

Pola Posisi Berbasis Fuzzy dalam Domain Frekuensi dan *Pseudopolar Fourier Transform* untuk Identifikasi Bintang Baru

Laili Cahyani¹, Agus Zainal Arifin², Arya Yudhi Wijaya³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur
E-mail : ¹⁾ laili.cahyani12@gmail.com, ²⁾ agusza@cs.its.ac.id, ³⁾ arya@cs.its.ac.id

Abstrak

Identifikasi bintang diperlukan dalam penelusuran bintang. Namun, adanya bintang baru dapat mempengaruhi stabilitas bintang di sekitarnya. Hal itu dapat menyebabkan kesalahan dalam penelusuran bintang. Maka, diperlukan sebuah aplikasi yang mampu melakukan identifikasi bintang baru. Salah satu cara untuk melakukan identifikasi bintang baru adalah dengan membandingkan citra masukan terhadap citra *database*. Permasalahan terjadi ketika pengambilan citra bintang dilakukan pada waktu atau kondisi yang berbeda. Sehingga penelitian ini melakukan identifikasi bintang baru dengan mengintegrasikan metode pola posisi berbasis Fuzzy dalam domain frekuensi dan *Pseudopolar Fourier Transform*. Metode pola posisi berbasis Fuzzy telah mampu mengidentifikasi kemiripan bintang meskipun terdapat bintang tetangga hilang. Sedangkan, metode *Pseudopolar Fourier Transform* mampu mengidentifikasi besarnya perubahan kondisi citra. Selanjutnya, bintang baru dapat diidentifikasi melalui pengurangan koordinat posisi bintang pada citra masukan dan koordinat posisi bintang pada citra *database*. Kinerja sistem dapat ditunjukkan setelah melakukan pengujian terhadap 172 data dari aplikasi Stellarium, yaitu dengan tingkat akurasi sebesar 72,67%.

Kata Kunci: citra bintang, pola Fuzzy, *Pseudopolar Fourier Transform*, identifikasi bintang baru

1. Pendahuluan

Penelusuran bintang merupakan tugas penting untuk beberapa aplikasi teknologi satelit dan ruang angkasa. Penelusuran bintang akan menentukan perilaku satelit atau pesawat antariksa. Identifikasi bintang adalah tugas utama sebelum dilakukan penelusuran bintang. Identifikasi bintang dapat dilakukan dengan membandingkan bintang-bintang di citra masukan dari kamera satelit terhadap bintang-bintang dari *database*. Tugas tersebut menjadi sulit ketika pengambilan citra dilakukan pada waktu atau kondisi pengambilan data yang berbeda (Zhang dkk., 2008; Sadat dkk., 2014).

Cara untuk melakukan identifikasi bintang dapat dikategorikan menjadi dua. Pertama yaitu identifikasi bintang melalui pendekatan *graph*. Pada pendekatan *graph*,

bintang-bintang dianggap seperti verteks-verteks pada *graph* yang tidak memiliki arah, dimana jarak sudut antara pasangan bintang merupakan bobot *edge*. Namun, pendekatan ini sensitif terhadap adanya bintang yang hilang. Pendekatan kedua yaitu identifikasi berdasarkan pola. Pendekatan ini diusulkan untuk mengatasi kelemahan dari pendekatan *graph* (Zhang dkk., 2008; Sadat dkk., 2014).

Beberapa penelitian telah melakukan identifikasi bintang melalui pendekatan pola. Zhang, dkk pada tahun 2008 melakukan identifikasi bintang melalui pendekatan pola berdasarkan fitur radial dan *cyclic*. Pola didapatkan dengan menggunakan seluruh informasi bintang melalui tetangga terdekat agar *invariant* terhadap rotasi (Zhang dkk., 2008). Namun metode ini mengalami kegagalan ketika

tetangga terdekatnya hilang (Sadat dkk., 2014).

Sadat dan Behrad pada tahun 2014 mengusulkan metode pembentukan pola melalui posisi berbasis keanggotaan *Fuzzy* dalam *domain* Fourier. Metode ini menggunakan informasi seluruh bintang dalam *field of view* (FOV). Metode ini mengatasi hilangnya salah satu bintang atau kesalahan identifikasi dengan memanfaatkan fungsi keanggotaan *fuzzy*. Metode ini juga mengatasi perubahan rotasi dalam *domain* Fourier. Sehingga, metode ini mampu melakukan identifikasi kemiripan bintang yang *invariant* terhadap rotasi (Sadat dkk., 2014).

Adanya bintang baru dapat mempengaruhi stabilitas bintang di sekitarnya. Hal itu dapat menyebabkan kesalahan dalam identifikasi bintang. Maka, diperlukan sebuah aplikasi yang mampu melakukan identifikasi bintang baru. Sehingga, pada penelitian ini diusulkan sebuah sistem identifikasi bintang baru dengan mengintegrasikan metode pola posisi berbasis *Fuzzy* dalam *domain frekuensi* dan *Pseudopolar Fourier transform*.

Penelitian ini melakukan identifikasi bintang baru dengan mengintegrasikan keuntungan yang dimiliki oleh metode pola posisi berbasis *Fuzzy* dalam domain frekuensi dan metode registrasi menggunakan *Pseudopolar Fourier Transform*. Metode pola posisi berbasis *Fuzzy* telah mampu mengidentifikasi kemiripan bintang melalui pola ketetanggaan tanpa banyak informasi yang diketahui, serta mampu mengidentifikasi kemiripan bintang meskipun terdapat tetangga yang hilang. Sedangkan, metode *Pseudopolar Fourier Transform* mampu mengidentifikasi besarnya perubahan kondisi pada suatu citra (Wijaya dkk., 2011). Selanjutnya, bintang baru dapat diidentifikasi melalui pengurangan antara koordinat posisi

bintang pada citra masukan dan citra pada *database*.

2. Kajian Pustaka

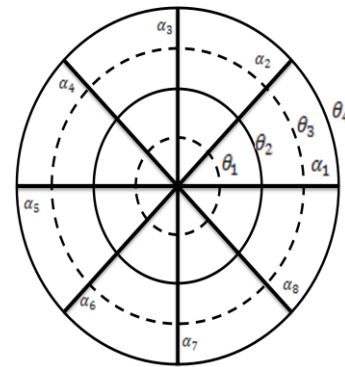
2.1 Pola Posisi Berbasis Fuzzy dalam Domain Frekuensi

2.2.1 Pembentukan *Circular Grid*

Field of View (FOV) merupakan medan pandang atau luas jangkauan dalam menangkap suatu objek. Pola dibentuk berdasarkan pembagian FOV ke dalam *circular grid*. Gambar 1 menunjukkan pembentukan *circular grid* dari citra bintang ke dalam bentuk gelang-gelang oleh lingkaran-lingkaran terpusat dengan radius angular θ_k . θ_k didefinisikan oleh persamaan 1. Tiap-tiap lingkaran terpusat dibagi lagi menjadi beberapa sektor dengan pemisahan sudut $\Delta\alpha$. Formula pemisahan sudut dapat dilihat pada persamaan 2.

$$\Delta\theta = \frac{FOV}{2N}, \theta_k = k\Delta\theta, k = 1, \dots, N \quad (1)$$

$$\Delta\alpha = \frac{2\pi}{N}, \alpha_k = k\Delta\alpha, k = 1, \dots, N \quad (2)$$



Gambar 1. Ilustrasi pembentukan *circular grid* (Sadat dkk., 2014)

2.2.2 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Fungsi keanggotaan *Fuzzy* digunakan untuk menentukan ketergantungan bintang yang terdeteksi pada tiap sektor (Sadat dkk., 2014). Jika θ_{ij} merupakan jarak angular antara bintang terdeteksi i dan bintang terang (*bright star*) j . Sedangkan α_{ij} merupakan sudut antara garis yang terhubung antara bintang i dan j dengan

sumbu horisontal. Fungsi keanggotaan *Fuzzy* pada kasus berikut menggunakan keanggotaan *conical*. Formula fungsi tersebut ditunjukkan oleh persamaan 3.

$$M_j(m, n, i) = \begin{cases} 0, & |\theta_{ij} - \theta_m^c| > \Delta\theta, |\alpha_{ij} - \alpha_n^c| > \Delta\alpha, \\ 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{\theta_{ij} - \theta_m^c}{\Delta\theta}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_{ij} - \alpha_n^c}{\Delta\alpha}\right)^2}, & \text{selainnya} \end{cases} \quad (3)$$

dimana (m, n) merupakan indeks sektor *annular* dalam grid pola dan (θ_m^c, α_n^c) merupakan posisi *angular* untuk pusat sektor *annular*. θ_m^c dan α_n^c didefinisikan dalam formula pada persamaan 4 dan 5.

$$\theta_m^c = \frac{(2m-1)}{2} \Delta \quad (4)$$

$$\alpha_n^c = \frac{(2m-1)}{2} \Delta\alpha \quad (5)$$

Setelah nilai keanggotaan didapatkan, maka pola pencocokan M_j untuk bintang acuan j berdasarkan fungsi keanggotaan *Fuzzy* ditentukan dengan formula pada persamaan 6.

$$M_j(m, n) = \sum_{i=1}^{N_j} M_j(m, n, i) \quad (6)$$

dimana $M_j(m, n)$ didefinisikan sebagai jumlah bintang-bintang yang terdeteksi dalam FOV dari bintang acuan j .

2.2.3 Magnitude Transformasi Fourier

Pola yang didapatkan dari suatu bintang terang sangat sensitif terhadap rotasi. Sehingga dibutuhkan sebuah transformasi fourier untuk merepresentasikan pola agar dapat *invariant* terhadap rotasi dan menghapus efek pergeseran pada bintang. *Magnitude* ($M_j^F(u, n)$) dari transformasi fourier untuk M_j didefinisikan oleh formula pada persamaan 7.

$$M_j^F(u, n) = \sum_{m=1}^N M_j(m, n) e^{\frac{-j\pi u}{N}}, \quad (7)$$

$$u = 1, 2, \dots, N$$

2.3 Registrasi dengan Pseudopolar Fourier Transform

2.3.1 Pseudopolar Fourier Transform

PPFT adalah Transformasi Fourier 2D dari sebuah citra yang diletakkan di atas *pseudopolar-grid*. Secara lengkap, *pseudopolar-grid* diberikan oleh himpunan

$$P \equiv P_1 \cup P_2 \quad (8)$$

dimana,

$$P_1 \equiv \left\{ \left(-\frac{2l}{N}k, k \right) \mid -\frac{N}{2} \leq l \leq \frac{N}{2}, -N \leq k \leq N \right\} \quad (9)$$

$$P_2 \equiv \left\{ \left(k, -\frac{2l}{N}k \right) \mid -\frac{N}{2} \leq l \leq \frac{N}{2}, -N \leq k \leq N \right\} \quad (10)$$

Sebagai ilustrasi, *pseudopolargrid* ditunjukkan pada Gambar 2. k merupakan *pseudoradius* dan l merupakan *pseudoangle*. Resolusi *pseudopolar grid* adalah $N+1$ dalam arah angular dan $M = 2N+1$ pada arah radial. Dengan menggunakan representasi (r, θ) , *pseudopolar grid* dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_1(k, l) = (r_k^1, \theta_k^1), P_1(k, l) = (r_k^1, \theta_k^1) \quad (11)$$

$$r_k^1 = k \sqrt{4 \left(\frac{l}{N}\right)^2 + 1}, \quad r_k^2 = k \sqrt{4 \left(\frac{l}{N}\right)^2 + 1} \quad (12)$$

$$\theta_l^1 = \pi/2 - \arctan\left(\frac{2l}{N}\right), \quad \theta_l^2 = \arctan\left(\frac{2l}{N}\right) \quad (13)$$

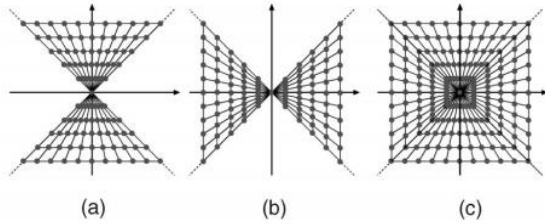
dimana $k = -N, \dots, N$ dan $l = -N/2, \dots, N/2$. PPFT didefinisikan sebagai sampel dari transformasi Fourier yang diberikan diatas *pseudopolar grid* P pada persamaan 8. Secara rinci, PPFT $\hat{I}_{pp}^j (j = 1, 2)$ adalah bentuk transformasi linier yang didefinisikan untuk $k = -N, \dots, N$ dan $l = -N/2, \dots, N/2$ sebagai berikut :

$$\hat{I}_{pp}^1(k, l) \equiv \hat{I}\left(-\frac{2l}{N}k, k\right)$$

$$= \sum_{u,v=-N/2}^{N/2-1} I(u,v) \exp \left[\frac{-2\pi i}{M} \left(-\frac{2l}{N} ku + kv \right) \right] \quad (14)$$

$$\hat{I}_{PP}^2(k,l) \equiv \hat{I} \left(k, -\frac{2l}{N} k \right)$$

$$= \sum_{u,v=-N/2}^{N/2-1} I(u,v) \exp \left[\frac{-2\pi i}{M} \left(ku - \frac{2l}{N} kv \right) \right] \quad (15)$$



Gambar 2. *Pseudopolar grid*. (a) sektor *pseudopolar*, (b) sektor *pseudopolar*, (c) *pseudopolar grid P* (Keller, dkk., 2005).

2.3.2 Estimasi Rotasi

Apabila I_2 merupakan I_1 yang mengalami rotasi sebesar $\Delta\theta$, maka untuk mencari sudut rotasi $\Delta\theta$ adalah dengan mengubah sistem koordinat kartesian pada I_1 dan I_2 menjadi koordinat polar sehingga $I_1(r, \theta) = I_2(r, \theta + \Delta\theta)$. (16)

2.4 Evaluasi

Kinerja sistem diukur menggunakan metode evaluasi umum, yaitu akurasi yang didapatkan dari persamaan 17.

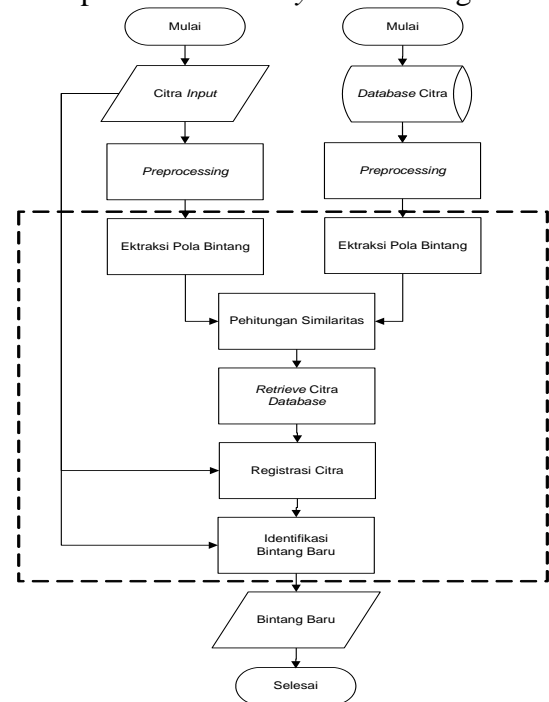
Akurasi(%) = (jumlah data teridentifikasi benar/jumlah keseluruhan data) × 100 (17)

3. Metode

Rancangan sistem identifikasi bintang baru ditunjukkan oleh Gambar 3. Rancangan tersebut meliputi pengambilan *dataset*, *preprocessing* citra masukan, ekstraksi pola bintang, perhitungan similaritas dari fitur yang telah didapatkan dari citra masukan dan fitur citra pada *database*, *retrieve* citra dari *database* berdasarkan nilai similaritas, registrasi citra masukan dan citra hasil *retrieve*

database, dan identifikasi bintang baru pada citra masukan.

Preprocessing pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan posisi bintang pada citra. Masukan proses ini adalah citra RGB dari *dataset* dan keluarannya berupa matriks koordinat bintang. Proses pertama pada *preprocessing* yaitu *cropping* citra ke dalam ukuran 1366×741 untuk menghilangkan keterangan gambar yang dapat mengganggu pemrosesan. Proses berikutnya yaitu konversi nilai RGB menjadi nilai *grayscale*. Setelah itu, dilakukan proses segmentasi objek bintang dengan menggunakan *thresholding* Otsu sesuai penjelasan pada 2.1. Sehingga, diperoleh objek bintang yang terpisah dari *background*. Kemudian, dicari *centroid* tiap bintang. Hasil tahap ini adalah vektor sepanjang $1 \times (2 \times \text{jumlah objek bintang pada citra})$. Sehingga, untuk mendapatkan koordinat x dan y perlu dilakukan proses *reshape* sepanjang vektor $2 \times (\text{jumlah objek bintang pada citra})$. Hasil pada baris pertama merupakan koordinat x dari bintang. Sedangkan, hasil pada baris kedua merupakan koordinat y dari bintang.



Gambar 3. Alur sistem secara umum

Setelah tahap *preprocessing* dilakukan, pola bintang dibentuk dan kemudian diekstraksi menggunakan pola posisi berbasis *Fuzzy* dalam *domain* frekuensi. Tahap berikut terdiri dari beberapa proses. Di antaranya adalah inialisasi bintang acuan, pembentukan *circular grid*, pembentukan matriks pola, perhitungan nilai keanggotaan *Fuzzy*, dan perhitungan *magnitude* transformasi Fourier. Untuk inialisasi bintang acuan, bintang yang akan digunakan, ditentukan dari bintang yang paling dekat dengan *centroid* citra. Keluarannya adalah 1 titik (x, y) koordinat bintang sebagai acuan. Tahap berikutnya adalah pembentukan *circular grid*. *Circular grid* merupakan sektor cincin (*annular sector*) yang dibentuk untuk membagi area bintang berdasarkan bintang acuan. Kemudian dibagi kembali menjadi sektor menyiku (*angular sector*). *Circular grid* dibagi menjadi 4×8 sektor. Ukuran ini dipertimbangkan atas dasar penelitian sebelumnya (Sadat dkk., 2014). Proses pembentukan *circular grid* diawali dengan proses *flipping* citra dengan arah vertikal. Proses ini dilakukan untuk mengubah nilai pusat $(0, 0)$ matriks pada citra yang berada di bagian kiri atas menjadi bagian kiri bawah (koordinat kartesian). Kemudian nilai pusat akan digeser ke letak bintang acuan. Proses ini dilakukan untuk menyesuaikan proses konversi dari koordinat kartesian ke dalam koordinat polar dengan pusat $(0,0)$ yang terletak pada bintang acuan. Selanjutnya, dilakukan konversi dari koordinat kartesian ke dalam koordinat polar yang menghasilkan informasi nilai *rho* dan *theta*. Dari informasi tersebut, pembagian sektor cincin (*annular sector*) dilakukan dengan membagi area dari pusat sampai nilai maksimum *Rho*. Sehingga, didapatkan 4 buah sektor cincin. Berikutnya, pembagian sektor menyiku (*angular sector*) dilakukan dengan membagi area dari sudut 0° sampai 360° sehingga menghasilkan 8 buah sektor

menyiku. Keluaran dari proses ini adalah letak bintang di masing-masing sektor.

Setelah itu, matriks pola dibentuk untuk merepresentasikan *circular grid* ke dalam bentuk matriks berukuran 4×8 . Pada sistem ini, matriks pola akan otomatis terbentuk pada saat proses perhitungan *circular grid*. Jadi, indeks matriks tersebut akan disesuaikan dengan posisi sektor dari pusat *circular grid*. Elemen-elemen pada matriks pola akan diisi dengan nilai keanggotaan *Fuzzy* pada tahap berikutnya. Kemudian dilakukan proses perhitungan nilai keanggotaan fuzzy dari tiap bintang. Pada proses ini, nilai keanggotaan bintang pada tiap sektor dihitung sesuai perhitungan rumus yang dijelaskan pada 2.2.2 (persamaan 3, 4, 5, dan 6). Sehingga, dihasilkan nilai keanggotaan sebanyak 4×8 (sesuai banyaknya sektor).

Tahap berikutnya adalah proses perhitungan *magnitude* transformasi fourier. Matriks yang dihasilkan sebelumnya ditransformasi ke dalam domain frekuensi. Proses ini dihitung sesuai penjelasan 2.2.3. Setelah itu, dihitung nilai *magnitude* hasil transformasi fourier tersebut. Proses ini akan dilakukan terhadap citra masukan dan seluruh citra pada *database* citra.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan similaritas untuk mengukur kemiripan pola bintang pada citra masukan dan citra *database*. Nilai similaritas dihitung antara fitur yang diperoleh setelah melakukan proses ekstraksi pola bintang pada citra masukan dan semua fitur pada *database* fitur. Perhitungan similaritas dilakukan menggunakan *cosine similarity*. Keluaran dari proses ini adalah vektor nilai similaritas sepanjang jumlah fitur pada *database* fitur.

Berikutnya adalah proses *retrieve* citra *database*. Citra *database* adalah citra yang memiliki tingkat kemiripan tertinggi dengan citra masukan. Pertama, dilakukan pengurutan terhadap nilai similaritas. Setelah didapatkan hasil perhitungan

similaritas dengan nilai tertinggi, maka dilakukan pengambilan fitur dan nama *file* dari database fitur sesuai dengan nilai similaritas tertinggi untuk melakukan pengambilan citra dengan nama *file* yang sama pada *database* citra. Keluaran proses ini adalah citra *database* yang berukuran sama dengan citra masukan awal.

Proses registrasi citra digunakan untuk menemukan kembali titik-titik yang bersesuaian antara citra masukan dengan citra *database*. Citra masukan merupakan citra *database* yang mengalami transformasi geometri, seperti : translasi, rotasi, dan skala. Namun pada penelitian ini, difokuskan untuk memastikan adanya pergeseran antara citra masukan dan citra *database* pada sumbu θ (pergeseran sudut). Pada proses registrasi di dalam penelitian ini, digunakan *pseudopolar fourier transform* (PPFT). Hal itu dilakukan dengan harapan meskipun titik pusat citra mengalami perpindahan atau pergeseran, perubahan sudut akibat transformasi rotasi akan tetap dapat diestimasi secara tepat. Beberapa proses pada tahapan ini adalah penentuan ROI, perhitungan PPFT, perhitungan *magnitude* dari PPFT, interpolasi ke dalam koordinat polar, *mapping* ke dalam representasi *log*, *mapping* ke dalam representasi *grayscale*, estimasi pergeseran dengan *phase correlation*.

Pada proses penentuan ROI, pertama mencari titik acuan yang akan digunakan sebagai batas ROI. Titik acuan yang digunakan pada penelitian ini adalah koordinat bintang yang paling dekat dengan *centroid* citra. Hal ini dilakukan karena distribusi bintang pada *dataset* yang tersedia kebanyakan berada di tengah citra. Masukan dalam proses ini merupakan citra masukan awal dan citra *database* yang merupakan hasil *retrieve* pada proses sebelumnya. Sehingga, perlu dilakukan tahap *preprocessing*. Proses ini dilakukan untuk mencari koordinat bintang yang akan digunakan sebagai titik acuan pada proses

penentuan ROI. Kemudian dilakukan *cropping* ROI dengan ukuran 512×512 . Ukuran ini disesuaikan berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya (Sadat dkk., 2014).

Setelah didapatkan ROI dari citra masukan dan citra *database*, dilakukan proses perhitungan PPFT pada kedua citra tersebut. Proses ini secara rinci dijelaskan pada 2.3.1 dan secara ringkas bentuk PPFT ditunjukkan oleh persamaan 14 dan 15. Keluaran dari proses ini berupa nilai spektrum fourier dari masing-masing citra dengan ukuran 1024×512 . Selanjutnya, dihitung nilai *magnitude* dari spektrum-spektrum tersebut. Keluaran *magnitude* ini berupa matriks yang berukuran sama dengan ukuran spektrum, yaitu 1024×512 . Tahapan selanjutnya adalah proses interpolasi *magnitude* PPFT ke dalam koordinat polar. Sehingga menghasilkan koordinat polar dengan sumbu x merepresentasikan nilai radial (r) dan sumbu y merepresentasikan nilai sudut (θ). Keluaran proses ini adalah matriks dengan ukuran 1024×512 dengan nilai-nilai elemen hasil interpolasi. Karena nilai-nilai *magnitude* yang telah diproses memiliki jangkauan yang cukup besar. Maka dilakukan proses pemetaan ke dalam representasi *log*. Hal ini dilakukan agar jangkauan tidak terlalu besar sehingga lebih akurat dalam melakukan pencarian pergeseran sudut. Setelah dilakukan operasi *log*, berikutnya dilakukan pemetaan ke dalam representasi *grayscale*. Hal ini dilakukan karena operasi *log* menghasilkan nilai real positif yang memiliki interval antara $(0, 14)$ sehingga harus dipetakan ke dalam representasi *grayscale* $[0, 255]$. Proses ini bertujuan agar nilai *grayscale* dari PPFT dapat diamati. Jika $\hat{L}_p(r, \theta)$ merupakan matriks hasil pemetaan *log* dan $\hat{G}_p(r, \theta)$ merupakan hasil maka pemetaan ke dalam *grayscale*. Perhitungan $\hat{G}_p(r, \theta)$ dapat dilihat pada persamaan 18.

$$G\hat{I}_p(r, \theta) = \frac{\hat{L}I_p(r, \theta) - \hat{L}I_p(r, \theta)_{\min}}{\hat{L}I_p(r, \theta)_{\max} - \hat{L}I_p(r, \theta)_{\min}} \times 255 \quad (18)$$

Proses selanjutnya adalah proses estimasi pergeseran sudut (rotasi) dengan menggunakan *phase correlation*. Proses ini dilakukan seperti yang dijelaskan pada 2.3.2. Pada proses tersebut, didapatkan nilai translasi relatif ($\Delta\theta$) pada sumbu θ . Setelah didapatkan translasi relatif ($\Delta\theta$) pada sumbu θ , selanjutnya apabila sumbu θ terdiri dari n buah piksel maka sudut rotasi antara citra I_2 dan I_1 sebesar α dapat ditemukan dengan formula pada persamaan 3.2. Keluarannya adalah besaran sudut rotasi.

$$\alpha = \left(\frac{180^\circ}{n}\right) \Delta\theta \quad (19)$$

Setelah tahapan registrasi, dilakukan identifikasi bintang baru. Masukan dari tahapan ini adalah citra masukan awal dan besaran sudut rotasi yang dihasilkan dari tahap registrasi citra. Ada beberapa proses pada tahapan identifikasi bintang baru ini, yaitu perputaran citra, ekstraksi koordinat bintang, pengurangan koordinat bintang, dan pengecekan koordinat bintang.

Sebelum melakukan proses identifikasi bintang baru, dilakukan proses perputaran citra masukan sebesar sudut yang dihasilkan oleh proses registrasi. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan kembali perubahan objek bintang agar sama dengan data objek pada citra *database*. Hal ini menyebabkan ukuran citra akan semakin besar dari sebelumnya. Sehingga tidak dapat dilakukan proses pengurangan langsung terhadap piksel citra masukan dan citra *database*. Oleh karena itu, dilakukan proses pengurangan atau pemotongan piksel pada citra masukan dengan tujuan menyamakan posisi koordinat bintang pada citra masukan dengan citra *database* dengan nilai selisih tertentu. Keluaran pada proses ini adalah citra dengan ukuran piksel yang berubah

sesuai hasil transformasi atau disebut juga dengan citra rotasi.

Proses selanjutnya yaitu ekstraksi koordinat bintang dari masing-masing citra hasil proses perputaran (citra rotasi) dan citra *database*. Proses ini bertujuan untuk mencari koordinat seluruh bintang pada masing-masing citra tersebut. Koordinat bintang ini akan digunakan untuk penentuan titik acuan dalam mencari nilai selisih, proses pengurangan koordinat, dan nantinya juga akan digunakan untuk mengetahui posisi bintang baru. Proses ekstraksi koordinat bintang dilakukan sama seperti tahap *preprocessing* yang dijelaskan sebelumnya.

Proses selanjutnya adalah pengurangan koordinat bintang. Untuk melakukan proses ini, yang pertama dicari adalah nilai selisih sebuah koordinat (titik acuan) pada sumbu x dan y . Selisih tersebut merupakan sebuah nilai yang merepresentasikan perubahan posisi koordinat bintang terhadap sumbu x dan y . Sehingga, perlu ditemukan nilai selisih terlebih dahulu sebelum melakukan pengurangan koordinat bintang. Misalkan Δx dan Δy merupakan nilai selisih suatu bintang yang disebabkan adanya proses perputaran, maka nilai Δx dan Δy dapat dicari dengan melakukan pengurangan antara titik acuan pada citra rotasi dan citra *database*. Sehingga, titik acuan dari kedua citra tersebut harus ditentukan terlebih dahulu. Titik acuan yang digunakan pada proses ini adalah koordinat bintang yang paling terang. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa dimanapun letak bintang yang paling terang pada citra rotasi, maka bintang tersebut adalah bintang paling terang yang sama dengan bintang paling terang yang ada pada citra *database*. Keluaran pada proses ini adalah nilai selisih Δx dan Δy .

Setelah didapatkan nilai Δx dan Δy , berikutnya adalah mengurangi koordinat bintang-bintang yang ada pada citra rotasi dengan nilai Δx dan Δy . Proses ini

dilakukan untuk menyamakan posisi atau koordinat bintang-bintang pada citra rotasi dan citra *database*. Namun, meski setelah dikurangkan dengan nilai selisih Δx dan Δy , posisi atau koordinat bintang-bintang pada citra rotasi tidak akan sama persis dengan citra *database*. Sehingga, dibutuhkan sebuah nilai *threshold* untuk mengukur posisi atau koordinat yang dianggap sama. Keluaran pada proses ini adalah vektor koordinat sepanjang titik koordinat yang ada pada citra rotasi.

Proses selanjutnya adalah pengecekan koordinat bintang. Koordinat-koordinat bintang pada citra rotasi yang juga berada pada citra *database* berarti merupakan bintang lama. Sedangkan, jika koordinat-koordinat bintang yang pada citra rotasi tetapi tidak ada pada citra *database* berarti merupakan bintang baru. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa koordinat-koordinat pada citra rotasi tidak akan sama persis dengan citra *database*. Sehingga pengecekan koordinat bintang perlu dilakukan dengan mengurangkan semua koordinat yang ada pada citra rotasi baru (hasil pengurangan dengan nilai selisih Δx dan Δy) dengan citra rotasi. Hasil pengurangan ini akan menghasilkan vektor selisih sepanjang titik koordinat yang ada pada citra rotasi. Jika nilai elemen pada vektor selisih kurang dari nilai *threshold*, maka koordinat pada elemen tersebut merupakan bintang lama. Sedangkan, sebaliknya koordinat elemen pada vektor tersebut merupakan bintang baru. Keluaran dari proses ini adalah koordinat bintang baru. Jika A merupakan vektor koordinat yang ada pada citra rotasi baru (hasil pengurangan dengan nilai selisih Δx dan Δy), dan B merupakan vektor koordinat pada bintang rotasi, maka proses pengecekan koordinat bintang ini secara rinci ditunjukkan oleh persamaan 20, 21, dan 22.

$$A(x, y) = \begin{bmatrix} (x_1, y_1) \\ (x_2, y_2) \\ (x_3, y_3) \end{bmatrix}, B(a, b) = \begin{bmatrix} (a_1, b_1) \\ (a_2, b_2) \\ (a_3, b_3) \end{bmatrix}, \quad (20)$$

$$C(x - a, y - b) = \begin{bmatrix} (x_1 - a_1, y_1 - b_1) \\ (x_2 - a_2, y_2 - b_2) \\ (x_3 - a_3, y_3 - b_3) \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$Bintang_Baru = \begin{cases} 0, & C(x - a, y - b) \leq T, \\ 1, & C(x - a, y - b) > T \end{cases} \quad (22)$$

4. Hasil dan Pembahasan

Adapun pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian identifikasi bintang baru tanpa pengaruh waktu dan kondisi, pengujian identifikasi bintang baru dengan adanya pengaruh rotasi, uji coba identifikasi bintang baru dengan adanya pengaruh waktu pengambilan data. Skenario uji coba dilakukan terhadap *dataset* yang terdiri dari 212 citra bintang dengan jumlah 8 *cluster* bintang. *Dataset* tersebut terdiri dari 40 citra *database* dan 172 data uji. Data uji kemudian dibagi untuk tiap skenario pengujian. Untuk pengujian pertama, digunakan 40 data. Pengujian kedua menggunakan 100 data, dan pengujian ketiga menggunakan 32 data. Gambar 4 merupakan contoh keluaran citra yang terdapat bintang baru di dalamnya.

Pengujian pertama yang dilakukan pada sistem ini yaitu menguji keberhasilan identifikasi bintang baru tanpa perubahan waktu dan kondisi. Dari hasil pengujian ini, sistem dapat melakukan identifikasi bintang baru dengan akurasi sebesar 100% untuk semua *cluster* bintang. Untuk pengujian ini, tidak ada data yang mengalami kesalahan *retrieve* citra dari *cluster* lain. Hal ini menunjukkan bahwa performa proses *retrieve* citra *database* juga baik untuk pengujian ini. Pada pengujian ini juga tidak ada kesalahan yang terjadi dalam proses identifikasi bintang baru. Hal ini menunjukkan bahwa semua alur sistem bekerja dengan tepat ketika data tidak mengalami perubahan waktu atau kondisi. Tabel 1 menunjukkan hasil skenario pengujian tanpa perubahan waktu dan kondisi.



Gambar 4. Hasil proses Identifikasi bintang baru dari citra bintang pada *cluster* NGC 2204.

Tabel 1. Hasil Pengujian tanpa perubahan waktu dan kondisi

<i>Cluster</i>	Benar	Salah Retrieve	Salah Identifikasi	Jumlah Data	Hasil Akurasi
1	5	0	0	5	100%
2	5	0	0	5	100%
3	5	0	0	5	100%
4	5	0	0	5	100%
5	5	0	0	5	100%
6	5	0	0	5	100%
7	5	0	0	5	100%
8	5	0	0	5	100%
Total	40	0	0	40	100%

Pengujian berikutnya yaitu menguji keberhasilan identifikasi bintang baru dengan adanya pengaruh rotasi pada citra masukan. Pada pengujian ini, akan diamati seberapa besar pengaruh rotasi pada proses keberhasilan melakukan identifikasi bintang baru oleh sistem. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan identifikasi bintang baru pada citra bintang yang mengalami perubahan rotasi. Hal ini ditunjukkan pada pengujian terhadap sejumlah 100 data. Sistem dapat melakukan identifikasi bintang baru dengan capaian akurasi sebesar 73%. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian dengan perubahan rotasi.

Kekurangan sistem disebabkan adanya kesalahan *retrieve* dan kesalahan identifikasi. Terjadi keseimbangan jumlah antara data yang mengalami kesalahan *retrieve* dan kesalahan identifikasi. Kesalahan *retrieve* disebabkan karena kemiripan pola bintang antar *cluster* yang sulit dibedakan ketika bintang mengalami perputaran. Nilai keanggotaan bintang tentu akan berubah seiring dengan perputarannya. Kesalahan paling banyak terjadi ketika perputaran bintang melewati batas sektor awal yang ditempati. Kesalahan registrasi juga dapat mempengaruhi capaian akurasi tersebut. Kesalahan registrasi disebabkan adanya proses penentuan ROI yang kurang tepat. Sedangkan, kesalahan identifikasi yang terjadi disebabkan oleh nilai *threshold* yang kurang sesuai untuk *cluster* bintang tertentu, seperti *cluster* 3. Dari Tabel 4.7 juga dapat dilihat bahwa rata-rata *cluster* yang mengalami keberhasilan dalam *retrieve* citra *database* maka *cluster* tersebut juga berhasil dalam melakukan identifikasi bintang baru.

Pengujian berikutnya yaitu identifikasi bintang baru dengan adanya perbedaan waktu pengambilan data. Pada

pengujian ini, akan diamati perbandingan tingkat keberhasilan yang dicapai sistem dalam beberapa waktu pengambilan data (Maret, April, Mei, Juni 2015). Dari hasil pengujian ini juga akan diamati seberapa besar pengaruh perbedaan waktu pengambilan pada keberhasilan sistem dalam melakukan identifikasi bintang baru. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem tidak dapat mengidentifikasi bintang baru untuk kasus muti-temporal (pengambilan waktu berbeda). Hal ini ditunjukkan dengan akurasi sebesar 37.5%. Kesalahan terbanyak disebabkan oleh kesalahan hasil citra yang di-*retrieve* dari *database*, yaitu 59.3%. Hal ini disebabkan karena dalam rentang waktu sebulan, perubahan objek bintang cenderung melewati luas area sektor. Sehingga, *cluster* bintang cenderung mirip dengan *cluster* lainnya. Pengambilan data dengan perbedaan waktu akan menyebabkan perubahan posisi bintang. Semakin lama rentan waktu pengambilan, perbedaan data akan semakin jauh. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian dengan perubahan waktu pengambilan data.

Tabel 2. Hasil pengujian dengan perubahan rotasi.

Cluster	Benar	Salah Retrieve	Salah Identifikasi	Jumlah Data	Akurasi cluster
1	10	3	1	14	71.4%
2	15	0	0	15	100%
3	0	0	10	10	0%
4	14	0	0	14	100%
5	5	4	1	10	50%
6	4	5	1	10	40%
7	10	2	0	12	83.3%
8	15	0	0	15	100%
Total	73	14	13	100	73%
Akurasi Kondisi	73%	14%	13%	-	-

Nilai akurasi akhir diperoleh dari gabungan data benar pada keseluruhan pengujian dibagi dengan keseluruhan data yang digunakan pada semua pengujian. Tabel 4.9 menunjukkan bahwa dari keseluruhan data pengujian dengan total

172 data. Terdapat 125 data yang berhasil dilakukan identifikasi. Sedangkan lainnya mengalami kegagalan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan identifikasi bintang baru dengan capaian akurasi sebesar 72.67%.

Tabel 3. Hasil pengujian dengan perubahan waktu pengambilan data.

Cluster	Benar	Salah Retrieve	Salah Identifikasi	Jumlah Data	Akurasi cluster
1	4	0	0	4	100%
2	3	1	0	4	75%
3	4	0	0	4	100%
4	1	3	0	4	25%
5	0	4	0	4	0%
6	0	4	0	4	0%
7	0	3	1	4	0%
8	0	4	0	4	0%
Total	12	19	1	32	37.5%
Akurasi Kondisi	37.5%	59.3%	3.1%	-	-

Tabel 4. Hasil akurasi keseluruhan data uji.

Jenis Pengujian	Jumlah Data	Jumlah Benar
Uji database	40	40
Uji multi temporal	32	12
Uji rotasi	100	73
Total Data	172	125
Hasil Akurasi	-	72.67%

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini, identifikasi bintang baru dapat dilakukan melalui integrasi pola posisi berbasis fuzzy dalam domain frekuensi melalui pembagian *circular grid* dan *pseudopolar fourier transform* dengan capaian akurasi sebesar 72,67%. Nilai similaritas dapat dihitung menggunakan persamaan *cosine similarity*. Proses *retrieve* citra *database* dapat dilakukan melalui nilai similaritas antar fitur citra masukan dan citra pada *database*. Registrasi dapat dilakukan dengan pemilihan ROI secara tepat pada objek bintang dengan ukuran 512×512. Proses akhir identifikasi bintang baru dapat dilakukan melalui pengurangan citra dengan selisih koordinat yang melebihi nilai *threshold*.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan uji coba lebih lanjut untuk penentuan bintang acuan pada proses ekstraksi fitur dan identifikasi bintang. Disarankan untuk melakukan pencarian ROI yang tepat secara otomatis untuk *cluster* bintang yang lebih beragam. Selain melalui metode pengurangan koordinat, identifikasi juga dilakukan melalui faktor lain, seperti : luas area bintang atau posisi piksel bintang.

Referensi

- [1] Gonzales, R.C., Woods, R.E., (2002). *Digital Image Processing*, 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, pp.
- [2] Keller, Y., Shkolnisky, Y., Averbuch, A., (2005). The Angular Difference Function and Its Application to Image Registration, *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Vol. 27, No. 6, June 2005
- [3] Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 9, pp. 62-66, 1979.
- [4] Reddy, B. S, Chatterji, B. N. (1996). An FFT-Based Technique for Translation, Rotation, and Scale-Invariant Image Registration, *IEEE Transactions On Image Processing*, Vol. 5, No. 8, August 1996
- [5] Spratling, B.B., Mortari, D. (2009). A Survey on Star Identification Algorithms. *Algorithms 2009*, 2, 93-107; doi:10.3390/a2010093
- [6] Sadat, E., S.Behrad, A. (2014). Star tracking and attitude determination using fuzzy based positional pattern and rotation compensation in Fourier domain. *Multimedia Systems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014
- [7] Wijaya, A.Y., Arifin, A.Z., Purwitasari, D. (2011). Registrasi Citra Non-Iteratif Dengan Pseudo-Polar Fourier Transform. *Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Informatika ITS*.
- [8] Yang, M. S., Liu, H. H. (1999). Fuzzy clustering procedures for conical fuzzy vector data, *Fuzzy Sets and Systems* 106 (1999) 189-200
- [9] Zhang, G., Wei, X., Jiang, J. (2008). Full-sky autonomous star identification based on radial and cyclic features of star pattern, *Image and Vision Computing* 26 (2008) 891–897
- [10] Zhang, H., Sang, H., Shen, X. (2010). A Polar Coordinate System Based Grid Algorithm for Star Identification. *J. Software Engineering & Applications*, 2010, 3: 34-38