahaya bintang yang masuk dan jatuh ke permukaan sensor dipresentasikan sebagai piksel aktif yang mempunyai nilai tertentu. Setiap piksel sensor CCD mempunyai indeks nilai dari 0 (paling gelap) sampai dengan angka maksimum 4096 (paling terang). Piksel-piksel aktif tersebut kemudian disebut sebagai panorama image. Agar algoritma lebih efisien, maka dilakukan ekstraksi bintang dengan hanya mengambil piksel yang mempunyai indeks tertinggi (paling) terang pada setiap baris piksel sensor seperti terlihat pada Gambar 2-1.



○ = Piksel paling terang setiap baris

Gambar 2-1: Piksel dengan Indeks Terang pada Sensor

Jika ada beberapa piksel berdekatan yang mempunyai indeks nilai terang yang sama, maka diambil satu piksel saja karena kemungkinan cahaya pada piksel-piksel tersebut berasal dari cahaya bintang yang sama, seperti ditunjukkan Gambar 2-2 di bawah ini:



Gambar 2-2: Indeks terang pada piksel yang berdekatan

Selanjutnya *panorama* diekstraksi lagi dengan mengambil 30 objek yang memiliki indeks paling tinggi. Panorama image inilah yang diproses untuk mengenali piksel-piksel aktif tersebut sebagai pola bintang. Panorama image dapat disimpan sebagai raw data dalam bentuk file dan disusun dengan struktur seperti terlihat pada Gambar 2-3 di bawah ini :

y position of 1st star	x position of 1st star	index value of 1st star
:	:	:
y position of 30th star	x position of 30th star	index value of 30th star

Gambar 2-3: Struktur panorama image

Kriteria toleransi maksimum yang diambil adalah 1.5 piksel sehingga jarak angularnya d_m dapat dihitung :

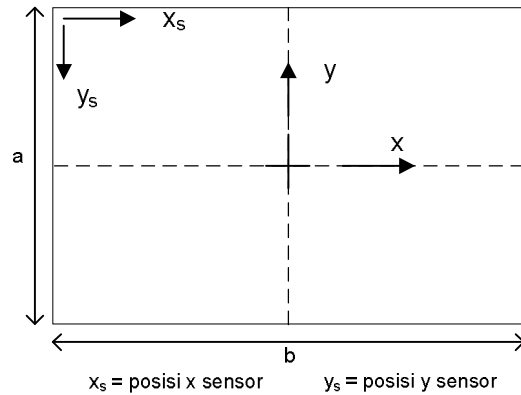
$$d_m = 2 \arctan \left(\frac{1.5/2}{f} \right) \quad (2-1)$$

dengan f adalah panjang fokal. Adapun jarak angular antar piksel aktif ($d\alpha_{ij}$) untuk setiap piksel $i \neq j$ diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$d\alpha_{ij} = \arccos \left(\frac{x_i x_j + y_i y_j + f^2}{m_i m_j} \right) \quad (2-2)$$

dengan $0 < i, j \leq 30$.

Dengan x dan y adalah posisi piksel dalam koordinat citra seperti ditunjukkan dalam Gambar 2-4 di bawah ini:



Gambar 2-4: Koordinat citra star sensor

dimana,

$$x = x_s - (b/2) \quad (2-3)$$

$$y = (a/2) - y_s \quad (2-4)$$

Dengan m_i dan m_j berturut-turut adalah besar vektor (*magnitude*) piksel a_i dan a_j dimana i dimulai dari piksel dengan indeks paling besar. Sehingga diperoleh keseluruhan jarak angular antar piksel aktif dalam dari panorama image.

Pengenalan pola bintang membutuhkan sebuah katalog bintang sebagai referensi. Katalog bintang yang digunakan berupa data bintang beserta semua bintang tetangganya yang masuk dalam FOV sensor (d_{fov}) dengan struktur seperti terlihat pada Gambar 2-5 di bawah ini:

star id	x	y	z	number of nb
id 1st star	x 1st star	y 1st star	z 1st star	n
nb id	d [urad]	d [deg]		
id nb 1	d1	d1		
:	:	:		
id nb n	dn	dn		
id 2nd star	x 2nd star	y 2nd star	z 2nd star	M
id nb id				
:	:	:		
id nb m	dm	dm		
id nth star	x nth star	y nth star	z nth star	X

Gambar 2-5: Stuktur katalog bintang

Katalog tersebut dibuat dengan memodifikasi katalog bintang yang berisi data 14000 bintang dengan informasi *Right Ascension* (RA), Deklinasi (DE), unit vektor (x,y,z), dan nilai *magnitude*-nya. Dengan melakukan modifikasi, praktis hanya dibutuhkan data unit vektor bintang tersebut dan jarak dengan semua tetangganya.

Proses pengenalan pola bintang dimulai dengan mencari selisih jarak angular setiap piksel aktif pada sensor ($d\alpha_{ij}$) dengan jarak angular bintang β dengan setiap tetangganya ($d\beta_{ij}$) pada katalog. Jika nilai absolut ($d\beta_{ij} - d\alpha_{ij}$) $< d_m$ maka pasangan piksel aktif α_{ij} cocok dengan pasangan bintang β_{ij} . Proses dilakukan terus sampai mencapai jumlah kecocokan (Fn , *fit number*) yang telah ditentukan:

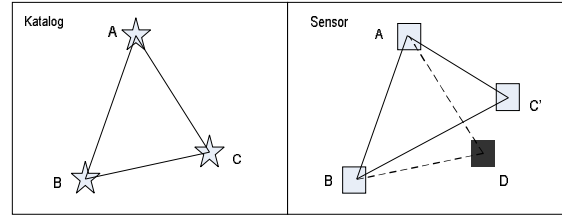
$$Fn = \sum_{i,j=1}^n |d\beta_{ij} - d\alpha_{ij}| < d_m \quad (2-5)$$

Pada level ini bisa dikatakan proses pengenalan mencapai nilai kecocokan level pertama. Selanjutnya dilakukan proses pencocokan level kedua yaitu memastikan bahwa semua piksel aktif α_j cocok dengan piksel aktif lainnya α_k , di mana $j \neq k$ dengan ketentuan:

$$Fn2 = \sum_{i_f, j_f=1}^N |d\beta_{i_f j_f} - d\alpha_{i_f j_f}| < d_m \quad (2-6)$$

dimana indeks $Fn2$ adalah jumlah kecocokan level kedua dan i_f dan j_f menunjukkan masing-masing indeks piksel/ bintang yang mencapai kecocokan level pertama. Pengecekan level kedua ini perlu dilakukan karena bisa muncul kemungkinan jika piksel a cocok dengan piksel b , dan c tetapi belum tentu piksel b cocok dengan

piksel c . Ilustrasinya ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2-6: Kecocokan level kedua

Maka pada level kedua ini jumlah kecocokan bisa berkurang. Pada kasus seperti gambar di atas, piksel C' bukan bintang karena tidak ditemukan pola tersebut dalam katalog. Jika ditemukan pola yang sama, maka piksel D merupakan bintang. Piksel C' di atas kemungkinan adalah *hot pixel* (*defect/ noise* atau cacat pada lensa) atau kemungkinan lain adalah benda bercahaya lain yang tertangkap sensor misalnya planet.

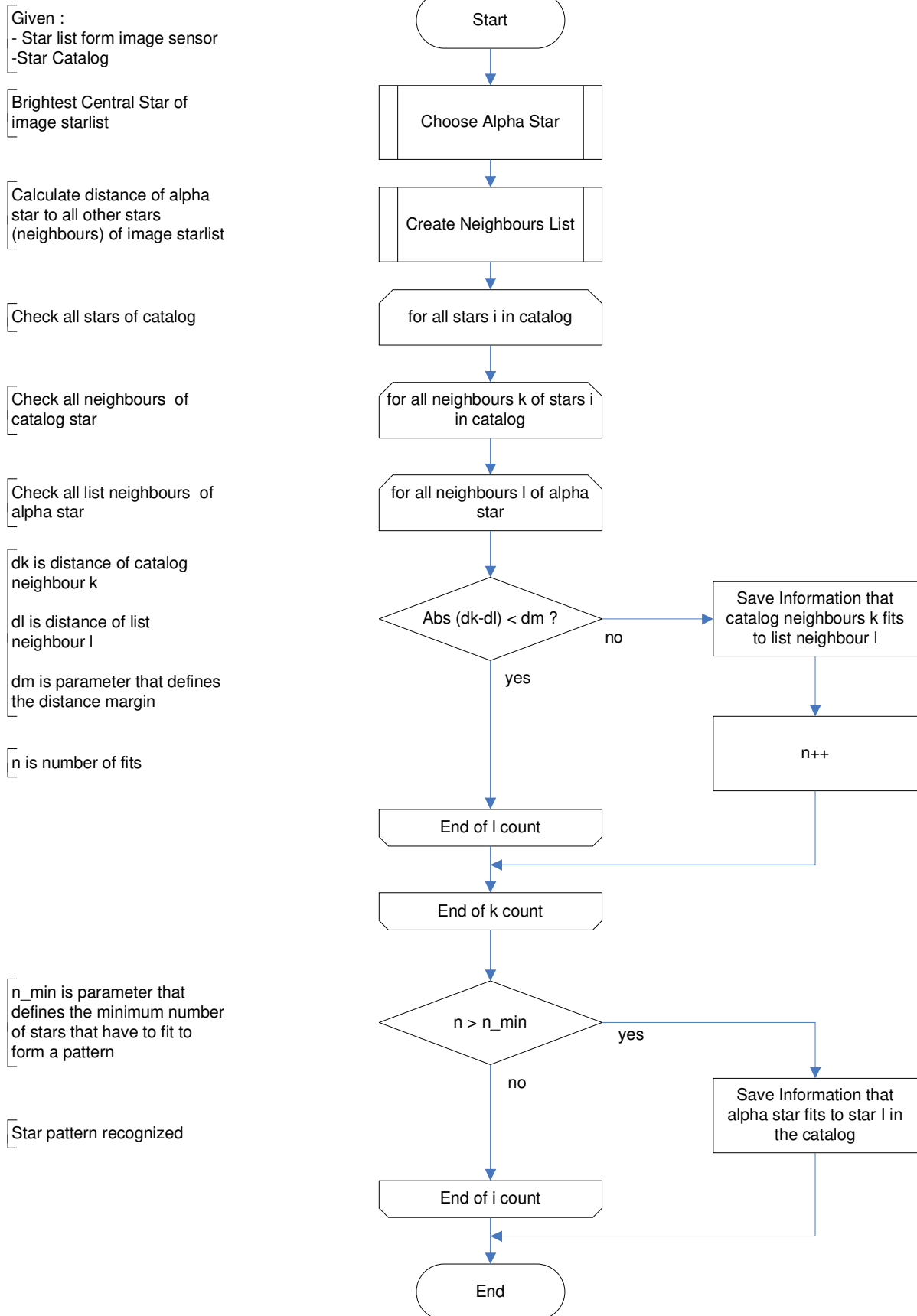
Setelah dilakukan pengecekan level kedua, maka bisa dipastikan bahwa piksel-piksel aktif yang membentuk pola bintang seperti yang terdapat dalam katalog adalah bintang. Dengan diketahuinya pola bintang yang tertangkap oleh sensor, kemudian dilakukan proses komputasi perhitungan sudut-sudut euler (RA, DE).

Perhitungan RA dan DE adalah sebagai berikut:

$$RA = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2-7)$$

$$DE = \arctan\left(\frac{f}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \quad (2-8)$$

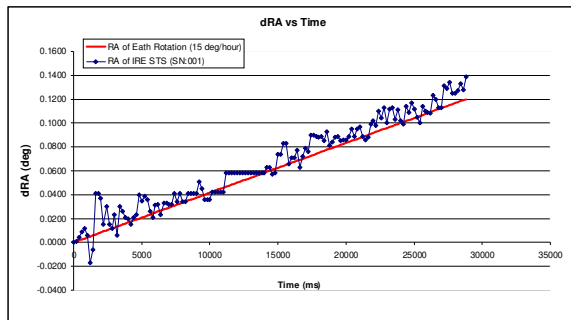
Secara keseluruhan diagram alir algoritma pengenalan pola bintang dapat ditunjukkan pada Gambar 2-7 di bawah ini:



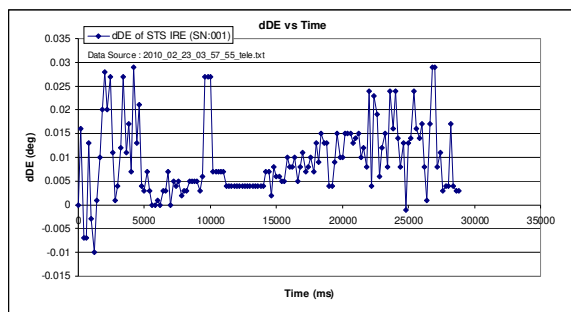
Gambar 2-7: Diagram alir pengenalan pola bintang

3 PENGUJIAN

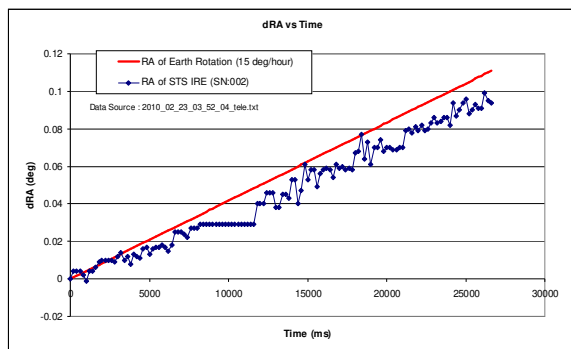
Pengujian dilakukan dengan menggunakan star sensor yang akan diterbangkan pada satelit LAPAN-A2 dan LAPAN-ORARI dan dilakukan pada waktu malam hari. Star sensor diarahkan tegak lurus menghadap ke langit bebas tanpa adanya halangan misalnya awan. Parameter yang diuji adalah RA dan DE dan hasilnya disajikan pada gambar di bawah ini :



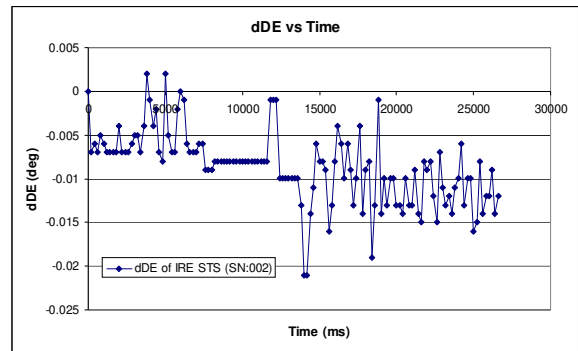
Gambar 3-1: Grafik dRA vs waktu star sensor 1



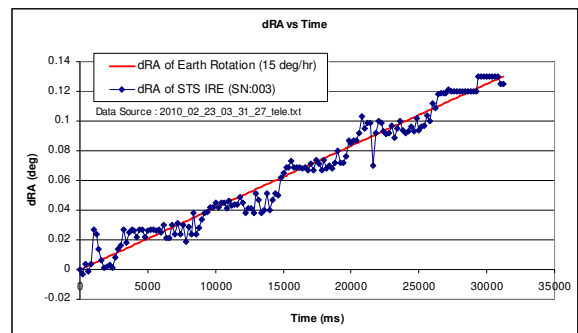
Gambar 3-2: Grafik dDE vs waktu star sensor 1



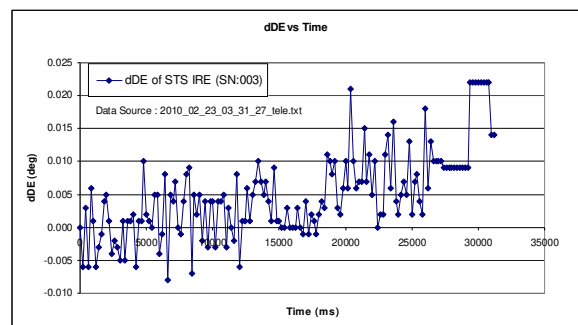
Gambar 3-3: Grafik dRA vs waktu star sensor 2



Gambar 3-4: Grafik dDE vs waktu star sensor 2



Gambar 3-5: Grafik dRA vs waktu star sensor 3



Gambar 3-6: Grafik dDE vs waktu star sensor 3

4 ANALISIS

Dari hasil pengujian, diperoleh data perubahan rata-rata nilai dRA dan dDE adalah seperti terlihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1: NILAI RATA-RATA dRA DAN dDE

	Mean dRA (deg)	Mean dDE (deg)	Time
Star Sensor 1	0.006676	0.009221	< 200 ms
Star Sensor 2	0.003552	0.00866	< 200 ms
Star Sensor 3	0.005	0.005	< 200 ms
	0.005076	0.007627	

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai perubahan RA dan DE memiliki variasi yang kecil, yaitu 0.005076° (0.3 arcmin) untuk RA dan 0.007627° (0.45 arcmin) untuk DE yang berarti masih di bawah nilai maksimum akurasi, yaitu 1 arcmin (0.0167 deg).

5 KESIMPULAN

Algoritma pengenalan pola bintang dengan teknik bintang tetangga dapat diterapkan pada star sensor untuk menentukan posisi bintang. Teknik tersebut menghasilkan hasil pengujian dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi yaitu 0.3 arcmin untuk RA dan 0.45 arcmin untuk DE. Dengan waktu pengambilan data yang dibutuhkan dalam proses pengenalan pola bintang sampai perhitungan sudut Euler di bawah 200 ms, maka algoritma tersebut dapat digunakan sebagai sensor sikap satelit.

DAFTAR RUJUKAN

- Bak, T., 1999. *Spacecraft Attitude Determination - a Magnetometer Approach*. PhD thesis, Aalborg, Denmark. University, Department of Control Engineering, Denmark.
- Buhl, M., Renner, U., 2009. *Star Sensor Development Based On The TUBSAT Experience*. 7th IAA Symposium. Berlin.
- Diaz, K. D., 2006. *Performance Analysis of Fixed Point Star Tracker Algorithm for Use Onboard a Picosatellite*. California Institute of Technology. Agustus.
- Hua Li, Bao, Chun Zhang, Ying, Yi Li, Hua, Wen Xu, Shi, 2005. *An Autonomous Star Pattern Recognition Algorithm Using Bit Macth*. Harbin Institute of Technology. Harbin. China.
- Krogh, K., Schreder, E., 2002. *Attitude Determination for AAU Cubesat*. Aalborg, Denmark. University, Department of Control Engineering, Denmark.
- Rousseau, G. L. au, Bostel, J., Masari, B., 2005. *New Star Pattern Recognition Algorithm for APS Star Tracker Application : "Oriented Triangle"*. Laboratoire de recherche balistique et Aerodynamique. Vernon. France.
- Saifudin, M., A., 2009. *Laporan Training Star Sensor TU Berlin*. Pustekelegan Lapan. Bogor.