

MULTITARGET TRACKING MENGGUNAKAN MULTIPLE HYPOTHESIS TRACKING DENGAN CLUSTERING TIME WINDOW DATA RADAR

Gigih P. Cahyono¹⁾, Handayani Tjandrasa²⁾

^{1, 2)}Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informatika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
email: gigih.prasetyo18@gmail.com¹⁾, handatj@its.ac.id²⁾

ABSTRAK

Sistem radar dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem radar sipil dan sistem radar militer. Dari dua jenis sistem radar tersebut memiliki kesamaan yaitu telah digunakan untuk pemantauan lalu lintas udara. Pesawat yang dipantau di udara saat ini mengalami jumlah peningkatan yang besar. Sehingga untuk memudahkan pemantauannya diperlukan suatu sistem yang dinamakan *multitarget tracking aircraft*. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan algoritma *multitarget tracking* (MTT) yang valid, yaitu dengan menggunakan kombinasi proses *preprocessing* data radar dengan *clustering time window* (CTW) dan algoritma *Multiple Hypothesis Tracking* (MHT). Penelitian ini diawali dengan penyiapan data rekaman radar yang direkam langsung. Kemudian data rekaman tersebut disimulasikan dengan algoritma yang telah dirancang. Pengecekan kemampuan algoritma tersebut yaitu membandingkannya dengan MHT tanpa *clustering time window*. Uji coba dilakukan dengan memakai data rekaman berdurasi kurang lebih 18 menit. Dari hasil uji coba menunjukkan bahwa metode yang diusulkan lebih bagus jika dibandingkan dengan metode MHT tanpa CTW, hal tersebut bisa dilihat dari nilai *correct target* 87.66%, *maintain target* 80.5% dan *inexisting target* 23.65%.

Kata kunci: *aircraft, clustering time window, Multiple Hypothesis Tracking, multitarget tracking, sistem radar.*

ABSTRACT

The radar system is divided into two types, namely civilian radar systems and military radar systems. The two types of radar systems have similarity that has been used for monitoring air traffic. The aircraft that is monitored in the air is currently experiencing a large amount improvement. Based on this problem to facilitate the monitoring required a system is called multitarget tracking aircraft. This research purposed to get a valid multitarget tracking algorithm (MTT) by using a combination of radar data preprocessing process with a time window clustering (CTW) and multiple hypothesis tracking algorithm (MHT). This research begins with the preparation of the data recorded radar recording directly. The recording of data simulated with algorithms that have been designed. Finally, checking the performance of the algorithm is compared with multiple hypothesis tracking without clustering time window. The test is done using data recording lasted approximately eighteen minutes. From the test result show that the proposed method is better than the MHT without CTW method, it can be seen from the correct target is 87.66%, the maintain target is 80.5% and the inexisting target is 23.65%.

Keywords: *aircraft, clustering time window, Multiple Hypothesis Tracking, multitarget tracking, radar systems.*

I. PENDAHULUAN

Dalam lalu lintas udara perlu diketahui ada berbagai jenis pesawat dengan jumlah yang tidak sedikit. Untuk memantau lalu lintas tersebut diperlukan suatu sistem yang disebut sistem radar. Selama ini sistem radar yang sudah ada dibagi menjadi dua jenis yaitu sistem radar sipil dan sistem radar militer. Dari kedua jenis sistem radar tersebut telah digunakan untuk pemantauan lalu lintas udara, dalam proses pemantauan tersebut ternyata telah diidentifikasi berbagai jenis pesawat misalnya pesawat sipil, militer, latih dan bahkan ada pesawat tak berawak. Dari banyaknya jenis pesawat tersebut maka diperlukan suatu sistem yang mampu untuk mengidentifikasi setiap lintasan dari pesawat-pesawat tersebut sehingga memudahkan untuk proses pemantauannya. Untuk proses pengidentifikasian tersebut biasa disebut dengan proses *Tracking Aircraft*.

Tracking Aircraft ini juga sudah dilakukan penelitian oleh beberapa peneliti sebelumnya. Proses *tracking aircraft* secara khusus berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya dibedakan menjadi dua jenis, jika dilihat berdasarkan jumlah target pesawat yaitu *single target tracking* (STT) dan *multi-target tracking* (MTT). Untuk STT penelitian yang pernah dilakukan oleh Park, Chunki dkk, pada penelitiannya tersebut diterapkan dengan menggunakan metode *Minimum Spanning Tree* dengan dipadukan dengan metode klustering dan proses pengolahan datanya dilakukan dengan cara *clustering time window* [8]. Untuk kategori MTT beberapa peneliti lebih banyak yang mengembangkannya sampai saat ini. Beberapa metode yang sudah dipakai untuk proses MTT ini yaitu *Probabilistic*

Data Association Filter (PDAF), *Multiple Hypothesis Tracking* (MHT) dan *Interactive Multiple Model* (IMM). Metode-metode tersebut cukup baik ketika digunakan untuk proses *multi-target tracking*, misalnya penelitian yang dilakukan oleh Jiang, Xue dkk yang mengkombinasikan metode *Joint Maximum Likelihood Probabilistic Data Association* (JML-PDA) sebagai inisialisasi track dengan PDAF sebagai *track maintenance* [17]. Untuk metode IMM dan MHT pernah dikombinasikan oleh Blackman, S [6] pada penelitian tersebut IMM dipakai untuk menentukan *track score* (nilai probabilitas) dari setiap hipotesis proses asosiasi dan *maintainance* track pada MHT. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut MTT dengan MHT terlihat cukup baik ketika digunakan untuk proses *tracking aircraft* khususnya untuk sistem data *tracking* yang konflik, selain fleksibel dikombinasikan dengan metode lain tetapi juga sangat bagus dalam tahapan proses MTT yaitu proses *track initiation*, *plot association* dan *track maintenance* [6]. Proses MTT ini sangat penting nantinya untuk membantu *Air Traffic Controller* (ATC) dan pihak pemantau lalu lintas pesawat yang lain, misalnya yaitu dari pihak militer. MHT juga dikenal sebagai salah satu algoritma MTT yang cukup baik, selain digunakan untuk proses *tracking* udara khususnya simulasi pesawat pernah juga digunakan untuk penelitian *ground tracking* salah satunya pada proses *tracking* robot [16] pada proses *tracking* dengan metode MHT dan menggunakan proses kluster untuk pengelompokan data setiap langkah lintasan robot yang berdasarkan waktu. Pada proses algoritma MHT juga terdapat langkah proses penentuan hipotesis dimana pada tahapan ini ada proses penentuan nilai *track score* atau nilai probabilitas yang cukup optimal yaitu algoritma Murty [9] dan [10] yang memang sering digunakan di dalam metode MHT.

Secara garis besar beberapa proses yang dikerjakan pada proses MTT ini yaitu *track association* (TA), *track smoothing* (TS), *track initiation* (TI) dan *track maintenance* (TM) [14]. Istilah-istilah dalam proses MTT tersebut secara umum adalah sebagai berikut TA merupakan suatu proses asosiasi plot dengan suatu track yang sudah terbentuk, TS adalah proses *update* suatu track dengan plot hasil asosiasi yang terakhir kemudian TI merupakan proses pembentukan track baru dengan beberapa plot yang tidak terasosiasi dengan track yang sudah ada. Sedangkan yang terakhir yaitu TM adalah suatu proses *delete* track yang sudah tidak mengalami *update* selama waktu tertentu. Dibandingkan dengan STT, MTT lebih sering dikembangkan untuk penelitiannya karena sistem MTT ini dalam praktek sehari-harinya sering digunakan, khususnya dalam dunia penerbangan yaitu sebagai sistem pemantauan penerbangan. Dalam sistem pemantau penerbangan tersebut jarang ditemui *target* dalam hal ini pesawat yang terpantau berjumlah tunggal, yang lebih sering ditemui yaitu *target* tersebut berjumlah lebih dari satu atau *multi-target*.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya di atas diperoleh beberapa informasi tentang *preprocessing* data radar dan beberapa metode MTT serta metode STT dengan penjelasan percobaan masing-masing yang menampilkan hasil yang cukup bagus. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Xue Jiang, dkk dan Blackman diketahui ada dua algoritma MTT yang cukup bagus, yaitu JPDA dan MHT. Namun dari dua algoritma tersebut MHT lebih baik ketika menemui proses *tracking* pada data radar yang konflik [6], dimana kondisi data seperti itu sering muncul pada proses sistem data pada proses MTT. Berdasarkan informasi tersebut peneliti mencoba melakukan penelitian tentang suatu proses MTT dengan menggabungkan metode *preprocessing* data radar [8] menggunakan *clustering time window* dengan salah satu metode MTT yaitu MHT.

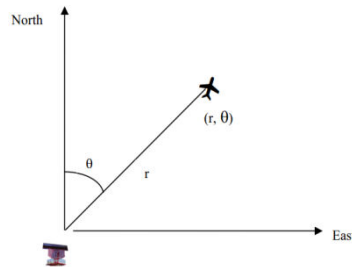
Pada penelitian ini, diusulkan suatu sistem MTT yaitu dengan MHT yang menggunakan praproses data radar menggunakan CTW, dari kombinasi MHT-CTW tersebut diharapkan bisa mendapatkan hasil MTT yang *valid*, artinya lintasan masing-masing pesawat bisa menjadi *track* sesuai dengan lintasan yang sebenarnya. CTW berperan dalam pengolahan data radar dengan cara mengelompokkan data berdasarkan satu putaran radar, sedangkan MHT berperan sebagai algoritma MTT.

II. DATA RADAR PESAWAT

Radar atau disebut *radio detection and ranging* adalah salah satu alat navigasi. Perlu diketahui bahwa ada dua jenis radar yang ada di negara kita ini, yaitu radar sipil dan radar militer dimana fungsi dari keduanya tentu berbeda. Perlu diketahui juga hampir setiap radar mempunyai dua macam tipe radar yaitu *Secondary Surveillance Radar* (SSR) dan *Primary Surveillance Radar* (PSR), dimana SSR adalah radar yang akan menangkap sinyal-sinyal pesawat yang mengirim ID melalui *transponder* pesawat sedangkan PSR adalah radar yang mampu menangkap sinyal-sinyal pesawat meskipun pesawat tidak mengirimkan ID melalui *transponder* nya.

Bentuk data untuk operasi algoritma *tracking* ada dua macam yaitu yang pertama bentuk operasi koordinat kartesian variabel yang dipakai adalah x , y dan altitude. Bentuk yang kedua adalah operasi koordinat polar yang dihasilkan dari suatu sensor, variabel yang digunakan adalah *elevation*, *range* dan *bearing*. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data hasil dari sensor. Tetapi untuk operasi perhitungannya akan menggunakan operasi koordinat kartesian, sehingga nilai dari *range* dan *bearing* akan dikonversi menjadi nilai x dan y . Secara umum yang

dimaksud dari *range* (r) dan *bearing* (θ), r merupakan jarak antara pusat radar dengan *target* dalam kasus ini adalah pesawat sedangkan θ adalah sudut yang dibentuk antara *target* dengan sumbu *true north* dari radar [7]. Untuk lebih jelasnya bisa diperhatikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tata Acuan Koordinat Sistem Radar

III. METODOLOGI

A. Data Rekaman Radar

Data rekaman radar yang digunakan adalah data radar dari salah satu radar di Indonesia. Data tersebut telah direkam hanya untuk proses penelitian tentang *tracking* pesawat. Data yang dihasilkan tersebut berupa informasi-informasi yang diperlukan untuk proses penelitian untuk *tracking* dari pesawat. Data-data tersebut meliputi waktu kedatangan data, *range*, *bearing*, *mode 3* dan *altitude*.

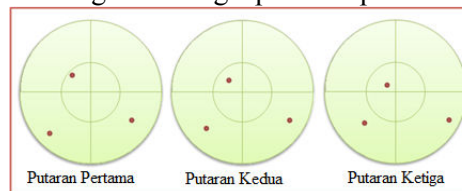
Waktu kedatangan data yaitu *time* atau waktu dimana data tersebut berhasil ditangkap oleh radar, *range* merupakan jarak antara pusat radar dengan *target* atau pesawat yang memiliki satuan *nautical mile* (Nmi). Kemudian *bearing* yaitu sudut yang dibentuk antara *target* dengan North-Signal Radar [7], berikutnya Mode 3 adalah identitas setiap pesawat dimana setiap pesawat memiliki nilai mode 3 yang berbeda-beda. Sedangkan *altitude* adalah ketinggian pesawat diukur dari atas permukaan laut atau *sea level* dan memiliki satuan *feet*. Dari data-data yang diperoleh langsung dari radar tersebut akan dihitung juga untuk *speed* atau kecepatan dan juga *heading*. Proses perthitungan keduanya akan diproses pada saat konversi data. Sebagai contoh untuk bentuk data rekaman tersebut adalah seperti TABEL I.

TABEL I
REKAMAN DATA RADAR

Time	Range	Bearing	Mode3	Altitude
0:13:06	117	220.8352	902	220
0:13:06	21	235.2527	908	191
0:13:07	90	248.6154	903	314
0:13:07	98	277.0989	0	2
0:13:11	163	54.85714	1694	2
0:13:11	144	61.18681	3673	388
0:13:11	46	73.84615	1332	331

B. Clustering Time Window

Proses kluster data berdasarkan waktu mempunyai pengertian bahwa data hasil rekaman akan dikelompokkan atau dikluster berdasarkan waktu satu kali putaran radar, yang berarti data akan diproses untuk *tracking* setelah selesai satu kali putaran radar. Berikut contoh tiga kali tangkapan satu putaran radar seperti pada Gambar 2.



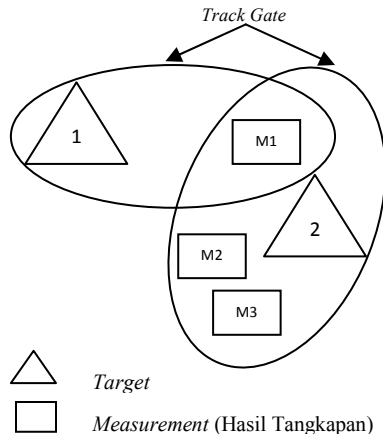
Gambar 2. Tangkapan Tiga Kali Putaran Radar

Pada kenyataannya beberapa radar memiliki waktu putaran yang berbeda-beda, tetapi pada umumnya lama putarannya adalah 6 rpm (radian per menit) atau sekitar 10 detik. Selama satu putaran tersebut sudah dapat dipastikan bahwa tidak mungkin ada pesawat yang ditangkap radar lebih dari satu kali atau *double*. Tetapi ada kemungkinan ketika pada tangkapan putaran pertama berhasil didapatkan tetapi pada tangkapan putaran kedua tidak berhasil ditangkap, kejadian seperti itu bisa terjadi karena kemampuan tangkapan dari suatu radar itu sendiri.

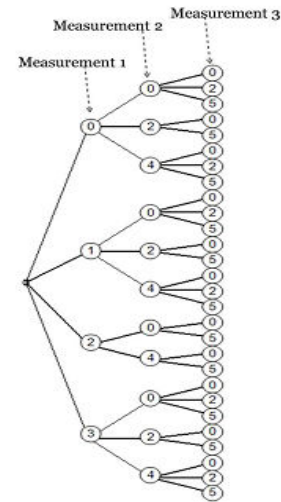
C. Algoritma Reid

Algoritma ini berasal dari ide propagasi atau penyebaran beberapa hipotesis penugasan pada kasus *target* tunggal dalam kondisi *false alarm* (salah *target*) yang pertama diteliti oleh Singer [15]. Kemudian Reid [3] pertama mengembangkan sebuah algoritma yang lebih lengkap, dimana algoritma Reid mendefinisikan sebuah cara sistematis dimana beberapa data asosiasi hipotesis dapat dibentuk dan dievaluasi untuk kasus beberapa target [6] di dalam kondisi *false alarm*.

Algoritma Reid berisi tiga komponen utama dalam penentuan hipotesisnya yaitu *track* baru, *false alarm* dan *track* yang sudah terbentuk. Berdasarkan Gambar 3 masing-masing komponen tersebut misalnya untuk *track* baru berarti merupakan hasil tangkapan yang baru (*measurement*) yaitu M1, M2 dan M3, kemudian untuk *false alarm* diberikan simbol 0 pada pembentukan hipotesisnya.



Gambar 3. Tipikal Data Asosiasi pada Keadaan Konflik



Gambar 4. Representasi Hipotesis yang Terbentuk

Dan untuk *track* yang sudah ada berdasarkan Gambar 3 di atas dituliskan simbol angka 1 dan 2 yang berada di dalam simbol segitiga, sedangkan untuk penulisan M1, M2 dan M3 yang berada pada simbol kotak, dalam pembentukan hipotesis disimbolkan angka secara berturut-turut yaitu 3, 4 dan 5.

Pada Gambar 4 merupakan hasil representasi hipotesis [2] yang terbentuk untuk kasus seperti pada Gambar 3. Berdasarkan hasil representasi tersebut untuk *measurement* pertama menghasilkan empat macam cabang yaitu *false alarm* 0 kemudian *target* 1, 2 dan *target* 3 yang terbentuk dari hasil *measurement* pertama. Selanjutnya untuk *measurement* kedua setiap cabang terbentuk maksimal tiga cabang, yaitu *false alarm* 0, *target* 2 dan *target* 4 yang terbentuk dari hasil *measurement* kedua. Dan untuk *measurement* ketiga setiap cabang maksimal memiliki tiga macam *target* yaitu *false alarm* 0, *target* 2 dan *target* 5 yang terbentuk dari hasil *measurement* ketiga. Sebagai catatan pada proses MHT berdasarkan algoritma Reid ini, misalnya pada *measurement* pertama pada *target* 2 untuk proses *measurement* kedua yang seharusnya pada semua anggota setiap cabangnya mendapat *assignment target* 2 tidak akan dilakukan. Hal tersebut tidak dilakukan karena di dalam sebuah baris hipotesis tidak diperbolehkan membentuk hipotesis dengan *target* yang sama. Kemudian khusus untuk *target* yang sudah dipastikan menjadi sebuah *target* misalkan dalam contoh ini adalah *target* 1 dan 2, bisa dijadikan kemungkinan pembentukan hipotesis pada *measurement* berikutnya dengan syarat *target* tersebut berada di dalam *gate* dari *measurement* pada saat itu. Pada kasus gambar 2.3 misalnya terjadi pada *target* 2, *target* 2 tersebut selalu digunakan untuk membentuk hipotesis pada *measurement* kedua dan ketiga karena berada di dalam *gate* ketika terjadi *measurement* kedua dan ketiga. Pada hasil representasi tersebut terbentuk 28 macam hipotesis [13], dari hasil bentuk hipotesis seperti pohon bilangan tersebut selanjutnya akan dibentuk dua dimensi *array* untuk proses komputerisasi. Bentuk tersebut bisa disebut matrik hipotesis yang mempunyai sebuah baris untuk setiap hipotesisnya dan sebuah kolom untuk proses tangkapan (*measurement*).

D. Penentuan Nilai Probabilitas

Dari banyaknya nilai probabilitas dari setiap hipotesis yang dihasilkan berdasarkan algoritma Reid memang kurang begitu efektif. Terutama disebabkan terlalu banyaknya kemungkinan hipotesis yang dihasilkan. Maka berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Cox [9] menyebutkan bahwa algoritma Reid akan sangat efisien jika dalam implementasinya menggunakan algoritma Murty. Kenapa Murty [11] efisien untuk Reid karena algoritma

tersebut dapat menemukan m -best solusi untuk masalah penugasan (*assignment*) [9]. Penggunaan pendekatan ini yaitu dengan $m_p(k-1)$ hipotesis dari hasil tangkapan sebelumnya, jumlah dari hipotesis yang terbentuk pada tangkapan saat sekarang dapat terbatas untuk $m(k)$ ketika m adalah suatu input parameter yang dapat menjadi priori atau mungkin dipilih secara adaptif [6]. Dari algoritma Murty [12] ini diharapkan akan didapatkan nilai probabilitas yang terbesar yang berarti hipotesis dari pemilik nilai probabilitas tersebut merupakan hipotesis yang terbaik.

E. Algoritma Kalman Filter

Pada proses penentuan hipotesis diperlukan penentuan estimasi atau prediksi target, untuk menghitungnya akan digunakan algoritma Kalman Filter [9]. Kalman Filter yang digunakan yaitu Kalman Filter linier yang sederhana dengan *state vector* $= [x \ y \ \dot{x} \ \dot{y}]'$, dimana x dan y adalah koordinat posisi dari *target*. Kemudian *state transition* diberikan nilai matrik F sebagai berikut:

$$F(k) = \begin{bmatrix} 1 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Vektor *measurement* $z(k) = [x \ y]'$ dan matrik observasi dari H sebagai berikut:

$$H(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Dan untuk matrik *measurement noise* R digunakan matrik sebagai berikut:

$$R(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pada penelitian ini nanti akan menggunakan algoritma Kalman Filter [1] untuk melakukan proses prediksinya.

F. Algoritma Multiple Hypothesis Tracking

Pada dasarnya algoritma MHT bisa digunakan untuk objek target yang memiliki lebih dari dua atau tiga dimensi [13]. Setiap hipotesis berisi target yang sudah terbentuk dan juga lintasan atau track dari target tersebut. Sistem ini nantinya akan menerima tangkapan secara periodik. Semua hasil tangkapan dinotasikan dengan Z^k pada waktu ke k , dan tangkapan ke l pada waktu ke k dinotasikan Z_l^k . Hasil tangkapan tersebut pada dasarnya berisi suatu posisi baik dua dimensi atau tiga dimensi yaitu (x, y) atau (x, y, z) . Untuk hipotesis ke- i pada tangkapan ke- k dinotasikan Ω_i^k , setiap Ω_i^k berisi target yang telah terbentuk sebelumnya ιT_i^k ($\iota \in 1 \dots n \text{ target}$), *target* estimasi, estimasi kovarian dan asosiasi ψ_i^k , antara tangkapan Z^k dan target hipotesis T_i^k . Setiap hipotesis Ω_i^k diasosiasikan dengan p_i^k yaitu probabilitas dari setiap hipotesisnya.

Setiap k pada hipotesis Ω^{k-1} digunakan untuk menghasilkan hipotesis dari Ω^k yaitu sebuah hipotesis pada waktu ke- k . Setiap hipotesis Ω_j^{k-1} merupakan sebuah hipotesis baru yang dibentuk $^j\Omega^k$ yang mempunyai Ω_j^{k-1} merupakan hipotesis *parent*. Pada setiap generasi baru hipotesis $^j\Omega^k$ untuk setiap Z_l^k berisi tiga macam variabel yaitu *false alarm* (FA), target baru dan sebuah *target* yang sudah terbentuk sebelumnya. Hasil tangkapan Z_l^k akan menjadi suatu target ιT_i^k pada hipotesis Ω_j^{k-1} jika memenuhi validasi yaitu berada di dalam wilayah posisi yang diharapkan. Sebuah target hanya akan terikat dengan satu hasil tangkapan dan tidak mungkin target akan terikat dengan lebih dari satu tangkapan. Target yang tidak mengalami penambahan hasil tangkapan selama n tangkapan akan dihapus.

Probabilitas dari hipotesis baru $^j\Omega_i^k$ yang diberikan dari hipotesis yang sebelumnya Ω_j^{k-1} dan hasil tangkapan Z^k [3], adalah:

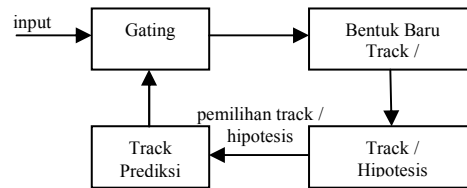
$$^j p_i^k = \frac{1}{c} \times P_D^{N_d} \times (1 - P_d)^{N_t - N_d} \times (P_{FA})^{N_{fa}} \times (P_{NT})^{N_{nt}} \times \prod_{(Z_l^k, \iota T_i^k) \in \psi_i^k} P_{Z_l^k, \iota T_i^k} \times p_i^{k-1} \quad (1)$$

Dimana N_d menyatakan nilai dari hasil tangkapan atau *measurement* dan N_t merupakan jumlah dari *target* pada Ω_j^{k-1} , N_{fa} adalah jumlah *false alarm* dan N_{nt} adalah jumlah target baru. Selanjutnya P_d adalah nilai probabilitas deteksi *target*, P_{FA} merupakan probabilitas tangkapan *false alarm* dan P_{NT} adalah probabilitas deteksi *target* baru.

Probabilitas hipotesis *parent* p_j^{k-1} dan $P_{z_t^k, \iota_t^k}$ merupakan probabilitas *measurement* Z_t^k yang dideteksi pada *target* ι_t^k .

Algoritma ini bisa menimbulkan pembentukan kombinasi yang sangat banyak. Untuk mengatasi hal itu digunakan proses *pruning* dari pohon hipotesis. Proses *pruning* tersebut dilakukan dengan cara pembatasan nilai daun atau kedalaman dari pohon hipotesis tersebut [5]. Tetapi kadang-kadang juga ditemui kejadian bahwa hipotesis ketika mengalami *pruning* terjadi proses yang bisa memakan waktu dan memori yang terlalu tinggi, sehingga kejadian seperti itu tidak akan efektif. Maka sebuah solusi terciptakan dengan menggunakan algoritma Murty untuk menemukan *m-best* penugasan untuk asosiasi setiap daun [9].

Metode ini cukup baik digunakan untuk kasus MTT [13]. MHT yang digunakan berdasarkan algoritma Reid (Blackman, 2004) yang untuk meningkatkan efisiensi dikombinasikan dengan algoritma Murty [9]. Berikan alur sistem algoritma MHT seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Alur Kerja Algoritma MHT

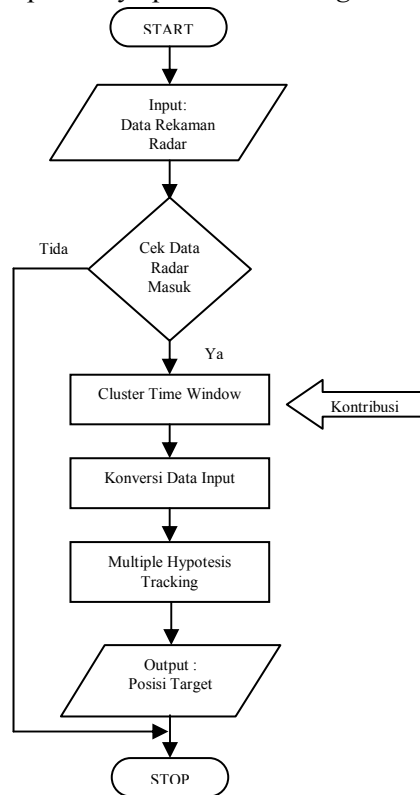
Berdasarkan Gambar 5 dapat diperhatikan bahwa input data yang berupa empat macam variabel parameter yaitu x , y , *heading* dan *altitude* yang dihasilkan pada proses konversi data akan diproses di dalam algoritma MHT. Pertama memasuki proses *Gating*, pada proses ini *target* akan mengalami validasi data berdasarkan data *track* sebelumnya. Biasanya akan berbentuk wilayah atau *region*, dimana *target* sementara yang masuk pada wilayah tersebut akan menjadi calon *track*. Setelah mengalami proses *Gating* maka *target* yang lolos proses validasi akan mengalami proses pembentukan hipotesis seperti dijelaskan pada Gambar 5 dan akan dipilih hipotesis terbaik yang akan dibentuk menjadi *track* baru dengan menggunakan algoritma Murty dengan *library* yang dikembangkan oleh Orguner [12]. Untuk evaluasinya akan dilakukan dengan cara misalkan *track* atau hipotesis yang tidak mengalami penambahan anggota dari *track* yang bersangkutan selama n kali *update* maka *track* atau hipotesis tersebut akan dihapus. Kemudian untuk proses prediksi *track* akan menggunakan Kalman Filter standar yang akan menggunakan *library* [1], proses ini berfungsi untuk menentukan estimasi atau prediksi posisi dari target yang diinginkan kemudian dari target hasil estimasi tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan probabilitas ketika proses pembentukan hipotesis. Target estimasi ini digunakan untuk menghitung nilai probabilitas dengan melibatkan data calon target hasil tangkapan yang baru masuk dengan target estimasi hasil prediksi dari kalman filter dengan menggunakan target yang sudah terbentuk dari proses *tracking* sebelumnya, hasil nilai probabilitas tersebut akan digunakan sebagai bobot untuk menentukan hipotesis terbaik dengan menggunakan algoritma Murty. Pada implementasi untuk algoritma MHT menggunakan *library* yang dibuat oleh Antunes [4].

G. Perancangan Algoritma Sistem

Perancangan algoritma merupakan proses yang sangat penting untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Maka dengan pertimbangan tersebut penyusunan langkah secara detil dan teliti sangat diperlukan. Dalam penyusunan setiap prosesnya juga perlu memperhatikan hasil setiap outputnya, sehingga perencanaan untuk setiap langkahnya perlu dilakukan uji secara manual. Suatu sistem MTT memiliki langkah-langkah utama yang harus dijalankan, yaitu *track association*, *track smoothing*, *track initiation* dan *track maintainance*.

Berdasarkan Gambar 6 sistem ini nantinya terdiri dari tiga tahapan utama yaitu untuk tahap pertama merupakan *clustering time window*. Pada tahap ini data rekaman radar akan dikluster berdasarkan waktu satu kali putaran radar pada data rekaman yang telah direkam langsung dari radar yang telah disiapkan. Tahap kedua adalah konversi data radar sebelum digunakan oleh algoritma MHT, pada tahap ini data radar masih berupa nilai *range* dan *bearing* untuk memudahkan proses di dalam algoritma MHT maka akan dikonversi ke dalam operasi kartesian yaitu berbentuk nilai x dan y . Untuk tahap yang terakhir yaitu data yang sudah dikonversi tersebut akan digunakan untuk input algoritma MHT. Alur tersebut terus berulang sampai data rekaman yang telah disiapkan habis untuk diproses. Berdasarkan hasil MHT yang berupa beberapa posisi *target* yang telah membentuk *track* atau lintasan tersebut akan dievaluasi dengan data *groundtruth* yang telah disediakan. Penyiapan data *groundtruth* ini adalah dengan menggunakan data rekaman yang sama tetapi proses pencocokan *track* atau lintasan masing-masing *target* dengan menggunakan mode 3 yang merupakan identitas dari masing-masing pesawat. Untuk mengetahui kemampuan algoritma dilakukan dengan

membandingkan antara *track* atau lintasan yang dibentuk dengan algoritma yang diusulkan dengan lintasan yang dibentuk berdasarkan algoritma MHT murni tanpa adanya proses *clustering time window*.



Gambar 6. Alur Sistem MTT dengan Clustering Time Window

IV. SKENARIO UJI COBA

Pada penelitian ini penulis menggunakan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak untuk menunjang proses implementasinya. Perangkat keras yang digunakan untuk implementasi dan pengujian adalah sebuah laptop dengan spesifikasi processor Intel Core i5-3210M CPU@2.50 GHz, RAM 4 Gb. Selain perangkat keras juga menggunakan perangkat lunak untuk implementasi dan pengujiannya yaitu peneliti menggunakan sistem operasi Windows 7 32 bit, NetBeans IDE 8.0.1 dan Matlab R2013a.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data rekaman berdurasi ± 18 menit. Data tersebut adalah milik salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pertahanan militer. Data yang digunakan ini berupa data yang terdiri *time arrival*, *range*, *bearing*, *mode3* dan *altitude*. Mode3 adalah identitas sebuah pesawat, dengan menggunakan identitas tersebut setiap plot atau titik akan bisa dihubungkan menjadi sebuah lintasan atau *track* yang bisa digunakan sebagai lintasan aktual (*ground truth*).

A. Uji Coba Pengelompokan Data Radar Menggunakan *Clustering Time Window*

Metode ini merupakan metode yang peneliti ajukan dalam penelitian ini. CTW merupakan suatu metode pengelompokan data berdasarkan satu putaran radar. Dalam melakukan satu putaran radar tersebut memerlukan waktu ± 10 detik. CTW ini dilakukan bertujuan untuk memastikan bahwa satu kelompok data radar yang akan digunakan untuk proses *tracking* tidak mengalami *double target* atau pesawat. Misalkan pada contoh data pada TABEL II, untuk data dengan Mode3 902 dalam kelompok satu proses CTW tersebut tidak ada data Mode3 902 yang lain. Hal ini sangat berfungsi ketika digunakan untuk proses *tracking* terutama ketika menggunakan metode pengembangan MHT. Karena dalam metode MHT tersebut dalam satu proses *tracking* hanya bisa menambah plot masing-masing *track* hanya satu buah plot dalam satu *state* ketika melakukan *update*. Dengan kondisi seperti itu bisa dianalisa bahwa ketika suatu proses pengelompokan data tersebut berisi Mode3 dalam hal ini 902 dengan jumlah lebih dari satu dalam kelompok data tersebut, maka bisa dipastikan satu plot Mode3 902 yang lain bisa membentuk *track* atau lintasan baru atau bisa juga ada kemungkinan plot tersebut akan bergabung dengan *track* yang lain. Jika sebuah *track* mengalami kondisi tersebut maka lintasan dari pesawat tersebut menjadi tidak valid, karena pasti

lintasan dari pesawat tersebut bisa putus. Sehingga ada informasi dari *track* tersebut yang akan hilang. Pada TABEL II merupakan salah satu contoh hasil *scan* atau tangkapan CTW.

TABEL II
PENGELOMPOKAN DATA RADAR DENGAN CTW PADA SCAN PERTAMA

Range	Bearing	Mode3	Altitude
46	73.84615	1332	331
90	248.6154	903	314
21	235.2527	908	191
98	277.0989	0	2
163	54.85714	1694	2
117	220.8352	902	220
144	61.18681	3673	388
56	212.3956	906	242

Dari tangkapan data radar tersebut bisa diamati, jika setiap tangkapan satu putaran radar sudah berhasil tidak ada data dengan Mode3 yang lebih dari satu dalam setiap *scan* CTW. Hal tersebut akan sangat membantu dalam proses *tracking* dengan metode MHT yang digunakan, karena bisa meminimalisir kesalahan proses *tracking*.

B. Uji Coba Pengelompokan Data Radar Tanpa Menggunakan *Clustering Time Window*

Metode ini adalah metode sebelumnya dimana pengelompokan data tidak menggunakan satu putaran radar. Pada proses ini data dikelompokkan secara tidak teratur, jadi kalau bisa diamati data bisa saja tepat satu putaran atau bahkan tidak tepat satu putaran sama sekali. Hal tersebut bisa terlihat pada plot-plot yang tertangkap pada masing-masing *scan* atau hasil tangkapan. Pada implementasi metode ini memang lebih banyak hasil pengelompokan yang setiap kelompok data radarnya berisi Mode3 yang sama atau lebih dari satu. Pada TABEL III merupakan salah satu contoh hasil *scan* atau tangkapan tanpa CTW.

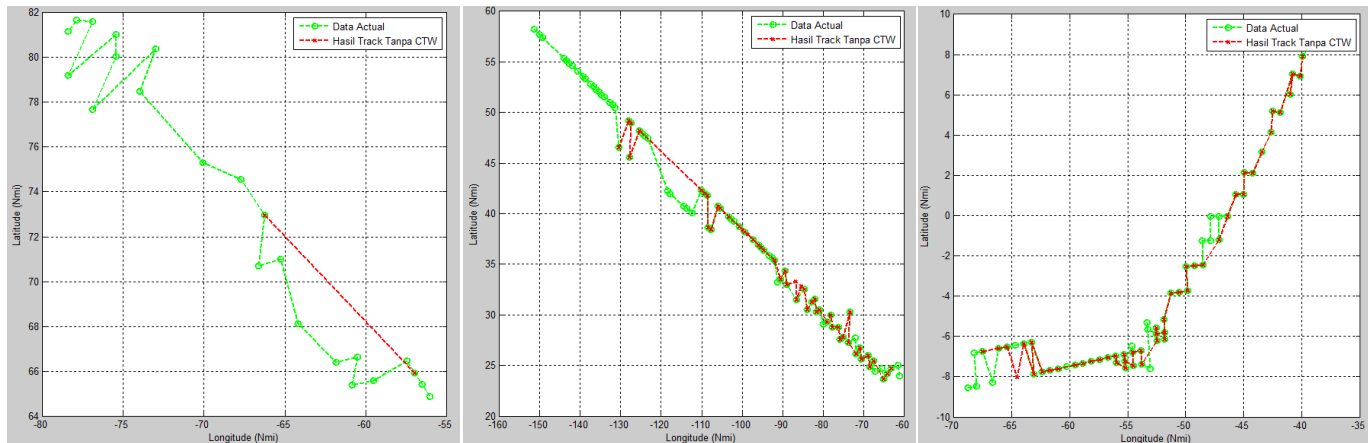
TABEL III
PENGELOMPOKAN DATA RADAR TANPA CTW PADA SCAN PERTAMA

Range	Bearing	Mode3	Altitude
46	73.84615	1332	331
90	248.6154	903	314
118	220.8352	902	220
162	54.85714	1694	400
21	235.2527	908	191
98	277.0989	0	2
163	54.85714	1694	2
0	0	0	0
117	220.8352	902	220
144	61.18681	3673	388
56	212.3956	906	242

Dari sini bisa dianalisa ketika menggunakan algoritma MHT dengan anggota kelompok dalam setiap *scan* atau tangkapannya memiliki plot dengan Mode3 yang tidak unik atau lebih dari satu kemungkinan untuk salah *tracking* akan semakin besar.

C. Uji Coba Performa Tracking Tanpa Clustering Time Window dengan Menggunakan Pengembangan Multiple Hypothesis Tracking

Berdasarkan Gambar 7 di atas terlihat bahwa hasil *tracking* untuk pesawat dengan Mode3 902 sangat jelek karena hanya bisa melakukan *tracking* sebanyak dua plot saja pada data aktual (*ground truth*), kemudian untuk data pesawat pada Mode3 903 sudah lumayan banyak plot atau titik yang berhasil di *track* berdasarkan data aktualnya. Dan yang terakhir adalah data pesawat pada Mode3 958 pada data ini hasil *tracking* sudah lebih bagus dibandingkan dua data pesawat sebelumnya, hal itu bisa dilihat dari banyaknya plot pada data aktual yang berhasil di *track*. Pada kasus MHT tanpa CTW ini penyebab banyak *track* atau lintasan setiap pesawat tidak berhasil, disebabkan karena pada metode MHT tidak mengenal sistem penambahan atau *update track* sebanyak lebih dari satu plot atau titik tetapi hanya bisa menambah satu plot saja dalam sekali proses *tracking* dilakukan. Padahal pada kondisi MHT tanpa CTW ini bisa dimungkinkan setiap sekali proses bisa terjadi dua kali *update*.

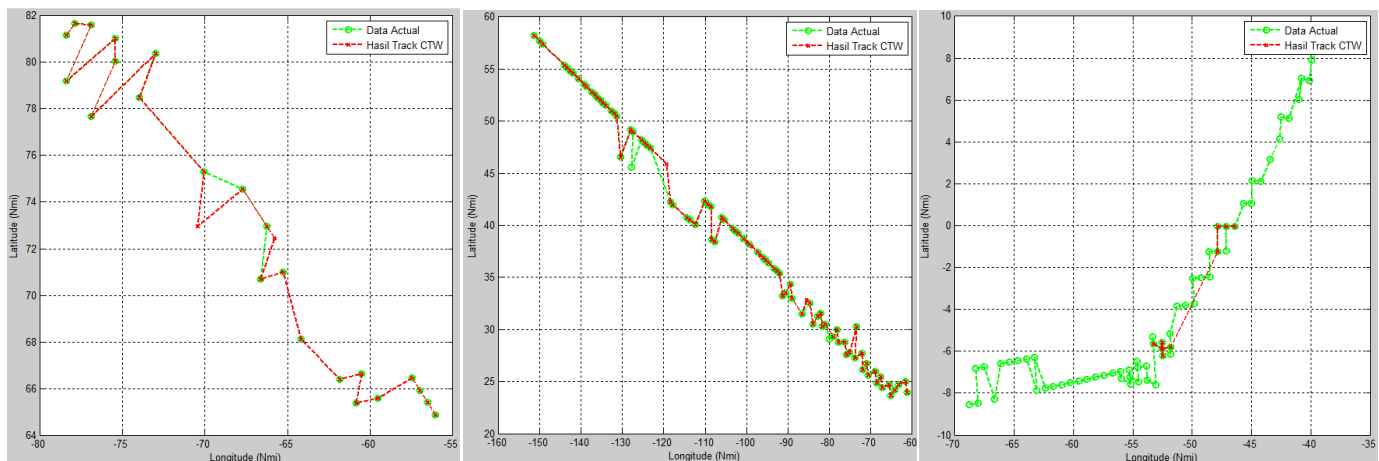


Gambar 7. Dari Kiri ke Kanan : Hasil *Tracking* Pesawat dengan Mode3 902, Mode3 903, Mode3 958

D. Uji Coba Performa Tracking Menggunakan Clustering Time Window dengan Pengembangan Multiple Hypothesis Tracking

Pada bagian ini akan dilakukan uji coba untuk metode yang diusulkan yaitu MHT-CTW, dimana hasilnya menunjukkan *tracking* yang cukup bagus. Seperti ditampilkan pada Gambar 8, dari tiga lintasan pesawat yang ditampilkan dua *track* menunjukkan hasil yang sempurna sedangkan satu *track* mendapatkan hasil yang kurang bagus.

Pada Gambar 8 merupakan hasil *tracking* dengan metode yang diajukan yaitu MHT-CTW, seperti dapat diamati bahwa untuk data pesawat dengan Mode3 902 dan 903 berhasil melakukan proses *tracking* dengan hampir sempurna karena semua data aktualnya berhasil di *track*. Sedangkan untuk kasus Mode3 958 adalah yang terburuk karena disebabkan oleh plot *noise* di awal data kedatangan. Salah satu kasus dimana hasil dari MHT-CTW kurang memperlihatkan hasil yang kurang bagus terjadi pada Mode3 958.



Gambar 8. Dari Kiri ke Kanan : Hasil *Tracking* Pesawat dengan Mode3 902, Mode3 903, Mode3 958

Berdasarkan Gambar 8 di atas dapat terlihat MHT-CTW masih kalah dominan daripada MHT tanpa CTW. Kasus ini juga menjadi salah satu kekurangan pada MHT-CTW, khususnya dalam menghadapi data yang memiliki *noise* seperti pada kasus Mode3 958 ini. *Noise* tersebut terjadi ketika suatu data dengan Mode3 0 seperti pada TABEL IV terjadi yaitu ketika data tersebut memiliki data yang sama dengan Mode3 958. Dengan kondisi bahwa Mode3 0 datang lebih dahulu secara otomatis data tersebut tersimpan sebagai *track* dengan identitas tertentu, kemudian ketika

Mode3 958 datang berikutnya dengan kondisi data yang sama maka secara tidak langsung plot dengan Mode3 958 tersebut akan tersambung dengan *track* yang sudah terbentuk sebelumnya dalam hal ini yaitu plot dengan Mode3 0 tadi. Selanjutnya secara otomatis Mode3 958 tersambung dengan lintasan dengan Mode3 0 tersebut yang berakibat lintasan pada Mode3 958 sendiri tidak berhasil melakukan proses *tracking* dengan sempurna.

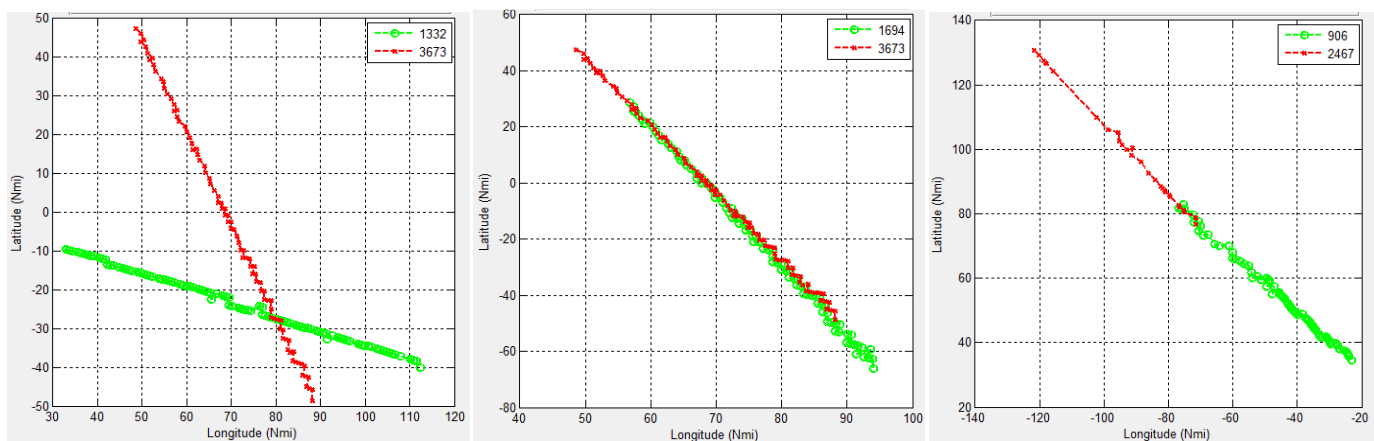
TABEL IV
URUTAN KEDATANGAN DATA REKAMAN MEMILIKI NOISE

Mode3	Lon(X)	Lat(Y)
908	-12.325	8.54936
902	-54.646	63.2296
0	-69.463	-8.6508
903	-59.86	23.4403
906	-21.43	33.7748
1694	95.2059	-67.018
3673	90.123	-49.573
1332	31.5599	-9.1414
908	-12.857	9.03555
1694	94.6218	-66.607
958	-69.463	-8.6508
903	-60.23	24.4419
902	-55.113	63.7701
1332	32.246	-9.3402

Berdasarkan kasus tersebut bisa menjadi salah satu kesimpulan bahwa metode yang diusulkan ini memiliki salah satu kelemahan bahwa ketika suatu pembentukan *track* atau lintasan yang salah pada waktu kedatangan di awal maka untuk proses pembentukan lintasan selanjutnya akan ikut mengalami kesalahan. Hal ini bisa terjadi pada salah satu kasus pada Mode3 958 ini. Sehingga lintasan pada Mode3 958 tidak begitu *valid* karena banyaknya plot dari lintasan tersebut yang hilang jika dilihat berdasarkan data aktual yang dimiliki oleh data pada Mode3 958 ini.

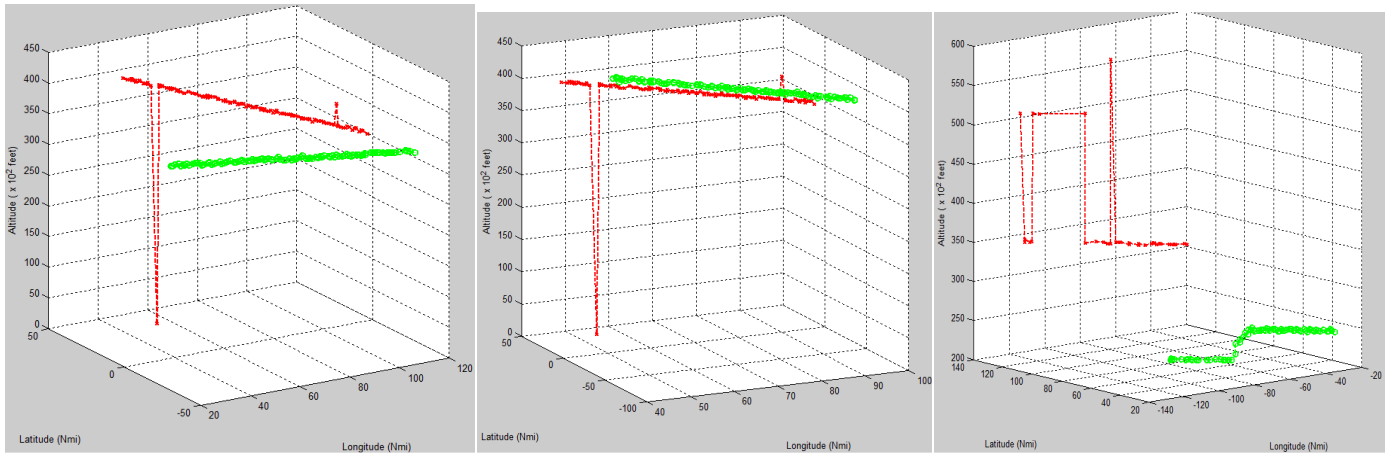
E. Uji Coba Dua *Target* Dalam Kondisi Komplek

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil uji coba untuk tiga macam kasus lintasan yang cukup kompleks, yaitu lintasan saling bersilangan, lintasan saling beriringan dan lintasan saling berhadapan. Pada kondisi-kondisi seperti itu sangat bisa dimungkinkan akan terjadi kesalahan *tracking* karena memang kondisinya yang cukup membingungkan kalo dilihat secara sepiintas.



Gambar 9. Hasil Tracking 2D MHT-CTW dari Kiri ke Kanan: *Track* Saling Bersilangan, *Track* Saling Beriringan, *Track* Saling Berhadapan

Berdasarkan Gambar 9 di atas ternyata metode MHT-CTW juga cukup handal ketika melakukan proses *tracking* pada ketiga macam kondisi yang sebenarnya cukup sulit untuk dilakukan proses *tracking*. Ketiga kondisi tersebut adalah lintasan saling bersilangan, lintasan saling beriringan dan lintasan saling berhadapan. Karena ketiga kondisi tersebut sangat memungkinkan bisa menyebabkan kesalahan *tracking* yang cukup tinggi. Untuk lebih jelas untuk menggambarkan sebenarnya lintasan tersebut saling tabrakan atau tidak bisa dilihat berdasarkan tampilan 3D pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Tracking 3D MHT-CTW dari Kiri ke Kanan: *Track Saling Bersilangan*, *Track Saling Beriringan*, *Track Saling Berhadapan*

Berdasarkan Gambar 10 tersebut sudah jelas bagaimana sebenarnya posisi dari masing-masing pesawat tersebut, yaitu kondisinya cukup aman dan tidak akan terjadi tabrakan atau *crash* di udara. Bisa diamati dari selisih *altitude* atau ketinggian dari kedua *target* tersebut.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil dan pembahasan akan diamati performa proses *tracking* baik MHT tanpa CTW dan MHT-CTW berdasarkan tiga nilai yaitu *Correct Target* (CT), *Maintain Target* (MT) dan *Inexisting Target* (IT). CT merupakan variabel nilai untuk mengetahui seberapa besar kemampuan sistem untuk mendeteksi suatu plot yang diprediksi sebagai *target* kemudian pada proses *output tracking* berhasil benar-benar menjadi *target* dari salah satu pesawat. Kemudian, MT merupakan variabel nilai untuk mengetahui seberapa besar kemampuan sistem untuk mendeteksi suatu plot yang baru masuk atau tertangkap berhasil tersambung dengan plot sebelumnya yang sudah menjadi *track* pada salah satu *target* atau secara sederhana bisa dikatakan untuk menghitung berapa jumlah plot yang berhasil tersambung dengan *track* pasangannya. IT merupakan variabel nilai untuk mengetahui seberapa besar kemampuan sistem untuk mendeteksi suatu plot dimana diprediksi akan menjadi sebuah *target* tetapi pada kenyataan pada hasil *output tracking* tidak menjadi sebuah *target*.

TABEL V
PERBANDINGAN RATA-RATA NILAI CT, MT, IT SELURUH HASIL SCAN
PADA MHT TANPA CTW DAN MHT-CTW

Metode	CT (%)	MT (%)	IT (%)
MHT Tanpa CTW	51.49	29.73	46.73
MHT -CTW	87.66	80.5	23.65

Berdasarkan pada TABEL V di atas terlihat perbandingan metode terdahulu dengan metode MHT-CTW dengan menggunakan seluruh data rekaman yang berdurasi kurang lebih 18 menit, dari hasil tersebut terlihat perbedaan yang cukup mencolok. Untuk nilai CT metode terdahulu dengan nilai 51.49% sedangkan metode MHT-CTW memiliki nilai 87.66% , hal itu menunjukkan bahwa kemampuan mendeteksi target untuk metode MHT-CTW lebih bagus. Sedangkan pada nilai MT pada metode terdahulu menunjukkan nilai 29.73% sedangkan metode MHT-CTW memiliki nilai 80.5% dari sini bisa juga dikatakan, bahwa metode MHT-CTW memiliki kemampuan yang cukup bagus dalam hal membentuk lintasan setiap pesawat khususnya dalam menghubungkan setiap plot dengan tepat pada setiap lintasan pesawat tersebut. Dan yang terakhir untuk nilai IT pada metode terdahulu cukup besar dibandingkan dengan metode MHT-CTW yaitu 46.73% dibandingkan dengan 23.65%, hal itu mengandung maksud bahwa metode terdahulu memiliki kecenderungan memiliki tingkat kesalahan prediksi yang lebih tinggi dibandingkan

dengan metode MHT-CTW. Dari beberapa hasil analisa tersebut dapat ditarik kesimpulan awal bahwa dengan penambahan praproses berupa metode CTW pada MHT menghasilkan sistem *tracking* yang cukup handal.

VI. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Sistem *multitarget tracking* dengan *Multiple Hypothesis Tracking* dengan praproses *Clustering Time Window* pada data radar bisa mendapatkan hasil yang cukup bagus dengan klasifikasi nilai *correct target* sebesar 87.66%, *maintain target* sebesar 80.5% dan *inexisting target* sebesar 23.65%. Dan juga dapat diamati bahwa Sistem *multitarget tracking* dengan MHT-CTW juga unggul dalam beberapa percobaan data dengan memakai data aktual (*ground truth*) sebagai acuannya, yang ditampilkan untuk membentuk suatu *track* dari setiap pesawat dibandingkan dengan hasil *tracking* dari metode MHT tanpa CTW. Selain hasil penelitian yang bisa dibilang cukup bagus, di dalam metode yang telah diajukan juga ditemukan kelemahan yaitu ketika ada penangkapan data *noise* di awal penangkapan data, karena metode ini ketika ada salah *tracking* satu plot atau titik di awal maka untuk *track* selanjutnya juga ikut salah. Sehingga diperlukan studi lebih lanjut untuk mengatasi masalah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdelkader, A. (2009, December 6). *The Lost Beauty*. Retrieved September 18, 2014, from Java implementation of the Kalman Filter using JAMA: <http://the-lost-beauty.blogspot.com/2009/12/java-implementation-of-kalman-filter.html>
- [2] Amditis, A., Thomaidis, G., Maroudis, P., Lytrivis, P., & Karaseitanidis, G. *Multiple Hypothesis Tracking Implementation*. Greece: www.intechopen.com.
- [3] Antunes, D. M., Figueira, D., Matos, D. M., Bernardino, A., & Gaspar, J. (2011). Multiple Hypothesis Tracking in Camera Networks. *International Conference on Computer Vision Workshops* (pp. 367-374). Barcelona: IEEE.
- [4] Antunes, D. (2011, May 10). *Multiple Hypothesis Library*. Retrieved September 4, 2014, from Multiple Hypothesis Library Easy MHT Implementation: <http://www.multiplehypothesis.com>
- [5] Bar-Shalom, Y., Daum, F., & Huang, J. (2009). The Probabilistic Data Association Filter. 82-100.
- [6] Blackman, S. S. (2004). Multiple Hypothesis Tracking For Multiple Target Tracking. *SYSTEMS MAGAZINE*, 5-17.
- [7] Chandra, F. (2007). *Algoritma Filtering Pada Sistem Multi Radar Tracking*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [8] Chunki Park, H.-T. L. (2011). Radar Data Tracking Using Minimum Spanning Tree-Based Clustering Algorithm. *11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference* (pp. 1-8). Moffet Field, USA: AIAA.
- [9] Cox, I. J., & Hingorani, S. L. (1996). An Efficient Implementation of Reid's Multiple hypothesis Tracking Algorithm and Its Evaluation for the Purpose of Visual Tracking. *TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, 138-150.
- [10] Fortunato, E., Kremer, W., Mori, S., Chong, C.-Y., & Castanon, G. (2007). Generalized Murty's Algorithm With Application to Multiple Hypothesis Tracking. *Information Fusion*, 1-8.
- [11] Murty, K. G. (1968). An Algorithm for Ranking all the Assignments in Order of Increasing Cost. *Operations Research*, 682-687.
- [12] Orguner, U. (2010, January 26). *Linkopings Universitet*. Retrieved September 25, 2014, from Reglerteknik (Automatic Control): <http://www.control.isy.liu.se/student/graduate/TargetTracking/Murty.m>
- [13] Reid, D. B. (1979). An Algorithm for Tracking Multiple Targets. *TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL*, 843-854.
- [14] Richards, M. A., Scheer, J. A., & Holm, W. A. (2010). *Principle Of Modern Radar*. Danvers: Sheridan Books, Inc.
- [15] Singer, R., & Stein, J. (1971). An optimal tracking filter for processing sensor data of imprecisely determined origin in surveillance systems. *Decision and Control, 1971 IEEE Conference on* (pp. 171-175). Miami Beach: IEEE.
- [16] Wolf, M. T., & Burdick, J. W. (2009). Multiple Hypothesis Tracking Using Clustered Measurement. *International Conference on Robotics and Automation* (pp. 3955-3961). Kobe: IEEE.
- [17] Xue Jiang, K. H. (2013, July 4). Integrated track initialization and maintenance in heavy clutter using probabilistic data association. *Signal Processing*, pp. 241-250.