

Analisis Radar MIMO OFDM Target Bergerak dengan Clutter Angin

Risdilah Mimma Untsa ¹

¹ Institut Teknologi Telkom Surabaya; risdilah.untsa@ittelkom-sby.ac.id

Abstrak: Radar untuk kebutuhan otomotif ditujukan untuk mengurangi *collision avoidance*. Pengaruh clutter yang ditimbulkan pada radar otomotif menyebabkan berkurangnya kemampuan deteksi target. Clutter sebagai sinyal yang tidak diinginkan yang berasal dari angin dapat mengganggu deteksi target. Sistem radar memanfaatkan sinyal OFDM yang sensitif terhadap pergeseran doppler sehingga dapat mendeteksi kecepatan dari target. Pada sistem ini tidak mempertimbangkan dampak dari interferensi sistem lain dan noise. Digunakan periodogram untuk memperoleh informasi jarak dan kecepatan dari target dan radar. Algoritma MUSIC untuk mendeteksi sudut kedatangan target dan radar. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, clutter mengurangi resolusi deteksi jarak radar sebesar 0.3 m dari spesifikasi resolusi radar. Clutter juga mengurangi resolusi deteksi kecepatan radar sebesar 0.14 m dari resolusi kecepatan spesifikasi radar. Rata-rata akurasi deteksi kecepatan dan sudut target oleh radar mencapai 96.94% dan 97.50%. Hal ini menunjukkan bahwa radar dapat mendeteksi kecepatan dan sudut dengan baik.

Kata Kunci: Radar, MIMO, OFDM, Clutter.

1. Pendahuluan

Kemampuan Radar MIMO dalam pendeteksian target bergerak menawarkan resolusi dan sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan radar konvensional. Hal ini dikarenakan pada sistem antenna pada radar MIMO menggunakan system MIMO (Multiple Input Multiple Output) yang memudahkan memisahkan target dan clutter. Kemampuan Radar MIMO dalam memancarkan sinyal dari beberapa antenna yang tidak saling berkorelasi dan dapat menerima sinyal ke beberapa elemen penerima. Berbeda dengan array konvensional yang menjumlahkan sinyal yang diterima, radar MIMO mampu memancarkan sinyal yang independent menyebabkan masing-masing sinyal yang diterima tidak saling berkorelasi sehingga dengan lebih melakukan digitasi untuk mereject pantulan dari sinyal yang tidak diinginkan atau clutter [1]. Pada penggunaan radar MIMO dibutuhkan sinyal yang tidak saling berkorelasi yaitu OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Pada sinyal OFDM masing-masing subcarrier memiliki amplitudo dan fase yang independent. Salah satu kelemahan OFDM adalah sensitif terhadap pergeseran Doppler dimana pada penelitian ini dimanfaatkan untuk mendeteksi informasi jarak dan kecepatan target [2]. Karena sifat ortogonalitasnya yang membuat antar subcarrier dapat dibuat overlapping sehingga spectrum lebih efisien dibanding dengan teknik modulasi multicarrier konvensional. Clutter merupakan sinyal yang tidak diharapkan yang berasal dari lingkungan sekitar radar. Misalnya seperti cuaca (hujan), hewan (serangga, burung, dll), angin atau badai. Clutter bersifat merugikan karena dapat menyebabkan kesalahan dalam pendeteksian target pada sistem radar. Tetapi tidak semua echo radar dari lingkungan ini bersifat mengganggu. Misalnya clutter hewan yaitu burung yang dapat mengganggu

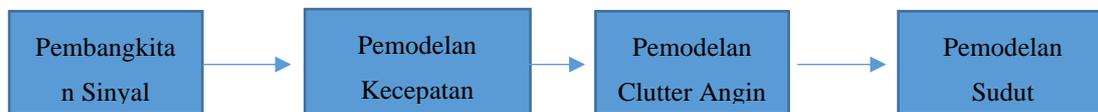
radar pendeteksi pesawat, tetapi pada radar pendeteksi rombongan burung yang bermigrasi justru pesawat yang dianggap sebagai clutter.

Pada sistem MIMO OFDM yang digunakan pada penelitian ini yaitu konfigurasi pemancar dan penerima terdiri dari empat antenna pemancar dan empat antenna penerima. Pada sisi pemancar terdapat empat antenna dengan jarak masing-masing antenna adalah $\lambda/2$ dimana saat melakukan simulasi pada sisi pemancar dilakukan proses *steering vector* dengan asumsi bahwa sinyal yang keluar adalah menyebar ke arah *beam* dari -60° hingga 60° . Pada sisi penerima terdapat dua skenario yang pertama yaitu pemrosesan kecepatan menggunakan empat antenna dengan jarak antar antenna adalah $\lambda/2$, sehingga sinyal yang akan diolah adalah bersumber dari empat antenna saja. Sedangkan skenario kedua yaitu untuk pemrosesan sudut kedatangan (*Direct of Arrival*) digunakan perkalian kronecker pada masing-masing *steering vector* pada pemancar dan penerima, dimana yang semula hanya terdiri empat antenna penerima, dengan penggunaan operasi *kroncker* maka jumlah *steering vector* antenna pemancar dan penerima menjadi enam belas yaitu dari hasil perkalian antara jumlah antenna pengirim dengan jumlah antenna penerima yang sama-sama bernilai empat. Konfigurasi ini hanya digunakan dalam pemrosesan arah kedatangan target (DoA)[3].

Pada bagian II akan dibahas mengenai proses pemodelan system dan simulasi. Sedangkan pada bagian III berisi pengambilan data hasil simulasi untuk dianalisa pengaruh clutter terhadap deteksi kecepatan dan sudut pada radar juga SNR terhadap kemampuan deteksi radar untuk kecepatan dan sudut. Pada bagian IV akan dibahas kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

2. Metode

Dalam penelitian ini, pemodelan dilakukan menggunakan Matlab. Pemodelan system terdiri dari pemodelan target, kecepatan target dan clutter, arah kedatangan (DoA) atau sudut dari target dan clutter. Clutter dimodelkan menggunakan distribusi yang menyerupai distribusi angin yaitu Rayleigh. Sinyal transmisi radar menggunakan OFDM dibangkitkan dan diterima oleh radar penerima berupa sinyal echo yang kemudian dideteksi keberadaan target sesuai kecepatan dan arah kedatangan atau sudut dari target dan clutter. Untuk pemodelan pada sistem radar MIMO OFDM digambarkan pada gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Sistem Radar MIMO OFDM

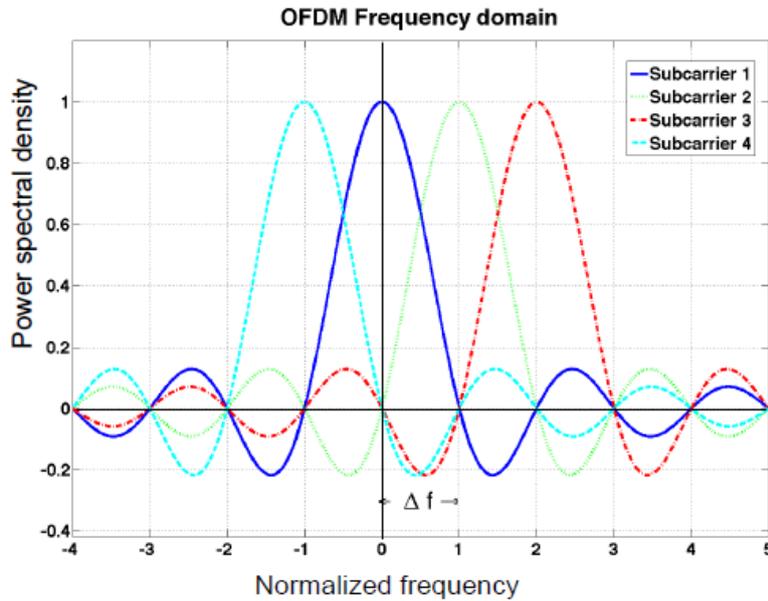
Gambar 1 di atas menunjukkan pemodelan sistem pada radar MIMO OFDM diawali dengan pembangkitan sinyal OFDM.

- Pembangkitan Sinyal OFDM

Pada transmitter, dibangkitkan sinyal OFDM yang direpresentasikan :

$$x(t) = \sum_{\mu=0}^{M_{sym}-1} \sum_{n=0}^{N_c-1} D(\mu N_c + n) \exp(j2\pi f_n t) \text{rect}\left(\frac{t-\mu T}{T}\right) \quad (1)$$

dengan dimana N_c adalah jumlah subcarrier, n indeks setiap subcarrier, M_{sym} merupakan total simbol OFDM yang dikirim transmitter, μ = indeks dari setiap simbol OFDM, $D(\mu + n)$ = simbol termulasi kompleks, f_n = frekuensi setiap subcarrier, T = durasi simbol OFDM, $rect(\frac{t}{T})$ = window persegi dari durasi T . Bentuk sinyal OFDM ditunjukkan seperti pada gambar 2. Setelah sinyal OFDM dibangkitkan lalu dilakukan pemodelan kecepatan pada target dan clutter.



Gambar 2. Bentuk Sinyal OFDM [4]

Gambar 2 menunjukkan bentuk sinyal OFDM dengan empat subcarrier dan antar subcarrier dipisahkan oleh spasi yang disebut spasi antar frekuensi subcarrier (Δf) yang berbanding terbalik terhadap periode simbol sinyal OFDM.

$$\Delta f = \frac{1}{T_0} \tag{2}$$

Δf = jarak antar frekuensi subcarrier, T_0 = periode simbol OFDM

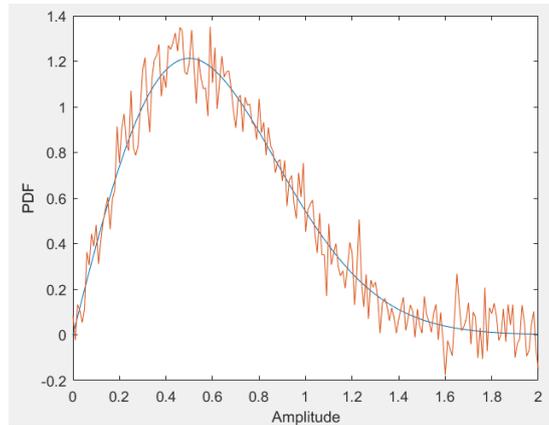
- Pemodelan Kecepatan

Untuk memodelkan kecepatan bergantung pada pergeseran Doppler. Untuk target bergerak maka ditambahkan pergeseran Doppler. Target yang bergerak mendekati radar, pergeseran Doppler bernilai positif. Sedangkan target yang bergerak menjauhi radar, pergeseran Doppler bernilai negatif. Untuk memodelkan kecepatan yaitu disetarakan terlebih dahulu dengan frekuensi dopplernya setelah itu dimasukkan ke dalam persamaan (3). Setelah itu dilakukan pemodelan kecepatan pada clutter angin.

$$k_D(m) = \exp(j2\pi m T_{OFDM} f_D) \tag{3}$$

- Pemodelan Clutter Angin

Clutter merupakan kondisi lingkungan maupun objek yang berada di sekitar target dimana keberadaannya dapat mengganggu deteksi target. Pada penelitian ini angin dianggap sebagai clutter yang dapat mengganggu kemampuan radar dalam mendeteksi target. Clutter angin memiliki penyebaran yang acak, fase dan amplitude yang tidak tentu. Untuk itu faktor angin digambarkan distribusi Rayleigh seperti pada gambar 3.



Gambar 3. PDF Distribusi Rayleigh secara teori dan simulasi

Untuk faktor angin [5] dapat ditulis dengan persamaan (4)

$$A_w = \left(\frac{1.9425 v_w}{1 + \frac{v_w}{15}} \right)^{1.1(\lambda + 0.02)^{-0.4}} \quad (4)$$

Dimana v_w merupakan kecepatan angin, v_w adalah faktor angin.

- Pemodelan Sudut Kedatangan (DoA)

Selain mendeteksi kecepatan, radar pada penelitian ini juga dapat mendeteksi sudut kedatangan dari target maupun clutter. Untuk itu system pada radar menggunakan algoritma MUSIC (*Multiple Signal Classification*) yang dikenal sebagai metode *eigenstructure* dengan resolusi yang tinggi. MUSIC dapat digunakan untuk mendapatkan informasi jumlah sinyal yang diterima, *Direction of Arrival* (DoA) atau sudut kedatangan, dan besarnya daya sinyal yang diterima. Pada algoritma ini, sinyal yang diterima didapatkan dari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*. Jumlah sinyal disimbolkan dengan huruf D , jumlah *eigenvalue* dan *eigenvector* sinyal adalah D , dan *eigenvalue* dan *eigenvector noise* adalah $M-D$, dimana M adalah jumlah dari elemen *array* di sisi penerima [6]. Selanjutnya setelah serangkaian pemodelan sistem radar MIMO telah dibuat, maka desain sistem radar dapat dibuat dengan menentukan beberapa spesifikasi yang dibutuhkan.

- Desain Sistem Radar MIMO OFDM

Pada pemodelan sistem radar, digunakan konfigurasi antena MIMO 4x4 sehingga masing-masing pada pemancar dan penerima memiliki 4 antena dan jumlah kanal sebanyak $M \times N$ yaitu 16. Sinyal yang digunakan yaitu sinyal OFDM. Dari sistem yang dibangun, didapatkan dua informasi yaitu kecepatan target dan clutter, serta sudut kedatangan dari target dan clutter. Informasi kecepatan target didapatkan dari periodogram, sedangkan informasi sudut didapatkan dari algoritma MUSIC [7].

Sistem parameter diperlukan untuk menentukan spesifikasi radar yang akan dirancang dengan memperhatikan frekuensi kerja radar dan kecepatan relatif radar. Frekuensi pembawa (f_c) yang digunakan pada radar penelitian ini adalah 24 GHz.

$f_D \max = 2 v_r/\lambda$ jadi $f_D = 91$ kHz. Untuk menjaga ortogonalitas antar subcarrier, ukuran jarak intercarrier harus lebih besar dari sepuluh kali $f_D \max$ $f_c > 10 f_D \max$. Kecepatan relatif maksimum target ($v_r \max$) adalah 55,56 m/s. Jangkauan maksimum target adalah 206 m. Rentang resolusi yang diinginkan R adalah 1,5 m dan resolusi kecepatan yang diinginkan adalah 2,16 m/s. Bandwidth (B) diperoleh dengan membagi kecepatan cahaya dengan resolusi jarak dua kali. Untuk menentukan jumlah subcarrier (N_c) dapat dilakukan dengan menghitung lebar bandwidth dibagi spasi antar subcarrier. Karena nilai B dibagi f_c menghasilkan 1098. Dan nilai dua pangkat yang mendekati 1098 adalah 1024 yaitu 210.

Periode OFDM (TOFDM) diperoleh dari periode simbol OFDM dan periode awalan siklik (T_{cp}). Periode cp diatur pada $1/8$ dari T_0 . Untuk menyelesaikan ISI dengan sempurna, maka panjang T_{cp} harus lebih besar dari delay maksimum dengan jarak yang ditetapkan sepanjang $1/8$ dari T_0 , sehingga T_p memiliki durasi 1,28 s dan TOFDM 11,28 s. Berikut spesifikasi radar OFDM MIMO yang digunakan pada simulasi penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

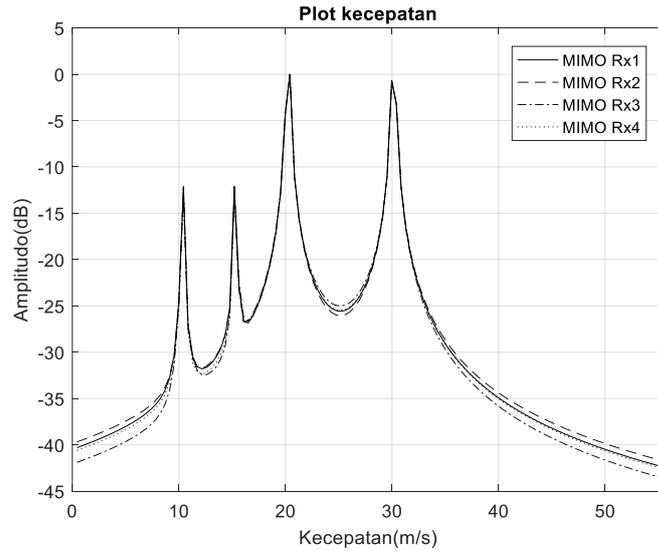
3. Hasil

- Deteksi Kecepatan dan Sudut Kedatangan (DoA)

Radar akan mendeteksi target yaitu mobil yang bergerak di depan mobil radar dan mendeteksi angin sebagai clutter. Keberadaan clutter ini dapat mengaburkan deteksi target dan mengganggu deteksi target. Pada simulasi ini digunakan frekuensi carrier 24 GHz dengan panjang gelombang 1.25 cm. Masing-masing antenna pemancar dan penerima memiliki 4 elemen dan spasi antar elemen $\lambda/2$. Kendaraan sedang berjalan dengan kecepatan konstan 20 m/s. Deteksi kecepatan target dan clutter digambarkan pada gambar 4.

Tabel 1. Spesifikasi Radar yang Digunakan

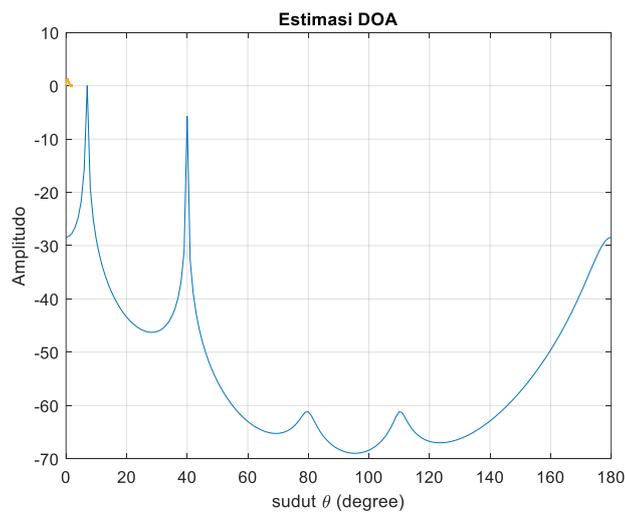
Symbol	Parameter	Value
f_c	Carrier Frequency	24 GHz
N_c	Number of Subcarrier	1024
N_{ct}	Number of subcarrier/transmit	256
Δf	Space of subcarrier	90.909 kHz
B	Bandwidth	93.1 MHz
T_0	Periode of symbol	10 μ s
T_p	Cyclic prefix duration	1.28 μ s
M_{sym}	Number of OFDM symbol	256
ΔR	Range Resolution	1.5 m
r_{\max}	Maximum Range	206 m
v_{\max}	Maximum velocity	200 km/h
Δv	Velocity resolution	2.16 m/s



Gambar 4. Deteksi Kecepatan Target dan Clutter

Dari gambar 4 menunjukkan kecepatan target sebesar 20 m/s dan 30 m/s. Pada gambar juga terdeteksi clutter yang memiliki kecepatan 10 m/s dan 5 m/s, tampak jika clutter hampir menyerupai target. Tetapi jika dilihat lagi target dan clutter memiliki amplitudo yaitu level daya yang berbeda. Untuk target dengan kecepatan 20 m/s dan memiliki daya level sebesar 0 dB sedangkan clutter dengan kecepatan 10 m/s dan 5 m/s memiliki level daya yang lebih kecil yaitu sekitar -13 dB.

Untuk deteksi sudut kedatangan target dan clutter ditunjukkan pada gambar 5. Pada gambar tampak target pada sudut 10° dan 40°. Target dengan sudut 10° memiliki level daya sebesar 0 dB dan target dengan sudut 40° memiliki level daya -5 dB. Sedangkan angin sebagai clutter terdeteksi pada sudut 80° dengan level daya jauh di bawah level daya target yaitu sekitar -62 dB. Sedangkan clutter kedua yang terdeteksi pada sudut 110° dengan level daya yang sama dengan clutter pertama yaitu sekitar -62 dB.



Gambar 5. Deteksi Sudut Kedatangan Target dan Clutter



Gambar 6. Perbandingan SNR Target dan Clutter

- Signal to Noise Ratio (SNR)

Pada penelitian ini dilakukan simulasi didapatkan nilai SNR dimana clutter dianggap sebagai *noise*. Seperti ditunjukkan pada gambar 6 bahwa dilakukan simulasi mulai dari 10 m/s hingga 150 m/s dan didapatkan nilai SNR target yang lebih tinggi dibanding SNR clutter. Saat target berada pada kecepatan 10 m/s SNR bernilai sekitar 8 dB sedangkan clutter SNR nya bernilai 2 dB. Pada kecepatan 80 m/s target memiliki SNR sebesar 28 dB, sedangkan clutter nilai SNR nya sebesar 8 dB. Pada kecepatan 150 m/s target memiliki SNR sebesar 50 dB, sedangkan clutter memiliki SNR sebesar 15 dB. Hal ini menunjukkan jika SNR pada target jauh lebih baik dibanding dengan SNR pada clutter.

4. Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis data yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa pada deteksi kecepatan, target memiliki level daya yang lebih tinggi dibanding level daya clutter sehingga hal ini dapat memudahkan radar apabila diberi system mitigasi untuk menekan clutter yang mengganggu. Kemudian, pada deteksi sudut kedatangan, target juga memiliki level daya yang lebih tinggi dibanding clutter sehingga memudahkan radar membedakan antara target dan clutter. Selain itu, semakin besar kecepatan target semakin besar nilai SNR yang didapatkan yaitu mengalami peningkatan sebesar 40 dB sehingga menjadi 50 dB, sedangkan pada clutter kenaikan nilai SNR yaitu hanya sekitar 15 dB. Hal ini menunjukkan bahwa clutter angin tidak berdampak besar terhadap kemampuan deteksi radar MIMO OFDM.

Referensi

1. W. A. H. Mark A. Richards, James A. Scheer, "Principles of Modern Radar Vol. 1". Scitech Publishing, 2010.
2. Mecca, V., and Krolik, J. "MIMO Enabled Multipath Clutter Rank Estimation," IEEE Radar Conference, Pasadena 2009
3. D.Kuswidyastuti, M.Rizky, P.H.Mukti, G. Hendrantoro, "MIMO Radar Waveform Design Using Interleaved-OFDM Technique", IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT), 2016
4. W. Wiesbeck, "System Concepts for the Radar of the Future," Karlsruhe Institute of technology, 2014.
5. Qin Hua, Cha Hao, Zhou Mo. "Simulation and Modeling of Radar Echo Signal". Institute of Ocean Electromagnetic Environment Naval University of Engineering Wuhan, China. 2012
6. J. I. Emmett, "Using the Singular Value Decomposition", Carlson Center for Imaging Science, May 29, 2003.

7. W. A. H. Mark A. Richards, James A. Scheer, "Principles of Modern Radar Vol. 1". Scitech Publishing, 2010.



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).