

Material Lapisan Anti-Radar untuk Menyamarkan Kawasan Strategis dan Sarana Pendukung Militer (Markas TNI, Hanggar pesawat tempur, Hanggar Tank dan Gudang Amunisi)

Hadi Sulistiyo¹ Moh. Fakhruddin Farhan² Nadia Aurora Soraya³ Gathut Imam Gunadi⁴
Program Studi Industri Pertahanan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan
Republik Indonesia, Jakarta, Indonesia ^{1,2,3,4}

Email: hadi.sulistiyo@tp.idu.ac.id¹ moh.farhan@tp.idu.ac.id² nadia.soraya@tp.idu.ac.id³
gathut.gunadi@tp.idu.ac.id⁴

Abstrak

Kemajuan teknologi beriringan dengan kemajuan ancaman. Teknologi memudahkan kehidupan manusia, di samping itu muncul ancaman mengikuti perkembangan teknologi. Berkaitan dengan kawasan strategis nasional khususnya kawasan atau pangkalan militer dan sarana pendukungnya, teknologi bisa berperan dalam menjaga dan meningkatkan pertahanan dan keamanan dalam kegiatan-kegiatan berkaitan pertahanan negara. Namun teknologi juga bisa mengancam keamanan kawasan militer dan sarana pendukungnya yang berdampak pada pertahanan negara. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji rekayasa material anti radar yang dapat dipergunakan untuk menyamarkan kawasan militer dan sarana pendukungnya guna menghindari tangkapan atau deteksi radar musuh melalui studi kepustakaan yaitu dengan mengumpulkan informasi terkait topik bahasan yang ada pada buku, artikel ilmiah, dokumen, maupun berbagai sumber tertulis lainnya yang relevan terkait material lapisan anti-radar. Hasil penelitian pemanfaatan material komposit laminasi dengan lapisan berstruktur nano yang diaplikasikan pada struktur bangunan dengan energi radiasi datang pada 8 GHz hingga 12 GHz memungkinkan penetrasi radiasi elektromagnetik ke dalam material dengan penyerapan hingga sekitar 90% dari energi gelombang elektromagnetik yang datang dikarenakan adanya CNT yang digunakan dalam lapisan berstruktur nano berfungsi mengubah impedansi material, menjadi *Radar Absorbing Material (RAM)* yang efektif.

Kata Kunci: Kemajuan Teknologi, Kawasan Strategis, Militer, *Radar Absorbing Material (RAM)*

Abstract

Advances in technology go hand in hand with advances in threats. Technology facilitates human life, in addition, threats arise following technological developments. In relation to national strategic areas, especially military areas or bases and their supporting facilities, technology can play a role in maintaining and improving defense and security in activities related to national defense. However, technology can also threaten the security of military areas and their supporting facilities which have an impact on national defense. The purpose of this research is to examine the engineering of anti-radar materials that can be used to disguise military facilities, supporting facilities, and defense equipment to avoid the capture or detection of enemy radars through literature studies, namely by collecting information related to the topic of discussion in books, scientific articles, documents, and various other relevant written sources related to anti-radar coating materials. Studies on the use of laminated composite materials with nanostructured coatings applied to building structures at incident radiant energies between 8 GHz and 12 GHz have shown that up to about 90% of the incident electromagnetic energy can be absorbed, rendering the material radiant. can be passed through. This is due to the CNTs being used in nanostructured coatings that change the impedance of the material, making it an effective radar absorbing material (RAM).

Keywords: *Advances in technology, strategic areas, Radar Absorbing Material (RAM)*



This work is licensed under a [Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Kawasan dengan tata ruang yang mempengaruhi kepentingan nasional dan mengutamakan kedaulatan negara disebut sebagai kawasan strategis nasional. Menurut PP

Nomor 13 Tahun 2017, kawasan strategis nasional berdasarkan kepentingan pertahanan dan keamanan negara adalah kawasan pertahanan yang meliputi kawasan penunjang kegiatan militer, pangkalan militer, kawasan penunjang latihan militer, kawasan disposal alutsista, gudang amunisi atau arsenal, area untuk pengujian sistem pertahanan, area untuk pengembangan energi nuklir dan area untuk pengujiannya, serta perbatasan negara. Artinya kawasan strategis nasional diperuntukkan untuk kepentingan dalam menjaga keamanan dan pertahanan negara berdasarkan strategi geopolitik nasional. Dalam aplikasinya wilayah yang berhubungan dengan kegiatan militer mempunyai taraf keamanan yang tinggi. Hal ini dikarenakan Tentara Nasional Indonesia adalah komponen utama dalam sistem pertahanan negara. Di mana kawasan-kawasan militer menyimpan segala hal tentang komponen utama dalam melaksanakan tugas militer. Untuk itu keamanan dan kerahasiaan kawasan perlu disiasati agar tak mudah dideteksi musuh yang mengancam pertahanan negara. Apabila musuh mengetahui bagaimana titik-titik lokasi pertahanan negara maka akan semakin mudah pertahanan negara tersebut dilumpuhkan.

Bersamaan dengan kepentingan untuk menjaga kawasan strategis nasional, adanya teknologi deteksi radar memiliki dua mata pisau, membantu kegiatan operasi militer dan juga bisa mengancam kegiatan operasi tersebut. Kemajuan teknologi beriringan dengan kemajuan ancaman. Teknologi memudahkan kehidupan manusia dalam berkomunikasi hingga bernegara, di samping itu ancaman tumbuh mengikuti bagaimana perkembangan teknologi. Berkaitan dengan kawasan strategis nasional khususnya kawasan atau pangkalan militer, teknologi bisa berperan dalam menjaga dan meningkatkan keamanan pangkalan militer serta sarana pendukungnya dalam kegiatan-kegiatan berkaitan dengan pertahanan negara. Namun teknologi juga mengancam keamanan kawasan strategis nasional yang bisa berdampak pada pertahanan negara.

Teknologi *Radio Detection Ranging* (RADAR) menurut G.J. Sonnenberg ialah sistem elektromagnetik yang berguna untuk deteksi objek, pengukuran jarak, dan pemetaan, yang biasa digunakan pada peralatan seperti pesawat terbang, kapal laut, berbagai mobil, dan peralatan informasi cuaca. Adanya teknologi RADAR dapat mengancam pertahanan dan keamanan kawasan militer dan sarana pendukungnya. Karena bagi pihak yang menyerang, deteksi radar bisa membantu dalam mengarahkan bagaimana kegiatan operasi bisa berjalan maksimal dan menghancurkan musuh. Namun bagi yang diserang akan sangat mengancam karena keberadaan yang diketahui mengakibatkan musuh lebih mudah untuk menghancurkan. Sebagai upaya untuk mendukung pertahanan negara, keamanan dan kerahasiaan kawasan strategis nasional khususnya pada kawasan militer dan sarana pendukungnya perlu menjadi perhatian lebih untuk meningkatkan keamanan dan pertahanan negara.

Untuk mengantisipasi ancaman-ancaman yang ada, merahasiakan kawasan militer dan sarana pendukung yang berkaitan dengan pertahanan negara dari deteksi radar musuh perlu diupayakan dalam rangka mendukung pertahanan negara. Maka dari itu bisa dilakukan upaya dengan melakukan rekayasa material dengan menggunakan material anti radar seperti yang digunakan pada alat-alat pertahanan siluman yang tidak terdeteksi radar. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji rekayasa material anti radar yang dapat dipergunakan untuk menyamarkan fasilitas militer dan sarana pendukungnya guna menghindari tangkapan atau deteksi radar musuh untuk meningkatkan pertahanan negara.

METODE PENELITIAN

Menurut Sugiyono (2014), yang dimaksud penelitian kualitatif adalah suatu metode penelitian dimana seorang peneliti merupakan instrumen utama penelitian, dengan dasar *post positivisme/ interpreter* untuk melakukan penelitian pada obyek yang ilmiah. Selain itu, kombinasi metode pengumpulan data kualitatif dan induktif digunakan dalam analisis data.

Dengan kata lain bahwa penelitian kualitatif terpusat pada makna yang dikandungnya bukan pada generalisasinya. Pengumpulan data melalui studi kepustakaan yaitu dengan mengumpulkan informasi terkait topik bahasan yang ada pada buku, artikel ilmiah, dokumen, maupun berbagai sumber tertulis lainnya yang relevan terkait material lapisan anti-radar.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

a. *Radio Detection and Ranging (Radar)*

Menurut G.J. Soennenbreg, suatu perangkat elektronik yang digunakan untuk melakukan deteksi, melakukan peta berdasarkan jarak benda-benda yang terdeteksi yang pada umumnya terutama diinstal pada kapal laut, pesawat terbang dan berbagai kendaraan bermotor serta instrumentasi pemenuhan informasi terhadap kondisi cuaca buruk dikenal dengan RADAR atau *Radio Detection and Ranging*. Pada dasarnya Radar digunakan untuk pertama kali oleh US Navy pada tahun 1940, sedangkan di Inggris dikenal dengan sebutan RDF atau *Range and Direction Finding*. Peralatan tersebut berfungsi sebagai *radio direction finding* untuk yang digunakan sebagai penentu jarak atau *ranging capability*. Sistem radar terdiri dari *transmitter* dan *receiver* yang dapat diletakkan berdekatan pada lokasi yang sama. Perangkat yang berfungsi sebagai *transmitter* mengemisikan gelombang radio dengan nilai frekuensi dan daya tertentu. Ketika energi yang dihasilkan dari emisi gelombang radio mengenai suatu obyek, maka yang terjadi adalah pemantulan ke berbagai arah secara hambur atau *scattered*. Gelombang pantul tersebut sebagian dipantulkan balik (*reflected back*) dan diterima oleh *receiver* dengan sedikit terjadi perubahan pada nilai panjang gelombang (*wavelength*). Perubahan tersebut juga mengakibatkan perubahan frekuensi bahkan apabila suatu target berpindah dari posisi satu ke yang lainnya. Energi sinyal yang dihasilkan dari pantulan tersebut pada umumnya sangat lemah sehingga diperlukan suatu penguatan pada *receiver* tersebut (Rustamaji & Djaelani, 2011).

Radar digunakan sebagai alat navigasi pada wahana transportasi darat, laut dan udara baik untuk kepentingan sipil dan militer. Alat ini sangat mumpuni untuk mendeteksi suatu objek dan menampilkannya pada layar Radar. Sesuai perkembangan IPTEK modern Radar sudah sangat maju perkembangannya. Alat tersebut tidak hanya dipergunakan sebagai radar navigasi dalam memandu pergerakan wahana darat, laut maupun udara, namun sudah berkembang dan dipergunakan untuk berbagai fungsi seperti yang dikenal saat ini. Misalkan saja radar cuaca, radar pesawat untuk mendeteksi pesawat udara dan lain sebagainya. Pada pemanfaatan untuk operasi militer radar sangat *powerfull*, misalkan saja seperti radar pendeteksi rudal musuh dan pesawat *supersonic* sehingga akan diketahui datangnya bahaya serangan dari pihak musuh. Di bidang sipil misalkan saja dibidang astronomi, radar digunakan sebagai alat untuk mendeteksi dan melakukan pelacakan dari satelit atau wahana luar angkasa. Dibidang antariksa radar digunakan untuk membantu dalam melakukan pendaratan pesawat luar angkasa. Demikian banyak kegunaan radar dalam berbagai bidang pekerjaan dapat disebutkan seperti dibawah ini:

1. Sebagai alat penentu posisi suatu target dalam keadaan apapun, baik pada kondisi terang maupun gelap.
2. Sebagai alat Penentuan Baringan pada suatu target bergerak maupun dalam keadaan diam.
3. Sebagai alat Penentuan jarak terhadap suatu target dengan wahana berupa pesawat ataupun kapal.
4. Sebagai alat Penentuan jarak antara suatu target yang satu dengan target yang lain.
5. Menentukan posisi pesawat, kapal sendiri dengan tujuan untuk mengukur keakuratan GPS.
6. Menentukan pergerakan target yang bergerak.

7. Penentuan haluan dan kecepatan kapal sendiri.

Adapun jenis – jenis dari pada Radar adalah sebagai berikut :

1. *Doppler Radar*, jenis radar yang menggunakan efek Doppler untuk mengukur kecepatan radial objek yang memasuki area radar. Ini dilakukan dengan mengirimkan sinyal gelombang mikro (*microwave*) ke suatu objek, mendeteksi pantulannya dan menganalisis perubahannya. Radar Doppler adalah jenis radar yang mengukur kecepatan radiasi dengan sangat akurat. Contoh radar Doppler yaitu radar cuaca yang digunakan untuk mendeteksi cuaca.
2. *Bistatic Radar* adalah jenis sistem radar yang komponennya berupa pemancar sinyal (*transmitter*) dan penerima sinyal (*receiver*), dengan kedua komponen dipisahkan. Kedua komponen terpisahkan oleh jarak yang sebanding dengan jarak target/objek. Objek mampu terdeteksi dari sinyal yang dipantulkan dari objek ke pusat antena. Contoh *radar bistatic* adalah radar pasif. Radar pasif ialah sistem radar yang mendeteksi objek dengan memantulkan sumber cahaya yang tidak kooperatif di lingkungan. Contohnya yaitu penyiaran komersial atau sistem komunikasi (Richard Mahendra Putra).

Ada tiga komponen utama yang tersusun di dalam sistem radar, diantaranya yaitu Antena, Pemancar sinyal (*Transmitter*) dan Penerima sinyal (*Receiver*) sebagai berikut :

1. Antena yang ada di radar adalah antena reflektor yang berwujud piringan parabola di mana energi elektromagnetiknya tersebar dari titik fokus lalu dipantulkan melalui permukaan parabola. Antena radar terbagi menjadi dua kutub. Sinyal masuk dijelaskan dalam bentuk *phased-array* (bertingkat atau bertahap). Hal ini yaitu sebaran unsur objek yang ditangkap oleh antena lantas diteruskan menuju pusat sistem Radar.
2. *Transmitter* di sistem radar mempunyai fungsi memancarkan gelombang elektromagnetik lewat reflektor antena. Ini dilakukan supaya sinyal objek pada wilayah tangkapan radar mampu dikenali. Umumnya transmitter difasilitasi dengan *bandwidth* berkapasitas besar. Transmitter juga bertenaga kuat, efisien, serta mampu diandalkan, dengan ukuran yang tidak terlalu besar juga tidak terlalu berat sehingga mudah untuk dirawat.
3. Penerima sinyal (*Receiver*) memiliki fungsi menerima kembali pantulan gelombang elektromagnetik berasal dari sinyal objek yang ditangkap radar dari reflektor antena. *Receiver* berkemampuan memilah sinyal yang diterima dan disesuaikan dengan pendeteksian yang diinginkan, memperkuat sinyal objek lemah serta melanjutkan sinyal objek tersebut pada proses data dan sinyal (*signal and data processor*), lalu ditampilkan gambarnya di monitor (*display*).

b. Material Penyerap Gelombang Elektromagnetik frekuensi Radar.

Radar adalah perangkat yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi objek jarak jauh. Radar mampu mendeteksi berdasarkan *Radar Cross Section* (RCS), adalah area pada target yang memantulkan sinyal yang diterima. Radar sangat penting pada sistem pertahanan negara sebagaimana radar perwujudan mata dan telinga pemantau objek yang dapat mengancam keamanan wilayah. Karena peran pentingnya, radar kerap berusaha untuk dinonaktifkan oleh musuh di tahap awal perang. Jika tidak dapat dinonaktifkan, itu memunculkan material teknologi yang bertindak sebagai anti-radar. *Stealth technology* atau sistem teknologi siluman ialah satu dari teknologi yang mampu membuat objek menjadi anti-radar dan tidak akan terdeteksi oleh radar. Salah satu metode yaitu menggunakan penyerap gelombang radar atau *Radar Absorbing Material* (RAM) yang mana adalah bahan berkemampuan menyerap juga melemahkan gelombang elektromagnetik. Untuk menciptakan

RAM maka diperlukan Teknologi metamaterial yang merupakan salah satu metode dalam menghasilkan material dengan sifat yang istimewa dimana material tersebut tidak seperti material alami biasa, dapat memiliki sifat yang istimewa yaitu permitivitas dan permeabilitas elektrik yang negatif. Diantara pemanfaatan dari metamaterial ini adalah dapat digunakan sebagai berikut:

1. Indeks Bias Negatif (*Negative refractive index*)
2. Penyerap yang tinggi (*High Absorber*)
3. Pemanenan Energi (*Energy harvesting*)
4. Jubah Penutup (*Invisible cloak*)
5. Pendeteksi (*Sensor*)

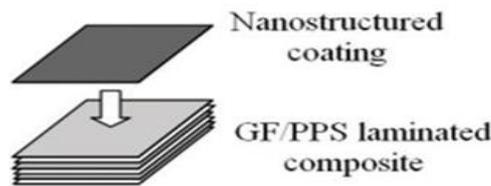
Metamaterial ini banyak diterapkan dalam dunia militer dalam hal untuk menjaga kerahasiaan dengan menyamarkan suatu objek militer dengan metode RAM sehingga tidak dapat dideteksi oleh radar musuh.

Pembahasan

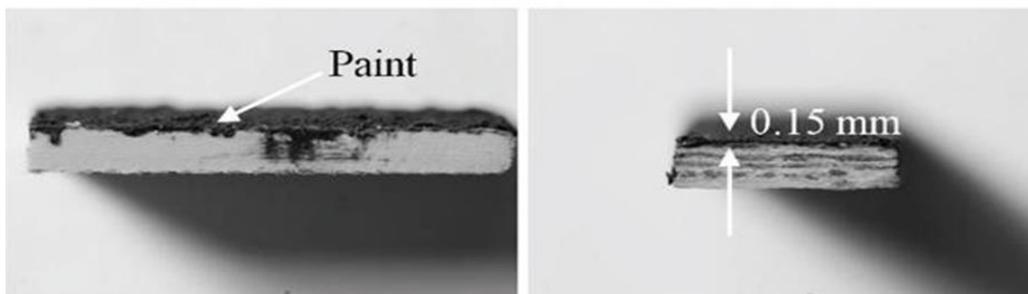
Salah satu yang termasuk kawasan strategis adalah kawasan penunjang kegiatan pertahanan negara seperti halnya kawasan yang melibatkan komponen pertahanan negara yakni Tentara Nasional Indonesia (TNI). TNI merupakan alat negara pada bidang pertahanan negara dan menjalankan tugasnya berdasarkan kebijakan nasional dan keputusan politik negara. Organisasi TNI memiliki komponen berupa Mabes TNI yang bertanggung jawab atas Mabes TNI Angkatan Darat, Mabes TNI Angkatan Laut, dan Mabes TNI Angkatan Udara. Markas Besar Tentara Nasional Indonesia didalamnya terdapat banyak terdapat unsur-unsur penting mulai dari unsur pimpinan, unsur staf, hingga keberadaan alutsista TNI. Kepala Staf TNI adalah Koordinator Pembinaan Kekuatan di Mabes TNI dan bertanggung jawab kepada Panglima. Selain itu, terdapat juga infrastruktur pendukung lainnya seperti hanggar pesawat tempur, hanggar tank dan gudang amunisi. Kondisi pangkalan militer Indonesia beserta sarana pendukungnya saat ini menunjukkan mudahnya jangkauan radar dalam mengidentifikasi kondisi infrastruktur militer Indonesia yang tanpa pengamanan sehingga terlihat jelas oleh deteksi radar musuh. Kondisi ini menjadi salah satu ancaman terhadap pertahanan keamanan Indonesia dimana kawasan-kawasan militer ini menyimpan segala hal tentang komponen utama dalam melaksanakan tugas militer. Untuk itu keamanan dan kerahasiaan kawasan perlu diasiasi agar tak mudah dideteksi musuh yang mengancam pertahanan negara.

Konsep dari usulan inovasi yang diajukan mulai terbentuk dengan mengaplikasikan material anti-radar pada segenap infrastruktur militer sebagai upaya untuk mengaburkan lokasi agar jauh dari tinjauan radar musuh. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Folgueras et al (2014), material lapisan cat berstruktur nano dapat digunakan sebagai material anti-radar apabila ditambahkan pada komposit berlaminasi GF/PPS. Persiapan dalam pembuatan RAM yang terdiri dari lapisan berstruktur nano berupa CNT yang terdispersi dalam matriks poliuretan kemudian diterapkan pada komposit laminasi GF/PPS. Komposit laminasi terdiri dari sepuluh lapisan GF dan PPS yang diaplikasikan secara kontinu berselang-seling dengan ketebalan total komposit laminasi adalah 2,2 mm dan massa spesifiknya sebesar 1,6 g/cm³. Polyphenylene sulfida (PPS) merupakan matriks termoplastik berkinerja tinggi yang banyak digunakan dalam aplikasi aeronautika. Komposit laminasi GF/PPS yang dicat dengan lapisan berstruktur nano memiliki ketebalan lapisan 0,15 mm sehingga massa jenis komposit laminasi tidak berubah secara signifikan. Berbeda dari jenis RAM lainnya yang diaplikasikan pada permukaan, penelitian ini menggunakan RAM sebagai material struktural. Pada Gambar 1 Komposit laminasi terdiri dari sepuluh lapisan GF dan PPS kontinu yang berselang-seling

kemudian dilapisi dengan lapisan berstruktur nano. Penampang struktur komposit laminasi GF/PPS yang dicat dengan lapisan berstruktur nano dapat terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Pengecatan komposit laminasi GF/PPS dengan lapisan berstruktur nano
Sumber : Folgueras et al, 2014



Gambar 2. Aspek morfologi komposit laminasi GF/PPS setelah pengecatan dengan lapisan berstruktur nano: (a) Penampang melintang; (b) ketebalan lapisan berstruktur nano
Sumber : Folgueras et al, 2014

Material komposit laminasi dengan lapisan berstruktur nano yang diaplikasikan pada struktur bangunan dengan energi radiasi datang pada 8 GHz hingga 12 GHz memungkinkan penetrasi radiasi elektromagnetik ke dalam material dengan penyerapan hingga sekitar 90% dari energi gelombang elektromagnetik yang datang dikarenakan adanya CNT yang digunakan dalam lapisan berstruktur nano berfungsi mengubah impedansi material, menjadi RAM yang efektif. Kondisi ideal yang diharapkan dapat mengurangi penyerapan gelombang elektromagnetik yang mengakibatkan pemburaman pada tempat-tempat strategis seperti pangkalan militer agar tidak bisa terdeteksi oleh Radar Musuh.

Analisis FMEA adalah cara untuk mengetahui potensi kegagalan serta akibat yang diberikan atas pengembangan. Dari hasil analisis tersebut nantinya dapat disusun mitigasi untuk menghindari potensi kegagalan dengan akibat yang mengikuti setelahnya (Hanif et al, 2015). Pada tabel 1 ini merupakan hasil dari analisis resiko menggunakan FMEA.

Tabel 1. Hasil Analisis Resiko

Failure Model and Effect Analysis Worksheet									
Process or product FMEA team Team Leader FMEA Design				FMEA Number FMEA Date					
Line	Component and Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	Severity	Potential Causes of Failure	Occurrence	Failure Detection Method	Detection	RPN
1.	Material sebagai bahan dasar untuk menyerap dan melemahkan gelombang elektromagnetik	Material tidak berkualitas	tidak berfungsi baik	8	kegagalan dalam uji material	4	Ketika proses pencampuran tidak ada tahap pengecekan kualitas	3	96
		Kekurangan campuran material	tidak berfungsi baik	6	kegagalan dalam pencampuran material	5	Tidak ada nilai yang ditampilkan saat digunakan untuk pengukuran	2	60
2.	Cat (<i>coating</i>) sebagai sebuah cara dalam penerapan hasil material	Daya tahan lapisan cat menipis	Penetrasi radiasi elektromagnetik ke dalam material berkurang	6	Kegagalan dalam proses pengecatan	4	Tidak ada indikasi ukuran ketebalan lapisan cat	3	72

Hasil penilaian analisis FMEA pada penggunaan material anti-radar terlihat di Tabel 1. Penilaian *severity*, penilaian *occurrence* dan *detection* adalah rata-rata geometri dan didasari oleh sumber literatur. Perolehan nilai RPN (*Risk Priority Number*) dari perkalian rata-rata geometri nilai S, O, dan D. Komponen Material pada mode kegagalan material tidak berkualitas mendapatkan nilai RPN tertinggi yaitu 96. Yang menjadi penyebab mode kegagalan ini yaitu kegagalan dalam uji material yang mengakibatkan anti radar tidak berfungsi dengan baik. Peringkat kedua ada pada *coating* dengan mode kegagalan daya tahan lapisan cat menipis dengan nilai RPN 72. Sebab mode kegagalan ini adalah penetrasi radiasi elektromagnetik ke dalam material yang berkurang.

KESIMPULAN

Sistem keamanan di infrastruktur militer merupakan fundamental dalam pertahanan dan keamanan yang juga adalah suatu hal penting dalam menjaga pertahanan dan keamanan bangsa. Hal ini dikarenakan TNI adalah komponen utama dalam sistem pertahanan negara di mana kawasan-kawasan militer menyimpan segala hal tentang komponen utama dalam melaksanakan tugas militer. Untuk itu keamanan dan kerahasiaan infrastruktur militer perlu disiasati agar tak mudah dideteksi musuh yang mengancam pertahanan negara melalui teknologi Radar.

Untuk mensiasati hal tersebut, dapat dilakukan dengan mengaplikasikan material anti-radar tidak hanya pada Markas Besar TNI, tetapi juga pada hanggar pesawat tempur, hanggar tank dan gudang amunisi sebagai upaya untuk menguatkan pertahanan yang menggunakan material lapisan cat berstruktur nano ditambah dengan komposit berlaminasi GF/PPS. Adapun analisis *Failure Model and Effect* (FMEA) untuk mengetahui potensi kegagalan serta akibat yang diberikan atas pengembangan sehingga dapat menyusun mitigasi untuk menghindari potensi kegagalan dengan akibat yang akan terjadi setelahnya.

Dari hasil analisis FMEA, maka perlu dilakukan beberapa hal sebagai bentuk mitigasi pengaplikasian material anti-radar, di antaranya: Perlu dilakukan pengujian material sebelum diaplikasikan baik terhadap material komposit maupun kerangka panel guna mengetahui kecocokan antara material dan gedung serta jangka waktu ketahanan material (ketahanan pakai) dan Menyusun *flowchart* berupa jadwal dan rencana pemeliharaan serta perbaikan (*maintenance*) dalam jangka waktu yang telah ditentukan secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Folgueras, L. D. C., Alves, M. A., & Rezende, M. C. (2014). Evaluation of a nanostructured microwave absorbent coating applied to a glass fiber/polyphenylene sulfide laminated composite. *Materials Research*, 17, 197-202.
- Gravitime.Net. Science.Tecnology Art. (2017). Teknologi Metamaterial.
- Hanif, Richma Y., Rukmi, Hendang S., & Susanty, Susy. (2015). Perbaikan Kualitas Produk Keraton *Luxury* di PT. X Dngan Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). *Reka Integra*. 137-147.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia PP No. 13 Tahun 2017 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional. Jakarta.
- Purwanto, H. (2017). *Intelijen dan Dinamika Demokrasi di Indonesia*. Jakad Media Publishing.
- Rustamaji & Djaelani, (2011), Radar Jamming suatu konsep rancang bangun, Prosiding Seminar Radar Nasional 2011., Jakarta, 21 April 2011., ISSN 1979-2921
- Sugiyono. (2014). *Metode Penelitian Manajemen*. Bandung: Alfabeta, CV.
- Taryana, Yana. (2019.) Material Penyerap Gelombang Elektromagnetik Jangkauan Frekuensi Radar. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, Vol. 28 No.1

Usvanda, L.N., Zainuri, M. (2016.) Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Radar Absorbing Material (RAM) Berbahan Dasar BaM/PANi Pada Rentang Gelombang X- Band dengan Variasi Ketebalan. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol. 5. No. 2.