

Artikel

Analisis Algoritma Music Untuk Deteksi Sudut Kedatangan Pada Perangkat Gunshot

Rizal Reynaldi¹, Nilla Rachmaningrum^{2*}, Risdillah Mimma Untsa³.¹⁻³ Program Studi Teknik Telekomunikasi, Telkom University Surabaya, Surabaya, Indonesia* Korespondensi: nrachmaningrum@telkomuniversity.ac.id

Received: 5 Februari 2024; Revised: 22 Februari 2024; Accepted: 15 Maret 2024

Abstrak: Pada zaman perang dunia, teknologi memiliki peranan penting untuk membawa kemenangan suatu negara dan aliansinya pada saat itu. Sudah menjadi tugas dari TNI untuk menjaga persatuan dan kesatuan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Salah satu sebab banyaknya korban adalah kurangnya teknologi untuk mengetahui arah asal tembakan dari lawan yaitu anggota KKB. Pada penelitian ini, perkembangan teknologi digunakan sebagai alat bantu untuk mempermudah dan meminimalisir terjadinya korban yang akan menyebabkan suatu kerugian pada TNI. Algoritma dari DoA (*Direction of Arrival*) dapat memberikan perkiraan arah datangnya suara tembakan yang cukup akurat. Dengan dikombinasikan dengan algoritma MUSIC (*Multiple signal Classification*), bisa memberikan informasi asal suara tembakan. Pada penelitian ini mendapatkan hasil informasi sudut kedatangan asal suara tembakan dan dapat mengetahui nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) nya. SNR digunakan untuk membandingkan sinyal informasi dengan noise yang terdapat pada sebuah transmisi. Pengukuran SNR dilakukan dengan cara melakukan pengukuran kekuatan sinyal dan pengukuran kekuatan sinyal noise yang sudah diatur. Hasil pengukuran nilai SNR untuk semua sudut memiliki nilai rata-rata 7,30 dB. Hasil tersebut berarti semakin tinggi nilai SNR, maka kualitas sinyal semakin baik dan nilai noise semakin kecil. Hasil penelitian ini juga menunjukkan tingkat keakuratan pendeteksian sudut kedatangan mencapai 99,21%.

Kata kunci: Algoritma MUSIC; DoA; SNR; Mikrofon Array.

1. Pendahuluan

Menjaga keutuhan dan persatuan suatu negara adalah menjadi salah satu tugas dari TNI. Terjadinya konflik antara KKB (Kelompok kriminal bersenjata) dan TNI belakangan ini menyebabkan banyak korban di pihak TNI. Salah satu penyebab banyaknya korban dari pihak TNI yaitu kurangnya teknologi yang mampu membantu TNI untuk mencegah timbulnya lebih banyak korban di TNI. TNI kesulitan untuk mencari dimana asal suara tembakan KKB yang berlimbung di hutan, dimana hutan tersebut sangat bagus untuk berkamuflase dan bersembunyi. Hutan yang ditumbuhi oleh banyak pepohonan dan juga sudut pandang yang luas juga menjadi salah satu faktor yang membuat TNI kesulitan mendeteksi asal suara tembakan. Untuk itu, pengembangan teknologi di bidang pertahanan terus diupayakan sebagai langkah untuk mencegah dan meminimalisir dampak konflik. Salah satunya yaitu dengan membuat sistem yang dapat mendeteksi asal suara tembakan pada perangkat gunshot.

Pengembangan teknologi di bidang pertahanan tidak hanya pada pengembangan alat pertahanan diri saja. Teknologi pencarian sudut kedatangan pada perangkat gunshot dirasa cukup

penting, mengingat terjadinya konflik saat ini di daerah yang cukup sulit bagi TNI untuk mengetahui darimana asalnya suara tembakan yang dilesatkan dan juga mengarah kemana tembakan tersebut. Penelitian yang akan dilakukan, akan sangat membantu pihak TNI dalam menjaga dan mengurangi jatuhnya korban lebih banyak lagi. Konflik tersebut tidak hanya menasar kepada TNI, melainkan dari warga sipil dan beberapa orang penting dengan berbagai profesi yang turut menjadi korban. Sampai dengan tahun 2022 total kasus KKB papua adalah sebanyak 90 kasus. Data korban yang dikutip dari [1], pada tahun 2021 sebanyak 34 korban dan 53 korban pada tahun 2022, yang berarti bahwa korban dari tahun ke tahun terus bertambah. Dengan kombinasi antara algoritma MUSIC dan deteksi sudut kedatangan dapat membantu untuk mendeteksi asal suara tembakan sehingga dapat mendeteksi sudut dari datangnya peluru yang ditembakkan oleh kelompok KKB Papua. Deteksi sudut kedatangan menggunakan algoritma MUSIC adalah salah satu metode yang menggunakan dasar dari estimasi sudut kedatangan.

Prinsip dasar dari algoritma MUSIC adalah dengan mengubah sinyal suara yang diterima oleh mikrofon menjadi bentuk data spasial. Data spasial ini kemudian diolah menggunakan teknik pemrosesan sinyal yang kompleks untuk mengestimasi sudut kedatangan sinyal suara. Dalam pemrosesan sinyal, algoritma MUSIC memanfaatkan perhitungan spektrum frekuensi dari sinyal suara yang diterima oleh mikrofon. Pada beberapa riset, algoritma MUSIC sukses digunakan sebagai algoritma untuk meningkatkan akurasi serta kecepatan deteksi sumber suara tembakan pada gunshot. Perbandingan dengan algoritma ESPRIT, setelah ujicoba didapatkan hasil bahwa algoritma MUSIC lebih akurat daripada algoritma ESPRIT. Akan tetapi, algoritma MUSIC juga mempunyai batasan dalam penggunaannya, salah satunya yaitu bergantung pada jumlah mikrofon yang digunakan sebagai penangkap suara tembakan yang sangat rentan terhadap noise di area tersebut. Salah satu keunggulan dari algoritma MUSIC ialah memiliki dua space, yaitu space utama atau subspace dimana space ini berisi informasi penting yang akan diproses dan space tempat noise yang tidak digunakan. Keunggulan algoritma MUSIC dibandingkan dengan algoritma lain seperti ESPRIT adalah algoritma MUSIC memiliki persentase kesalahan estimasi yang lebih kecil, kurang dari 1 derajat. Algoritma MUSIC memiliki probabilitas perkiraan yang jauh lebih baik daripada ESPRIT[2].

Algoritma MUSIC sering digunakan pada pemrosesan sinyal digital. Contohnya adalah pada bidang sonar dan radar. Algoritma MUSIC pada bidang sonar dan radar digunakan untuk menentukan posisi dan arah kedatangan suatu pesawat agar tidak terjadi hal yang tidak diinginkan meskipun penggunaan algoritma MUSIC pada lingkungan yang banyak noise serta interferensi. Contoh lain penggunaan algoritma MUSIC adalah pada bidang antenna yang digunakan sebagai algoritma yang berfungsi untuk mencari arah datangnya sinyal. Relevansi algoritma MUSIC untuk digunakan pada deteksi sudut kedatangan gunshot karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu tingkat akurasi yang tinggi dan kemampuan untuk menangani interferensi yang terdapat di lingkungan sekitar ujicoba sangat penting untuk deteksi gunshot yang akurat. Kemampuan untuk memperkirakan jumlah sumber sinyal suara juga penting untuk deteksi gunshot, di mana terdapat kemungkinan beberapa tembakan yang ditembakkan secara bersamaan dan dapat mengurangi adanya sinyal suara tembakan yang tidak terproses.

Algoritma MUSIC didasarkan pada spektrum spasial. Dengan bantuan orthogonality, sinyal dipisahkan pada 2 ruang, ruang sinyal suara dan ruang sinyal noise. Kemudian dengan bantuan FFT, spektrum dari algoritma MUSIC dihitung dan diestimasi, lalu diperoleh arah kedatangan dengan mencari puncak dari spektrum[3]. Matriks X dari sensor array ialah l dengan n matriks dimana l ialah jumlah dari sensor dan n melambangkan jumlah snapshots yang diambil[4]. Setelah semua data diperoleh, selanjutnya akan dibuat manifold spektrum, dimana gambaran yang berbentuk grafis dari hasil pengolahan sinyal. Eigenvalue digunakan untuk menentukan sudut kedatangan sinyal atau suara tembakan dan Eigenvector digunakan untuk membuat spektrum manifold. Nilai eigen yang paling signifikan akan digunakan untuk menentukan sudut kedatangan sinyal. Setelah itu estimasi DoA dapat diperoleh dengan memilih puncak dari frekuensi sinyal tersebut. Puncak dari frekuensi tersebut terindikasi sebagai sudut kedatangan dari suara gunshot yang ditembakkan. Pada penelitian

ini akan dilakukan simulasi desain sistem estimasi sudut kedatangan asal suara tembakan menggunakan software MatLab. Selanjutnya digunakan parameter DoA dan SNR untuk mengukur kualitas sinyal yang diterima oleh mikrofon.

Usulan yang dapat dilakukan pada penelitian ini yaitu pengembangan algoritma MUSIC yang dioptimalkan, sehingga dapat memproses sinyal suara tembakan secara lebih baik dan akurat. Selanjutnya bisa dengan melakukan penilaian terhadap kinerja algoritma ini. Penilaian kinerja dari algoritma ini dinilai sangat penting untuk dapat mengetahui seberapa fungsi / bekerja algoritma ini sesuai dengan penelitian ini. Pengembangan sistem deteksi gunshot yang lebih baik, tentunya dengan penggunaan algoritma MUSIC akan dinilai sangat efektif karena keandalannya dalam menghadapi tantangan terbesar dalam pengaplikasiannya yaitu interferensi *noise*. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan keandalan deteksi gunshot.

2. Bahan dan Metode

2.1 Perangkat Lunak

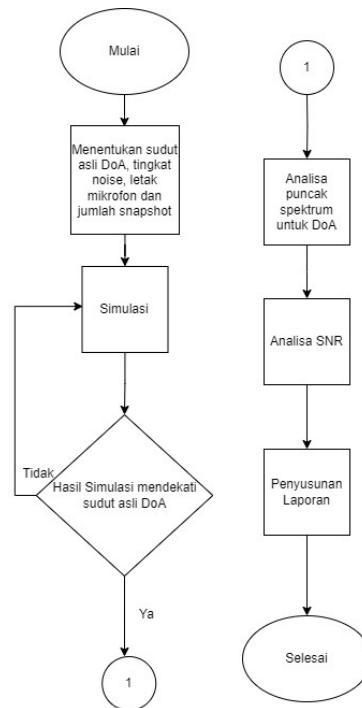
Pada sub-bab ini akan dibahas metode serta bahan-bahan pendukung utama penelitian. Perangkat lunak yang digunakan adalah aplikasi Matlab. Matlab yang digunakan pada penelitian ini menggunakan matlab R2019a. Matlab adalah software yang dikembangkan oleh MathWorks yang populer digunakan untuk melakukan pemrosesan data. Matlab memiliki kode sintaks yang mudah dipahami, sehingga banyak digunakan oleh peneliti, insinyur, dan ilmuwan untuk menciptakan suatu pemodelan dari data-data yang berupa matriks, grafik, bahkan antarmuka pengguna.

2.2 Perangkat Uji Coba

Perangkat uji coba yang digunakan pada penelitian ini adalah gunshot. Gunshot adalah suara tembakan dari senjata api seperti pistol, meriam, atau senapan. Suara gunshot identik dengan suara ledakan yang keras dan dapat dengan mudah dikenali. Hasil perubahan suara dari gunshot dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, jenis senjata, amunisi, dan lingkungan tempat gunshot ditembakkan. Deteksi sudut kedatangan pada penelitian ini adalah bidang penelitian yang digunakan untuk membantu menjaga keamanan suatu daerah atau negara dengan memudahkan untuk mengetahui asal suara tembakan dengan mendeteksi sudut kedatangan suaranya. Sampel suara yang digunakan berupa sinyal suara yang dibuat secara otomatis oleh sistem. Gunshot memiliki ciri khas sinyal suara yang keras dan memiliki frekuensi yang tinggi, frekuensi tinggi tersebut menyebabkan bentuk sinyal yang memiliki bentuk Suara tersebut memiliki kekuatan sinyal acak yang dibuat sebanyak jumlah snapshot dan sistem secara otomatis akan memilih hasil yang paling bagus antara tingkat keakuratan sudut dan juga nilai dari SNR. DoA adalah salah satu bagian penting pada pemrosesan sinyal yang banyak digunakan pada komunikasi nirkabel, navigasi, sonar, radar, dan astronomi radio.[8]

2.3 Metode Penelitian

Dalam bab ini, akan dijelaskan metodologi penelitian yang digunakan dalam analisis algoritma MUSIC untuk deteksi sudut kedatangan pada perangkat gunshot. Metodologi ini akan memberikan arahan tentang bagaimana penelitian ini dilakukan, termasuk pengumpulan data, proses analisis, dan evaluasi hasil. Software Matlab digunakan untuk perancangan simulasi penelitian ini. Berikut flowchart alir penelitian berdasarkan topik penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Berikut penjelasan mengenai alur dari flowchart tahapan penelitian ini.

1. Simulasi dilakukan dengan menentukan parameter-parameter yang akan digunakan pada simulasi, seperti sudut yang akan digunakan, jumlah mikrofon, tingkat noise, jumlah snapshot, dan jarak mikrofon. Simulasi awal dilakukan untuk menentukan parameter – parameter yang akan digunakan dengan tujuan untuk mengetahui dan menguji kinerja dari sistem. Adapun parameter – parameter yang digunakan sebelum simulasi awal dijalankan. Parameter tersebut digunakan agar sistem memberikan hasil sesuai tujuan penelitian ini. Setelah menjalankan simulasi awal, maka selanjutnya akan dilakukan proses untuk menentukan nilai – nilai dari parameter agar hasil sesuai dengan tujuan penelitian dan dapat memberikan hasil yang bervariasi, hasil uji coba sistem tersebut digunakan untuk mempertajam analisis. Hasil analisis yang tajam dapat mempermudah penelitian yang akan dilakukan selanjutnya sesuai dengan inti dari penelitian ini yaitu DoA dan algoritma MUSIC.

2. Selanjutnya menentukan letak dan penyusunan mikrofon array. Secara singkat, mikrofon array merupakan sekelompok mikrofon yang berjumlah lebih dari 1, yang disusun dengan pola tertentu. Penyusunan Mikrofon array bertujuan untuk meningkatkan hasil, kualitas, serta ketepatan penerimaan sinyal suara. Menentukan letak serta susunan mikrofon array dapat didasari oleh beberapa hal, seperti lingkungan sekitar, distribusi sumber suara, serta tujuan dari penelitian. Pada penelitian ini, nilai jarak dan letak antar mikrofon sudah ditentukan berdasarkan hasil simulasi awal, yang mana selisih jarak antar mikrofon yang digunakan pada penelitian ini dipilih pada nilai optimal yang dapat mempengaruhi hasil yang didapatkan.

3. Setelah itu dilakukan simulasi pada software Matlab dengan menggunakan kode syntax. Kode syntax yang digunakan untuk mencari hasil sudut dan nilai SNR. Pencarian kedua hasil tersebut dilakukan dengan perubahan nilai pada parameter – parameter yang sudah ditetapkan.

4. Setelah dilakukan proses simulasi, selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap hasil simulasi untuk meninjau sejauh mana perbedaan antara sudut yang diperoleh dari hasil simulasi dan sudut yang sebenarnya. Tahap ini adalah tahap penting untuk mengamati dan mengevaluasi kinerja dari sistem. Jika kinerja dari sistem baik dan sesuai dengan apa yang ingin diperoleh, maka akan dilanjutkan simulasi dengan parameter yang berbeda. Jika pada tahap ini sudut yang dihasilkan memiliki perbedaan yang terlalu jauh ataupun tidak sesuai, maka akan dilakukan simulasi ulang

yang bertujuan untuk mencari hasil yang terbaik pada penggunaan variasi – variasi dari parameter yang sudah ditentukan.

5. Tahap ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian data yang dihasilkan dengan penggunaan parameter yang telah ditetapkan sebelumnya. Jika data tersebut sesuai dengan apa yang dicari, maka dilanjut pencarian sudut kedatangan sesuai yang merujuk pada gambar plot dengan hasil gelombang spektrum. Pada gambar plot dari hasil tersebut, akan dicari titik maksimum atau titik tertinggi pada hasil gelombang. Jika diperoleh puncak dari gelombang tersebut yang berjumlah lebih dari satu puncak, maka akan dipilih salah satunya. Puncak dari gelombang tersebut adalah asal datangnya suara atau DoA.

6. Langkah selanjutnya setelah mengetahui sudut datangnya suara adalah dilakukan proses analisis nilai SNR. SNR yang dicari pada uji coba ini adalah SNR dengan nilai positif karena SNR merupakan parameter yang penting untuk menentukan kualitas dari sinyal yang dihasilkan.

2.4. Parameter yang digunakan

Parameter – parameter yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2 pada penelitian ini untuk pembangkitan sinyal adalah sebagai berikut:

1. Input sudut datangnya sinyal suara tembakan merupakan gambaran dari sudut sinyal suara tembakan yang sebenarnya. Sudut tersebut ialah sudut yang menjadi acuan dalam menentukan tingkat keakuratan pada program uji coba ini.
2. Jumlah sinyal input dapat diganti dengan catatan jumlah elemen lebih banyak dari jumlah sinyal ($N < M$) untuk menghindari terjadinya sinyal yang tidak diproses pada satu kali uji coba.
3. Amplitudo pada data yang dikirimkan dapat dilihat pada variabel (S).
4. Batasan SNR untuk simulasi uji coba ini adalah lebih dari 0dB dan nilai maksimal 20dB.
5. Sudut θ berkisar dari 0° sampai 180° . Akan tetapi sudut 0° tidak dilakukan uji coba.

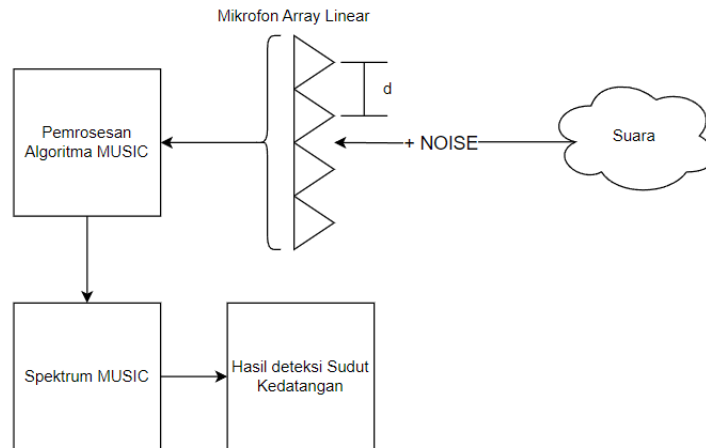
2.4.1 Pembangkitan Sinyal Suara

Diawal simulasi hal yang terlebih dahulu dilakukan adalah pembangkitan sinyal suara tembakan dengan perintah audioread pada software matlab. Untuk penambahan sinyal suara yang digunakan pada penelitian ini, perlu menggunakan file .wav dan ditambahkan dengan noise agar simulasi berjalan seperti nyata pada implementasi yang sebenarnya. Berikut kode matlab untuk membuat sinyal suara dan penambahan noise. Sampel suara yang digunakan berupa sinyal suaradengan ekstensi .wav yang diambil dari website. Jenis senjata yang digunakan ada 3 jenis, yaitu AK-12, DesertEagle, dan MP5. Senjata tersebut memiliki jenis dan suara yang berbeda - beda.[10]

2.4.2 Tingkat Noise

Noise yang digunakan sebagai salah satu parameter uji coba, akan digunakan juga sebagai parameter untuk mengetahui nilai SNR yang didapatkan. Tingkat noise pada uji coba ini nilai nya dapat diatur sesuai kebutuhan penelitian yang akan dilakukan. Noise akan ditambahkan pada saat sinyal ditransmisikan dan sebelum diterima oleh mikrofon. Setelah sinyal suara yang sudah ditambahkan dengan noise, maka sinyal gabungan tersebut akan diterima oleh mikrofon.

2.4.3 Pemodelan Simulasi



Gambar 2. Pemodelan Simulasi

Mikrofon mendeteksi adanya sinyal suara tembakkan sebanyak jumlah dari snapshot, lalu ditambahkan noise sesuai dengan tingkatan noise yang sudah diatur sebagai parameter uji untuk algoritma MUSIC. Mikrofon array sebagai penerima sinyal suara, akan ditentukan jaraknya sebagai parameter uji coba. Lalu dilakukan pemrosesan sinyal suara dengan menggunakan algoritma MUSIC. Hasil akan didapatkan berupa puncak sinyal pada suatu sudut untuk menggambarkan sinyal yang datang berasal dari sudut tersebut

2.4.4 Perancangan Pengujian

Perancangan pengujian dibuat tabel beberapa parameter yang dapat mempengaruhi hasil dari sudut kedatangan (target). Sudut sinyal suara memakai satu sudut saja, tetapi dengan parameter yang dikombinasi sehingga menghasilkan variasi yang banyak. Sudut yang dipakai sudah cukup mewakili beberapa sudut lain karena nilai sudut tidak berpengaruh pada hasil SNR dan presentase keakuratan. Sudut yang digunakan yaitu 45° , 90° , 135° , dan 180° . Dengan penggunaan beberapa sudut ini, dimaksudkan untuk mencari hasil yang dapat menggambarkan seberapa baik penggunaan algoritma MUSIC dapat mengestimasi sudut kedatangan pada berbagai sudut atau arah. Pemilihan sudut tersebut merupakan sudut – sudut yang menjadi representasi dari sudut – sudut yang berlawanan arah dari sudut yang digunakan.

Untuk menggambarkan kondisi uji coba yang sebenarnya atau nyata, maka akan ditambahkan dengan noise yang umum digunakan. Jenis noise yang umum digunakan yaitu noise dengan jenis AWGN. Noise ini memberikan pengaruh penurunan tingkat kualitas sinyal yang diterima oleh mikrofon. Noise memberikan ujian tambahan untuk algoritma MUSIC. Tingkat noise yang digunakan akan memiliki sebanyak 3 variasi. Variasi tingkat noise yang digunakan membantu memahami akan kinerja dari algoritma MUSIC dapat bekerja meskipun terpengaruh oleh noise.

Mikrofon sebagai penerima sinyal suara dengan menggunakan mikrofon yang digunakan sebanyak 4 buah dengan jarak mikrofon yang diatur yaitu 0,5. Jarak mikrofon yang digunakan adalah dalam satuan lambda (panjang gelombang). Variasi jarak antar mikrofon juga dapat membantu memahami bagaimana dampak variasi dari jarak antar mikrofon dapat berpengaruh kepada kinerja algoritma MUSIC. Susunan mikrofon memiliki peran penting untuk meningkatkan hasil yang ingin didapatkan, penggunaan jumlah serta susunan mikrofon yang tepat akan memiliki hasil yang optimal sesuai dengan penggunaannya.[9] Variasi dari snapshot juga digunakan pada uji coba ini

untuk mencari sudut paling akurat dan nilai SNR paling bagus pada satu kali program dijalankan. Jumlah snapshot yang digunakan memiliki 3 variasi dengan nilai yang berbeda beda.

3. Hasil

3.1 Hasil pengukuran sudut dan keakuratan sudut

Hasil dari pengolahan data pada sub bab sebelumnya, dapat diperoleh hasil tingkat keakuratan dari algoritma MUSIC dan nilai SNR sesuai dengan kombinasi dari parameter yang digunakan. Hasil pengolahan data pada semua sudut uji coba ditunjukkan pada tabel 2 sampai tabel 5 yang merupakan tabel hasil dari uji coba yaitu sudut 45°, 90°, 135°, 180°.

Tabel 1. Hasil uji coba Algoritma MUSIC

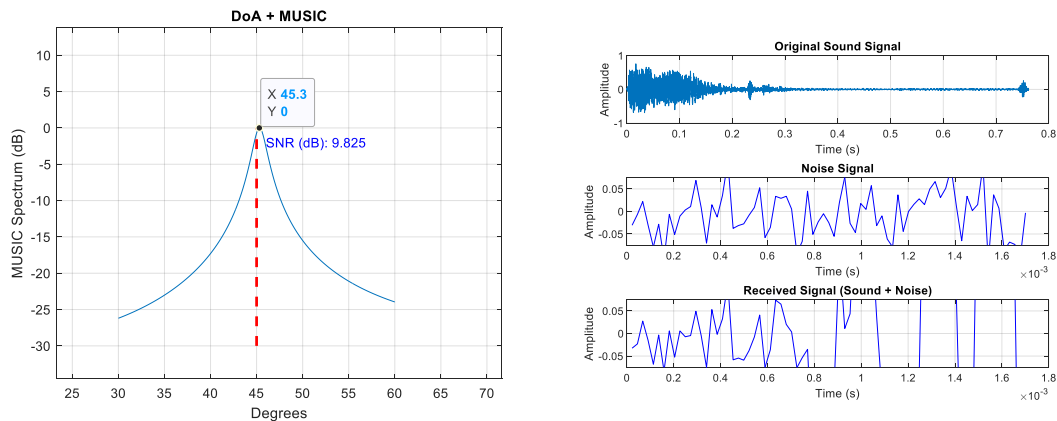
Parameter					Sudut 45°		Sudut 90°		Sudut 135°		Sudut 180°		
Jumlah mikrofon	Jarak antar mikrofon	Jenis Senjata	Tingkat Noise(%)	Snap Shot	Hasil Sudut	Tingkat Keakuratan	Hasil Sudut	Tingkat Keakuratan	Hasil Sudut	Tingkat Keakuratan	Hasil Sudut	Tingkat Keakuratan	
4	0,5	AK-12	0,05	75	45,3	99,34%	90	100,00%	134,4	99,56%	180,4	99,36%	
				100	44,4	98,67%	90	100,00%	134,5	99,63%	179,5	99,72%	
				125	45,2	99,56%	90	100,00%	134,9	99,93%	180,2	99,56%	
			0,1	75	45,5	98,90%	90	100,00%	134,4	99,56%	179,4	99,67%	
				100	44,5	98,89%	90	100,00%	134,8	99,85%	180,4	99,36%	
				125	44,9	99,78%	90	100,00%	134,8	99,85%	180,1	99,88%	
			0,15	75	46,5	96,70%	90	100,00%	134,3	99,48%	181,5	96,70%	
				100	46,2	97,36%	90	100,00%	135,5	98,89%	180,4	99,36%	
				125	45,4	99,36%	90	100,00%	134,6	99,70%	180,3	99,34%	
			Desert Eagle	0,05	75	45,6	98,67%	90	100,00%	135,5	98,89%	180,6	98,67%
					100	44,8	99,56%	90	100,00%	135,5	98,89%	179,7	99,83%
					125	44,9	99,78%	90	100,00%	134,8	99,85%	179,9	99,94%
		0,1		75	44,2	98,22%	90	100,00%	135,5	98,89%	179,3	99,61%	
				100	45,7	98,44%	90	100,00%	135,4	99,36%	180,6	99,56%	
				125	45,5	98,89%	90	100,00%	135,2	99,56%	179,9	99,94%	
		0,15		75	46,1	98,12%	90	100,00%	134,3	99,48%	180,8	98,22%	
				100	45,6	98,67%	90	100,00%	135,5	98,89%	180,6	98,67%	
				125	44,8	99,56%	90	100,00%	134,7	99,78%	180,2	99,56%	
		MP5		0,05	75	45,5	98,89%	90	100,00%	133,9	99,19%	181,1	97,58%
					100	43,9	97,56%	90	100,00%	134	99,26%	181,1	97,58%
					125	44,4	98,67%	90	100,00%	134,8	99,85%	179,9	99,94%
			0,1	75	44,3	98,44%	90	100,00%	134	99,26%	181,4	99,36%	
				100	45,8	98,22%	90	100,00%	134	99,26%	180,5	98,89%	
				125	45,1	99,88%	90	100,00%	134,6	99,70%	180,4	99,36%	
			0,15	75	45,9	98,02%	90	100,00%	138,1	93,18%	180,6	98,67%	
				100	44,3	98,44%	90	100,00%	137,4	94,72%	180,3	99,34%	
				125	44,5	98,89%	90	100,00%	136,1	97,58%	179,9	99,94%	

3.2 Hasil pengukuran SNR

Tabel 2 merupakan tabel hasil uji coba Algoritma MUSIC pada 4 sudut, yaitu sudut 45°, 90°, 135°, dan 180°. Parameter uji coba yang digunakan ada jumlah mikrofon, jarak antar mikrofon, jenis senjata, tingkat noise (%), dan jumlah *snapshot*. Rata-rata keakuratan uji coba sebesar 99,21% menunjukkan konsistensi dalam mengidentifikasi arah kedatangan sinyal. Dengan tingkat keakuratan yang tinggi ini memperkuat pemilihan algoritma MUSIC untuk deteksi sudut kedatangan atau DoA (Direction of Arrival) bisa dikatakan tepat, hal itu bisa dilihat dari hasil keakuratan sudut yang dihasilkan. Dengan demikian, hasil simulasi ini memberikan dasar kuat bagi penggunaan algoritma MUSIC untuk uji coba lebih lanjut.

Tabel 2. Hasil uji coba pengukuran SNR

Parameter					Sudut 45	Sudut 90	Sudut 135	Sudut 180
Jumlah mikrofon	Jarak antar mikrofon	Jenis Senjata	Tingkat Noise(%)	<i>Snapshot</i>	SNR (dB)			
4	0,5	AK-12	0,05	75	9,82	9,35	9,5	10,26
				100	11,29	10,8	11,34	10,79
				125	11,96	11,5	12,18	12,28
			0,1	75	3,49	4,05	3,87	3,72
				100	5,28	5,19	4,7	5,25
				125	5,86	5,77	5,75	6,1
			0,15	75	0,019	0,63	0,23	0,4
				100	1,71	1,5	1,79	1,66
				125	2,27	2,03	1,9	2,28
		Desert Eagle	0,05	75	10,32	10,7	10,54	10,78
				100	11,91	11,31	11,82	11,84
				125	11,58	11,81	11,69	11,43
			0,1	75	4,41	4,45	4,63	4,41
				100	5,84	5,48	5,89	6,06
				125	5,27	5,79	5,39	5,58
			0,15	75	1,01	1,15	1,14	1,18
				100	2,72	2,41	2,45	1,91
				125	1,51	2,01	1,91	1,92
		MP5	0,05	75	13,33	12,57	13,01	12,65
				100	15,42	15,66	16,83	16,59
				125	16,65	16,58	16,7	17,07
			0,1	75	7,02	6,65	6,91	7,37
				100	10,31	9,1	10,04	10,1
				125	10,71	10,71	10,8	10,67
			0,15	75	3,49	3,28	3,12	3,41
				100	6,85	5,59	6,92	6,58
				125	7,41	6,92	7,46	7,46



Gambar 3. Hasil simulasi pengukuran sudut dan SNR algoritma MUSIC

Setelah dilakukan simulasi, diperoleh hasil rata-rata nilai SNR dari tiap sudut yaitu 45° , 90° , 135° , 180° , ditunjukkan Gambar 3. Dimana hasil tersebut terbilang sangat baik dengan hasil rata-rata nilai SNR semua sudut mencapai 7,30 dB. Nilai tersebut berarti algoritma ini memiliki kemampuan yang baik dalam mengatasi noise yang mengakibatkan menurunnya tingkat keakuratan yang didapatkan. Jadi sinyal informasi yang didapatkan masih bisa teridentifikasi untuk menentukan sudut kedatangan dari sinyal suara tersebut. Rata-rata nilai SNR dari tiap sudut yang didapatkan terbilang konsisten. Hal tersebut sangat baik, mengingat variasi dari sudut dan parameter yang digunakan cukup bervariasi. Ini menjadi penting bahwa sistem dapat mengatasi perubahan data-data maupun nilai parameter yang digunakan dapat diatasi dengan baik. Dengan demikian, hasil ini memberikan efek positif pada penggunaan algoritma MUSIC bahwa dapat menghasilkan dan menjaga kualitas sinyal meskipun terganggu oleh noise.

4. Diskusi

Kombinasi antara beberapa parameter yang digunakan, dapat diperoleh hasil yang bervariasi. Parameter tersebut memberikan pengaruh kepada hasil keakuratan sudut dan nilai SNR. Berikut beberapa parameter serta pengaruhnya kepada hasil penelitian ini. Tingkat keakuratan sudut paling tinggi berada pada sudut 90° dengan tingkat akurasi 100%. Tingkat keakuratan sudut paling rendah berada pada sudut $93,18\%$ berada pada variasi parameter dengan tingkat noise 15% , jumlah snapshot 75 dan tipe senjata MP5. Sedangkan pada SNR nilai paling bagus dengan nilai 16,83 dB ditunjukkan pada hasil uji coba dengan jenis senjata MP5 dan tingkat noise 0,05, dengan jumlah snapshot 100 pada sudut 135° . Dan nilai SNR paling rendah ditunjukkan pada sudut 45° dengan nilai SNR mencapai 0,0019 dB.

- Tingkat Noise

Tingkat noise berpengaruh signifikan kepada nilai SNR yang dihasilkan. Nilai SNR yang baik dapat diperoleh juga dari sinyal kuat yang diterima oleh mikrofon, karena pada penelitian ini tingkat noise ditetapkan. Tingkat noise paling tinggi pada penelitian ini dikombinasikan dengan jumlah snapshot yang rendah menghasilkan tingkat keakuratan sudut paling rendah yaitu 93,18%. Sedangkan untuk nilai SNR paling rendah yaitu 0,0019 dB yang berarti simulasi ini masih layak untuk dilanjutkan dengan catatan untuk data sampel suara dengan nilai SNR paling rendah yaitu AK-12 bisa digantikan dengan sampel suara senjata yang lain tetapi masih memiliki jenis yang sama yaitu assault rifle. Pada tingkat noise paling rendah menghasilkan estimasi sudut serta nilai SNR paling bagus diantara variasi noise lainnya. Hal ini disebabkan karena noise tidak terlalu memberikan pengaruh pada pemrosesan sinyal. Tingkat noise paling tinggi menyebabkan dampak yang sangat berpengaruh pada hasil SNR. Hasil SNR paling rendah disebabkan oleh tingkat noise paling tinggi dan jumlah snapshot paling rendah. Nilai SNR paling rendah ditunjukkan pada variasi senjata AK-12 dengan parameter tingkat noise 15%, jumlah snapshot 75 pada sudut 45° . Sedangkan nilai SNR paling bagus ditunjukkan pada uji coba pada senjata MP5 dengan tingkat noise paling

rendah yaitu 5%, dan jumlah snapshot paling banyak yaitu 125. Nilai SNR pada percobaan ini tidak ada yang bernilai negatif, maka dari itu percobaan ini layak untuk dijalankan karena sinyal suara lebih mendominasi daripada nilai noise.

- Snapshot

Snapshot berpengaruh juga kepada nilai SNR dan tingkat keakuratan sudut. Pengaruh tersebut dikarenakan sinyal yang dibuat pada tiap simulasi berbeda-beda. Nilai SNR dan tingkat keakuratan paling baik pada tiap uji coba akan ditampilkan pada plot. Semakin banyak jumlah snapshot semakin baik tingkat keakuratan serta nilai SNR nya. Tingkat keakuratan dengan jumlah snapshot paling banyak memperoleh hasil keakuratan lebih dari 99%. Nilai snapshot yang semakin banyak memungkinkan untuk memperoleh hasil pada tiap simulasinya menjadi lebih baik, karena pada suatu nilai snapshot memiliki hasil yang berbeda-beda meskipun dengan nilai parameter lainnya yang berbeda-beda.

- Jenis Senjata

Sampel suara yang berasal dari tiap senjata yang digunakan berpengaruh pada hasil tingkat keakuratan serta nilai SNR, dikarenakan tiap sampel suara memiliki kualitas sinyal suara serta noise bawaan dari sampel suara yang berbeda juga. Pada penelitian ini jenis senjata yang memiliki hasil keakuratan sudut serta nilai SNR adalah jenis senjata MP5 dengan golongan SMG(sub machine gun). Sedangkan jenis senjata AK-12 memiliki hasil yang paling rendah dalam hal keakuratan sudut serta nilai SNR. Hal tersebut dikarenakan sampel suara dari AK-12 memiliki noise yang cukup signifikan. Dapat didengar dari sampel suara yang dimainkan, terdapat noise berupa efek dari suara tembakan maupun dari lingkungan sekitar saat pengambilan sampel suara.

Jadi, beberapa parameter diatas dapat mempengaruhi hasil jika parameter tersebut tidak menggunakan nilai yang ideal. Parameter-parameter yang digunakan saling terhubung untuk dapat mempengaruhi nilai SNR dan tingkat keakuratan yang dihasilkan setelah melalui pemrosesan sinyal digital.

5. Kesimpulan

Algoritma MUSIC mempunyai kemampuan yang cukup baik dalam membantu untuk mencari sudut kedatangan sinyal suara. Seperti yang ditunjukkan pada bab sebelumnya, algoritma MUSIC memiliki tingkat keakuratan mencapai 99,21% yang membuktikan bahwa algoritma ini mampu memberikan tingkat keakuratan yang cukup baik. Tingkat keakuratan yang tinggi ini membuktikan bahwa algoritma tersebut mampu untuk menangani noise dengan cukup baik. Dengan nilai SNR yang tergolong bagus mencapai nilai rata-rata 7,30 dB. Hal itu menggambarkan bahwa algoritma MUSIC berfungsi dengan baik untuk memisahkan antara sinyal suara dan noise, yang menjadikan algoritma MUSIC dapat diandalkan untuk mengendalikan noise yang dapat mempengaruhi sinyal suara. Adanya fungsi dari ruang noise pada algoritma MUSIC terbukti membantu dalam meningkatkan ketepatan identifikasi sudut DoA. Pengaruh tingkat noise dapat mengurangi keakuratan pada sudut DoA. Pengaruh noise juga dapat dilihat pada nilai SNR. Nilai SNR yang semakin kecil menunjukkan bahwa kekuatan noise pada uji coba kali ini mempengaruhi sinyal suara dan akurasi dari sudut DoA. Jumlah snapshot dapat mempengaruhi tingkat akurasi sudut dan tingkat ketajaman pada ujung spektrum. Jenis senjata juga mempengaruhi hasil dari keakuratan sudut dan juga nilai SNR. Sampel suara yang tergolong kurang baik akan mendapatkan hasil yang kurang baik juga.

Referensi

- [1] Jonh Roy Purba, "53 Orang Tewas Akibat Ulah KKB Papua Selama 2022, 2021 Sebanyak 34 Orang Baca artikel detiknews, '53 Orang Tewas Akibat Ulah KKB Papua Selama 2022, 2021 Sebanyak 34 Orang' selengkapnya <https://news.detik.com/berita/d-6486149/53-orang-tewas-akibat-ulah-kkb-papua-selama-2022-2021-sebanyak-34-orang,>" detikNews.
- [2] C.-B. Ko and J.-H. Lee, "Performance of ESPRIT and Root-MUSIC for Angle-of-Arrival(AOA) Estimation," in *2018 IEEE World Symposium on Communication Engineering (WSCE)*, IEEE, Dec. 2018, pp. 49–53. doi: 10.1109/WSCE.2018.8690541.
- [3] M. M. Gunjal and A. A. B. Raj, "Improved Direction of Arrival Estimation Using Modified Music Algorithm," in *2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, IEEE, Jun. 2020, pp. 249–254. doi: 10.1109/ICCES48766.2020.9137982.
- [4] C. B. Muhammad, H. Wijanto, and A. D. Setiawan, "ANALISIS PENCARIAN SUDUT KEDATANGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA MUSIC UNTUK ADAPTIVE BEAMFORMING," *Jurnal TEKTRIKA*, Vol.3, No.2, Juli 2018.
- [5] S.-H. Jeong, B. Son, and J.-H. Lee, "Asymptotic Performance Analysis of the MUSIC Algorithm for Direction-of-Arrival Estimation," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 6, p. 2063, Mar. 2020, doi: 10.3390/app10062063.
- [6] R. M. Untsa, G. Hendratoro, and P. Handayani, "Clutter Mitigation Technique on OFDM MIMO Radar," in *2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIIIT)*, IEEE, Mar. 2019, pp. 145–150. doi: 10.1109/ICAIIIT.2019.8834528.
- [7] Mei JZhou PXiong X et al, "DOA Estimation Method for Ultra-Wide-Band Insect Radar Based on Variable Conical Conformal Array: Adjustable MUSIC Algorithm" in *2022 Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi, Volume 2022, Article ID 9443023, 10 pages. doi: 10.1155/2022/9443023
- [8] Zhang ZZhao WHuang Y et al, "Implementation of DOA Estimation System Based on HackRF One", in *2022 International Journal of Antennas and Propagation*, Hindawi, Volume 2022, Article ID 7901714, 12 pages. doi: 10.1155/2022/7901714
- [9] Ali Movahed, Thomas Waschkies, and Ute Rabe, "Air Ultrasonic Signal Localization with a Beamforming Microphone Array", in *2019 Advances in Acoustics and Vibration*, Hindawi, Volume 2019, Article ID 7691645, 12 pages, doi: 10.1155/2019/7691645
- [10] Emrah Aydemir, "Gunshot Audio Dataset," Kaggle, Jan. 8, 2024. [Online]. Available:<https://www.kaggle.com/datasets/emrahaydemr/gunshot-audio-dataset>
- [11] Georgios K. Papageorgiou, Mathini Sellathurai, and Yonina C, "Deep Networks for Direction-of-Arrival Estimation in Low SNR", in *2021 Transactions on Signal Processing*, IEEE, June. 2021, pp. 3714 – 3729. doi: 10.1109/TSP.2021.3089927
- [12] R. Untsa, F. Akbar, H. Briantoro, N. Rachmaningrum, and H. Mustakim, "Filter Least Mean Square (LMS) untuk Mengurangi Noise pada Sinyal Suara Tembakan", *CENTIVE*, vol. 3, no. 1, pp. 104-112, Dec. 2023.

