

# **GROUND RADAR STEALTH BERBASIS MICROWAVE ABSORBER DALAM PERANG UDARA**

**(GROUND RADAR STEALTH-BASED ON  
MICROWAVE ABSORBER IN AIR WARFARE)**

Harry Cahyadi Wijaya Kusuma, Supri Abu, Bambang Kustiawan  
Prodi Strategi Pertahanan Udara Fakultas Strategi Pertahanan  
Universitas Pertahanan RI  
hnavio@yahoo.com

***Abstract-** This research background is based on scenario changes of war concepts from conventional to technology-based, where stealth is one of the technologies which is important in air warfare. This fact creates phenomena that show “There’s no stealth technology that has been applied to protect Ground Radar Station as an enemy centre of gravity”, related to that research question which is formulated on how to design an adaptive “Ground Radar Stealth” (GRS) and why it is needed. All relevant theories used in this research are stealth, Radar, and Microwave Absorbers. The Research method that is being used is descriptive qualitative by comparing theories and using QFD as tools. In designing GRS some informants are involved such as military experts, academics, commanders of fighter aircraft squadrons and Radar. The result of this research is formulating a GRS design that has been adjusted with the theories to apply to GRS and is also useful. To make this research can be realised support in the form of funds, time, and cooperation from the Indonesian Air Force Itself and Academic sources are needed. Also, to optimize GRS design, it is suggested to create layers of defence like an Iron dome, but adjusted to the Indonesian Geographical environment.*

***Keywords:** Stealth, Radar, Microwave Absorber, Air Warfare, Technology*

Abstrak- Penelitian ini dilatarbelakangi oleh skenario perubahan konsep perang dari konvensional menjadi berbasis teknologi, di mana stealth merupakan salah satu teknologi yang penting dalam peperangan udara. Fakta ini menimbulkan fenomena yang menunjukkan “Belum ada teknologi siluman yang diterapkan untuk melindungi Ground Radar Station sebagai pusat gravitasi musuh”, terkait dengan pertanyaan penelitian yang dirumuskan tentang bagaimana merancang sebuah “Ground Radar Stealth” (GRS) adaptif dan mengapa itu dibutuhkan. Semua teori yang relevan digunakan dalam penelitian ini adalah stealth, Radar, dan Microwave Absorber. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan membandingkan teori dan menggunakan QFD sebagai tools. Dalam perancangan GRS melibatkan beberapa informan seperti ahli militer, akademisi, komandan skuadron pesawat tempur dan Radar. Hasil dari penelitian desain GRS yang telah disesuaikan dengan teori-teori yang dapat diterapkan pada GRS dan juga bermanfaat. Agar penelitian ini dapat terealisasi, diperlukan dukungan dana, waktu, dan kerja sama dari pihak TNI AU dan sumber Akademik. Selain itu, untuk mengoptimalkan desain GRS, disarankan untuk membuat lapisan pertahanan seperti kubah Besi, namun disesuaikan dengan lingkungan Geografis Indonesia.

Kata kunci: Stealth, Radar, Microwave Absorber, Peperangan Udara, Teknologi

## Pendahuluan

Skenario peperangan dunia telah mengalami perubahan konsep (Kott & Perconti, 2018) yang semula dengan model perang konvensional bermigrasi menjadi bentuk perang berbasis teknologi. Hal tersebut disebabkan oleh pesatnya perkembangan teknologi perang militer secara global pada era sekarang. Bangsa-bangsa di penjuru dunia saling berlomba mengembangkan teknologi militer dalam rangka menghadapi kemungkinan terjadinya perang, terutama perang udara. Bangsa Indonesia sebagai bagian dari negara di dunia, maka dipandang perlu untuk turut serta mengembangkan teknologi militer sebagai tindakan *pre-emptive* guna mempertahankan dan menjaga kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI). Teknologi perang udara yang sangat penting salah satunya adalah teknologi *stealth*, di mana dampak kecanggihannya memberikan efek deter terhadap pihak lain. Sebagai contoh, pesawat *stealth* F-117 menjadi pemeran utama dalam operasi *Desert Storm* di Timur Tengah yang memberikan output kemenangan mutlak dalam perang tersebut bagi Amerika Serikat dan sekutunya (Arnold, Brian A; Vitrikas, 1992).

Pesawat F-22 Raptor merupakan pesawat berkemampuan *stealth* dengan RCS yang terbaik saat ini dengan nilai 0,0001 m<sup>2</sup> (Jenn, 2011) atau sebanding dengan ukuran seekor kumbang sehingga terlihat sangat kecil pada display radar. Bahan *stealth* yang digunakan pada umumnya berbasis *ferromagnetic coat*. Penelitian terkait bahan yang dapat digunakan sebagai materi *stealth* yang saat ini berkembang adalah metamaterial. Bahan ini merupakan bahan buatan sebagai pengganti bahan yang tidak terdapat di alam. Metamaterial dapat didesain agar memiliki kemampuan untuk menyerap gelombang frekuensi mikro dengan hasil yang lebih baik dari bahan *ferromagnetic* dan fleksibel terhadap frekuensi berapapun yang ingin diserap sesuai kebutuhan yang disebut juga microwave absorber.

Perkembangan aplikasi teknologi *stealth* memperlihatkan bahwa teknologi *stealth* dominan digunakan pada pesawat dan baru dimulai pada kapal yang

disiapkan untuk menghadapi perang. Fakta ini menimbulkan fenomena “belum adanya aplikasi teknologi *stealth* untuk melindungi stasiun Radar darat yang merupakan *centre of gravity* (CoG) musuh” sehingga menjadi target serangan peluru kendali (rudal) pesawat tempur musuh. Fenomena ini adalah masalah yang sangat penting, karena Radar darat sebagai *eyes in the sky* berfungsi untuk mengawasi kedaulatan NKRI dan juga aktor pendukung utama dalam *dogfight* melalui *Ground Control Intercept* (GCI) (Tellis, 2011). Konsep *existing* perlindungan Radar yang dimiliki Tentara Nasional Indonesia Angkatan Udara (TNI AU) adalah perlindungan udara oleh pesawat tempur dan sistem pertahanan udara (Oerlikon dan QW-3). Konsep perlindungan dalam perang udara terkuat saat ini adalah *Iron Dome* Israel, dengan kemampuan melindungi wilayah dan Radarnya dari serangan wahana udara apapun. Prinsip dari *iron dome* ini mengintegrasikan radar dengan rudal (Kurz & Brom, 2014). Namun, Radar tersebut hanya dilindungi oleh peluru kendali yang terintegrasi dengan Radar *Early Warning* (EW) dan informasi ke pesawat tempur tanpa ada metode lain, sehingga apabila Radar yang terintegrasi dihancurkan maka sistem *Iron Dome* tidak akan berfungsi.

*Stealth* menjadi suatu faktor kunci utama dalam menciptakan keunggulan dalam perang udara (A. G. Rao & Mahulikar, 2018). Penelitian teknologi *stealth* saat ini umumnya diaplikasikan melalui cara melapiskan dan mendesain struktur tertentu sebagai respon dari berkembangnya kemampuan radar dan rudal dalam mendeteksi sasaran pada medan perang udara (Alexandru Marius, 2010). Riset lain menyatakan bahwa teknologi *stealth* beberapa dekade terbukti sebagai metode pendekatan yang paling efektif dan menguntungkan terkait hal bersembunyi dari deteksi radar (Zikidis & Skondras, 2014). Peneliti terdahulu mengungkapkan bahwa kemajuan dari teknologi *stealth* akan terus memberikan nilai yang signifikan dalam kemampuan pertahanan (Gunzinger et al., 2020). Teknologi *stealth* juga memberikan dampak strategis berupa efek deter dalam kawasan yang bisa disetarakan dengan bom nuklir (Bowers, 2017; *Stealth Technology and Air Warfare*, 1991). Berdasarkan *state of the art* terkait *stealth* terlihat bahwa aplikasi atau penerapan teknologi *stealth*

memberikan manfaat dan dampak yang signifikan sebagai salah satu kunci peran utama dalam menghadapi perang di masa depan. Kapabilitas dan kecanggihannya yang langka memberikan kekuatan deter yang besar dari aspek strategis.

Penelitian yang ada pada umumnya fokus dalam menginformasikan aplikasi *stealth* pada alutsista bergerak seperti pesawat, kapal dan tank (A. G. Rao & Mahulikar, 2018). Fokus lainnya berada pada model desain dengan bentuk dan bahan yang berbeda-beda pada aplikasi yang berbeda untuk mendapatkan RCS yang maksimum. Riset (2012) melaksanakan pembuatan prototipe yang akan dijadikan platform kendaraan tempur yang dapat menyerap frekuensi 2.75 GHz (Munir, Ahmad; Nur, 2012). Riset serupa (2015) dengan metode berbeda mampu menyerap frekuensi 2,78 GHz (Nur et al., 2015). Pada tahun yang sama (2015) penelitian pada konteks yang sama dilakukan namun berbeda bentuk patch desain (Nur & Munir, 2015). Semua riset terdahulu yang dilakukan untuk menciptakan *stealth* menggunakan bahan metamaterial sebagai *microwave absorber* dengan metode selective surface method dengan bentuk patch yang berbeda-beda sebagai pengembangan dari model *stealth ferromagnetic coat*.

Berdasarkan latar belakang dan referensi-referensi, di mana *stealth* sebagai salah satu teknologi kunci yang perlu diterapkan karena kecanggihannya dan efek deter yang ditimbulkan untuk menghadapi perang udara demi menjaga kedaulatan NKRI. Bahan yang digunakan berbasis metamaterial sebagai *microwave absorber* merupakan pengembangan bahan sebelumnya dengan lebih fleksibel serta kualitasnya lebih baik. Terlihat adanya fakta yang merupakan fenomena yaitu, riset-riset terdahulu fokus pada *stealth* yang diaplikasikan pada benda bergerak (pesawat, kapal), belum ada yang melakukan penelitian bagaimana *stealth* melindungi *Ground Radar* mengingat perannya yang sangat penting dan merupakan target objek vital bagi musuh. Hal ini merupakan celah yang ada dari penelitian sebelumnya. Celah ini ini memberikan peluang pesawat musuh dengan mudah menghancurkan Radar darat dari jarak yang jauh, mengingat negara Indonesia belum memiliki sistem pertahanan seperti *iron dome* Israel.

Dengan adanya fenomena ini, maka perlu diperlukan penelitian dengan output penerapan aplikasi teknologi *stealth* yang mampu melindungi Radar darat, kedua penggunaan absorber yang mampu menyerap semua frekuensi yang menjadi ancaman bagi Radar darat, dan gambaran desain umum serta manfaatnya dengan hasil lebih baik. Penelitian ini melakukan desain konsep melalui eksplorasi atau desain baru yang sesuai untuk melindungi Radar darat dan *absorber* yang diinginkan dengan kualitas yang tinggi melalui penggunaan bahan metamaterial bersifat *microwave absorber*. Eksplorasi desain dilakukan untuk menentukan konsep dengan nama "*Ground Radar Stealth*" yang mengacu kepada parameter-parameter dari *Stealth* dan Radar yang disesuaikan dengan para ahli terkait pengamat militer, *stealth* dan Radar, Komandan skadron udara tempur dan Komandan satuan radar sebagai nara sumber untuk dianalisa apakah konsep desain teknologi "*Ground Radar Stealth*" bermanfaat untuk diaplikasikan sesuai fungsinya dalam rangka menyiapkan dan melengkapi kemampuan dalam menghadapi perang udara.

## 1. Tinjauan Pustaka

### 1.1 Teori *Stealth*

*Stealth* menurut makna leksikal berarti secara sembunyi-sembunyi atau dengan diam-diam (Echols, John M; Shadilly, 2000). Berdasarkan Bahasa Layman's (*Layman's Terms \_ Definition of Layman's Terms by Merriam-Webster, n.d.*) pengertian *stealth* adalah suatu tindakan melakukan sesuatu dengan sangat lambat, diam-diam dan secara rahasia sehingga tidak dapat diketahui oleh orang lain (R. J. Rao, 1999). Secara umum *stealth* diartikan sebagai berbagai macam kombinasi bermacam-macam variasi yang diterapkan dalam penyerangan untuk menghindari deteksi dari pihak lain (R. J. Rao, 1999). Pengertian lain terkait *stealth* adalah suatu tindakan berupa pergerakan, melanjutkan, atau bertindak dalam suatu cara yang tersembunyi, karakter tersembunyi yang berkualitas, suatu tindakan atau karakter pergerakan dengan sangat berhati-hati dan kesenyapan, pada khususnya untuk menghindari deteksi atau agar tidak diketahui (Kapur, 2014). *Stealth* atau yang disebut juga *low observable* juga dapat diartikan sebagai teknologi yang mencakup beberapa cara yang

diaplikasikan pada pesawat, kapal dan peluru kendali guna menjadikan tidak terlihat dari radar, infrared dan metode deteksi lainnya (Jha & Aswale, 2016).

Berdasarkan pengertian baik secara leksikal maupun dari sumber referensi yang ada maka dapat disimpulkan bahwa *stealth* merupakan suatu tindakan atau cara yang memiliki karakter agar tidak dapat diketahui oleh siapapun dengan kualitas yang baik. Hal ini akan menjadi dasar pada bab pembahasan bagaimana konsep “*Ground Radar stealth*” sesuai dengan pengertian. Prinsip dasar dari cara kerja *stealth* adalah menciptakan suatu kondisi di mana sinyal frekuensi yang dipancarkan oleh *Radio Detecting and Ranging* (RADAR) musuh tidak dapat kembali ke sumber yang memancarkan gelombang frekuensi, sehingga tidak dapat terdeteksi dari pengawasan musuh. Prinsip kerja tersebut pada dasarnya dilakukan dengan mengurangi *Radar Cross Section* (RCS) dari Radar darat dengan teknik *Radar Absorber Structure* (RAS) dan *Radar Absorber Material* (RAM) (Wang et al., 2017).

*Radar Absorbing Structure* (RAS) adalah desain struktur dari pesawat yang dapat membelokkan sinyal yang datang dari radar sehingga sinyal yang dipantulkan kembali ke radar menjadi kecil (Banga, 2017; Jha & Aswale, 2016). Bentuk struktur pesawat pada seluruh bagian seperti badan pesawat, sayap, dan bagian lainnya didesain sedemikian rupa dengan sudut-sudut tertentu sehingga sinyal pantulan atau RCS kecil. Desain RAS ini memberikan perbedaan pada RCS dengan pesawat yang menggunakan bentuk struktur pesawat pada umumnya. Ilustrasi perbedaan antara desain RAS dan pesawat pada umumnya di gambar berikut.



**Gambar**

**Perbandingan**

**Sinyal**

**Pantul Antara**

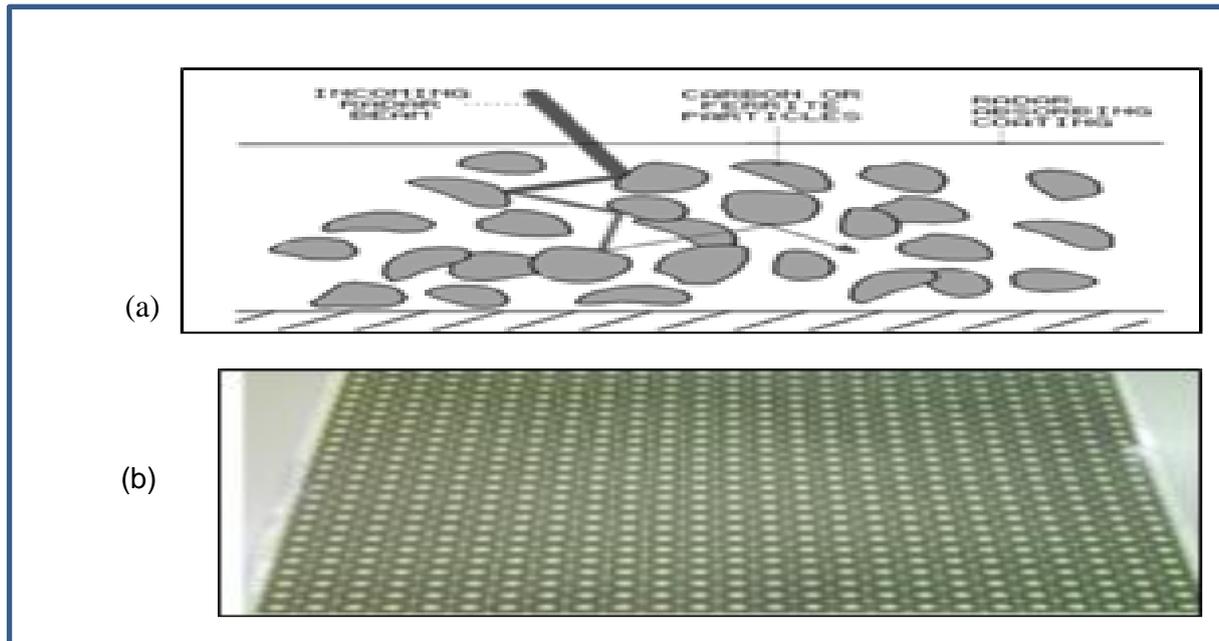
**Desain**

### Struktur Pesawat dengan RAS (a) dan Non RAS (umum) (b)

Sumber: (Jha & Aswale, 2016)

Dari ilustrasi diatas terlihat perbedaan yang jelas bagaimana bentuk struktur pesawat menjadi salah satu faktor yang dapat mengurangi RCS. Namun, RCS yang merupakan hasil dari pantulan sinyal sudah dikurangi masih dapat diperkecil lagi dengan dikombinasi menggunakan RAM, sehingga tujuan *stealth* menjadi lebih optimal.

*Radar Absorber Material* (RAM) adalah desain *stealth* berupa lapisan dimana komponen magnetik dan kelistrikan telah ditentukan untuk dapat menyerap energi gelombang mikro pada frekuensi tertentu atau lebar (Suk, 1990). Konsep dasar dari RAM ada tiga macam yang pertama adalah di mana sinyal yang datang dari radar diserap dalam arti melewati susunan partikel acak dalam lapisan sehingga sinyal akan bergerak acak dalam lapisan sehingga seiring waktu Sebagian besar gelombang sinyal akan melemah dan hilang karena terperangkap oleh partikel lapisan. Sedangkan, Sebagian kecil partikel dapat memantul keluar kembali dari lapisan dengan pancaran kembali ke radar sebagai RCS dan teracak tidak kembali ke radar. Konsep kedua adalah di mana RAM tidak menyerap namun meneruskan gelombang sinyal ke seluruh permukaan untuk mendinginkan panas yang ditimbulkan dari sinyal yang mengenai badan pesawat, proses diteruskannya ini menjadi dingin karena konsep yang ada pada konsep pertama selama perambatan sehingga sinyal yang dingin tidak akan memantul kembali menjadi RCS. Konsep RCM yang ketiga adalah di mana metode *frequency selective surface* (FSS) digunakan dalam bentuk planar yang memiliki fungsi sebagai filter terhadap energi elektromagnetik yang bisa menentukan frekuensi mana yang akan diserap sesuai keinginan. Konsep yang terakhir ini dikenal dengan metamaterial. Ilustrasi perbedaan antara konsep RAM tampak di gambar berikut.



**Gambar (a) dan (b) Konsep RAM**

Sumber: (Costa et al., 2016; Jha & Aswale, 2016)

Dengan memahami prinsip kerja *stealth* ini maka dapat dijadikan referensi dalam menganalisa dan membahas teknik untuk mendesain “*Ground Radar Stealth*” sehingga dapat diaplikasikan sebagai *stealth* melalui penerapan metode RAS dan RAM ini atau kombinasi keduanya.

Indikasi yang menentukan bahwa suatu peralatan memiliki kemampuan *stealth* diketahui dari beberapa parameter (Banga, 2017), yaitu:

a. Desain bentuk dari benda *stealth*. Bentuk dari suatu benda akan mempengaruhi terhadap banyaknya sinyal yang dipantulkan kembali ke sumbernya atau yang biasa disebut *Radar Cross Section (RCS)*. Desain dari bentuk benda yang akan mengurangi sinyal yang terpantulkan dibentuk sebagai berikut (Kopp, 2013; A. G. Rao & Mahulikar, 2018):

- 1) Tidak terdapat celah pada bagian sambungan.
- 2) Bentuk yang bulat pada setiap sudut atau ujung
- 3) Ukuran total dibuat sekecil mungkin
- 4) Menghilangkan bagian yang transparan agar tidak tembus kebagian dalam yang memantulkan sinyal melalui transparansi.

5) Hindari desain permukaan yang rata, lebih baik menggunakan model “V” dibandingkan rata.

b. Material yang digunakan untuk *stealth*. Bahan yang digunakan sebagai material dalam membuat *stealth* yaitu bahan yang memiliki nilai impedansi mendekati udara. Material ini dipilih atau dibuat melalui suatu metode seperti desain metamaterial. Material yang banyak digunakan adalah FR4 (*ferromagnetic*), namun saat ini metamaterial menjadi pilihan yang dapat digunakan karena fleksibilitas karakternya.

c. *Radar Cross Section (RCS)*.

RCS merupakan besar ukuran dari sinyal yang ditampilkan di radar berdasarkan banyaknya sinyal pantulan dari sasaran yang diterima oleh sumber sinyal dalam satuan meter persegi. Semakin besar nilai RCS maka sasaran akan semakin terlihat dan sebaliknya (gambar 1.9) (*Stealth Technology and Air Warfare*, 1991).

d. Reduksi radiasi inframerah

Radiasi inframerah dihasilkan dari sumber yang menghasilkan panas. Sumbernya bisa berupa mesin atau gesekan antara bahan metal dengan udara pada kecepatan tinggi (A. G. Rao & Mahulikar, 2018). Sifat sinar infra merah yang satu frekuensi dengan panas sehingga akan mendeteksi panas kemudian memantulkan kembali yang akan dijadikan panduan menuju ke sasaran yang menghasilkan panas. Radiasi ini bisa direduksi dengan melakukan penempatan sumber panas pada tempat tersembunyi, menggunakan kecepatan rendah agar tidak terjadi gesekan dengan udara yang menghasilkan panas, memantulkan sinar infra merah ke arah berbeda dengan kaca, atau menggunakan metode penyerapan sinar inframerah sehingga tidak ada sinyal Kembali yang menjadi panduan arah. Model inframerah ini sifatnya sebagai pemandu ke sasaran.

## 1.2 Teori Radar

Radar adalah akronim dari *radio detection and ranging*. Radar memiliki pengertian sebuah sistem pendeteksi benda dengan gelombang radio guna mengetahui kecepatan, ketinggian, jarak, dan atau arah dari sebuah sasaran (Jha & Aswale, 2016). Hasil dari radar yang didapatkan dan ditampilkan pada display berupa RCS dengan parameter yang sudah disampaikan sebelumnya. Radar terbagi atas radar darat dan radar udara, di mana prinsip kerja secara umum sama hanya terdapat perbedaan dalam sisi frekuensi yang digunakan dan juga besarnya daya yang *support* kerja radar. Perbedaan ini membuat berpengaruh kepada daya jangkauan dari sinyal radar yang dipancarkan ke sasaran.

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya dalam teori *stealth* dan juga prinsip kerja dari radar, maka jelas terlihat hubungan langsung antara *stealth* dan radar. Radar pada satu sisi berfungsi untuk dapat mendeteksi keberadaan sasaran yang kemudian akan ditampilkan pada display. Sedangkan *stealth* merupakan sasaran daripada radar, yang dengan kapabilitasnya akan menjadi tidak dapat terdeteksi dengan radar. Hubungan keduanya diwakili oleh besar dan kecilnya RCS yang dihasilkan dari gelombang frekuensi yang dipancarkan dan dipantulkan. Sehingga, jelas Radar dan *stealth* berhubungan namun dalam konteks yang berlawanan atau bermusuhan.

## 1.3 Teori Metamaterial

Metamaterial didefinisikan sebagai material-material buatan yang tidak terdapat dalam alam (Bilotti & Sevgi, 2012). Struktur yang didesain secara artifisial, di mana permitivitas dan permeabilitasnya menyimpang dari lazimnya di alam.

Metamaterial yang digunakan adalah AMC (*artificial magnetic conductor*) dalam bentuk patch. Salah satu bagian dari metamaterial adalah AMC berupa komposit material bersifat serupa dengan PMC (*Perfect Magnetic Conductor*) di mana GEM yang datang dipantulkan tanpa mengubah fasenya (Zhang et al., 2002; Ziolkowski, 2006). Pada aplikasi pelacak, penyerap sinyal radar dimanfaatkan untuk mengurangi RCS sebagai parameter utama pada sistem radar. Penyerap bisa

dimanfaatkan untuk melindungi perlengkapan elektronik dari interferensi GEM. Dilain hal, penyerap dapat digunakan untuk memperbaiki lingkungan kesehatan dengan mengurangi efek akibat GEM. Dari penjelasan diatas metamaterial digunakan sebagai bahan yang dibuat karena tidak terdapat di alam dalam arti tidak terdapat sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan sehingga perlu dilakukan desain melalui metode khusus dan perhitungan khusus sehingga hasil yang didapatkan sesuai kebutuhan dan digunakan sebagai *microwave absorber*.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode kualitatif deskriptif. Makna kualitatif penelitian ini ialah dimana data terkumpul berupa aspek alamiah yang bertujuan untuk mengklarifikasi fenomena yang hadir melalui suatu deskripsi naratif, dan juga pandangan partisipan (*grounded theory*) serta studi kasus terkait *stealth* berprinsip bahwa peneliti merupakan aktor utama atau kunci dalam penelitian, dan sumber data penelitian diperoleh melalui wawancara, observasi serta *state of the art* yang *purposive* dan *snowball*, kemudian diterapkan triangulasi (gabungan), diikuti analisis data yang induktif/kualitatif, serta penekanan makna generalisasi dari hasil kualitatif (John W, 2019).

Penelitian tesis ini berlokus/objek “penerapan teknologi *stealth* dalam konsep “*Ground Radar Stealth*” dalam perang udara”. Objek penelitian ini terpilih sebab setiap perumusan dan operasional terkait “*Ground Radar Stealth*” akan dijadikan analisa dasar serta desain dan kesimpulan.

Selain itu, analisis di penelitian ini menggunakan metode pemecahan masalah yaitu *Quality function development* (QFD) untuk merumuskan desain dari “*Ground Radar Stealth*”. QFD bermakna sebagai metode berstruktur dalam tahap merencanakan dan mengembangkan suatu barang atau produk yang dikaitkan terhadap spesifikasi sesuai manfaat yang diharapkan pengguna (Hasanah, 2007). Metode ini dalam penelitian digunakan untuk mengetahui apa yang diharapkan

pengguna (satuan radar) sehingga desain “*Ground Radar Stealth*” sinkron antara desain berdasarkan teknis dan keinginan pengguna sehingga manfaat atau hasil optimal dengan meminta para Komandan Satrad mengisi matrik *House of Quality* (HoQ) (perencanaan produk).

### 3. Hasil dan Diskusi

#### 3.1 Konsep “*Ground Radar Stealth*” yang adaptif sesuai kebutuhan strategi operasi udara.

Desain “*Ground Radar Stealth*” yang adaptif sesuai kebutuhan strategi operasi udara dirumuskan melalui pengetahuan peneliti, teori yang ada dan juga dari aktor dilapangan yang terkait, baik komandan satuan radar, komandan skadron udara tempur, serta para ahli dibidangnya baik pengamat militer, senior militer dan juga akademisi. Para informan ini dipilih dengan kriteria sebagai personel yang memahami benar tugasnya serta memiliki pengalaman, terlihat sesuai posisi jabatan sebagai orang nomor satu di satuannya. Data yang didapat dianalisis kemudian dirumuskan sesuai pengetahuan peneliti dan teori mengenai bagaimana konsep desain “*Ground Radar Stealth*” yang adaptif sehingga sesuai dengan kebutuhan strategi operasi udara dalam suatu perang udara.

Desain “*Ground Radar Stealth*” yang didapat dari jawaban, pernyataan dan saran para komandan satuan radar yang menjadi informan pada penelitian ini, didapatkan jawaban dari pertanyaan masalah bagaimana desain yang adaptif sesuai kebutuhan strategi operasi udara ialah dalam arti memiliki kemampuan *jamming*, kamuflase, RCS kecil, tidak terdeteksi, perlindungan aktif, berbentuk dome, dan tidak mengganggu sistem kerja radar. Kesimpulan kecil ini sesuai dengan teori yang ada yaitu di mana “*Ground Radar Stealth*” memiliki RCS yang kecil yang dihasilkan dari *metamaterial absorber* sebab menyerap frekuensi yang ada, baik dari frekuensi radar udara ataupun penuntun peluru kendali berupa laser dan satelit. Kemudian karakter *stealth* dalam arti tidak langsung yaitu mengelabui atau sebagai kamuflase atau tidak terlihat. Kriteria *Jamming*, RCS kecil, tidak mengganggu kerja radar sesuai

dengan dasar teori dari *microwave absorber* (konsep RAM) dan untuk kamuflase serta bentuk dome juga kamuflase sejalan dengan dasar konsep teori *stealth* (konsep RAS). Kedua konsep tersebut RAM dan RAS sudah memenuhi kriteria sebagai kemampuan *stealth* secara teori.

Desain “*Ground Radar Stealth*” yang didapat dari jawaban, pernyataan dan saran para komandan skadron udara yang menjadi informan pada penelitian ini, didapatkan jawaban dari pertanyaan masalah bagaimana desain yang adaptif sesuai kebutuhan strategi operasi udara ialah dalam arti memiliki kemampuan kamuflase dan RCS kecil, tidak terdeteksi. Kesimpulan kecil ini sesuai dengan teori yang ada yaitu di mana “*Ground Radar Stealth*” memiliki RCS yang kecil yang dihasilkan dari *metamaterial absorber* sebab menyerap frekuensi yang ada, baik dari frekuensi radar udara ataupun penuntun peluru kendali berupa laser dan satelit. Kemudian karakter *stealth* dalam arti tidak langsung yaitu mengelabui atau sebagai kamuflase atau tidak terlihat. Kriteria RCS kecil sesuai dengan dasar teori dari *microwave absorber* (konsep RAM) dan untuk kamuflase sejalan dengan dasar konsep teori *stealth* (konsep RAS). Kedua konsep tersebut RAM dan RAS sudah memenuhi kriteria sebagai kemampuan *stealth* secara teori.

Desain “*Ground Radar Stealth*” yang didapat dari jawaban, pernyataan dan saran dari pengamat militer, senior militer dan akademisi yang menjadi informan pada penelitian ini, didapatkan jawaban dari pertanyaan masalah bagaimana desain yang adaptif sesuai kebutuhan strategi operasi udara ialah dalam arti memiliki kemampuan pengelabuan dan RCS kecil, tidak terdeteksi serta disesuaikan kebutuhan di lapangan. Kesimpulan kecil ini sesuai dengan teori yang ada yaitu di mana “*Ground Radar Stealth*” memiliki RCS yang kecil yang dihasilkan dari *metamaterial absorber* sebab menyerap frekuensi yang ada, baik dari frekuensi radar udara ataupun penuntun peluru kendali berupa laser dan satelit. Kemudian karakter *stealth* dalam arti tidak langsung yaitu mengelabui atau tidak terlihat. Kriteria RCS kecil sesuai dengan dasar teori dari *microwave absorber* (konsep RAM) dan untuk pengelabuan sejalan dengan dasar konsep teori *stealth* (konsep RAS). Kedua konsep

tersebut RAM dan RAS sudah memenuhi kriteria sebagai kemampuan *stealth* secara teori.

### 3.2 Konsep desain “*Ground Radar Stealth*” dibutuhkan dalam perang udara

Desain “*Ground Radar Stealth*” dibutuhkan dalam perang udara diperkuat dengan mengetahui kebutuhan dari penelitian peneliti melalui pengetahuan peneliti, teori yang ada dan juga dari aktor dilapangan yang terkait, baik komandan satuan radar, komandan skadron udara tempur, serta para ahli dibidangnya baik pengamat militer, senior militer dan juga akademisi. Para informan ini dipilih dengan kriteria sebagai personel yang memahami benar tugasnya serta memiliki pengalaman, terlihat sesuai posisi jabatan sebagai orang nomor satu di satuannya. Data yang didapat dianalisis kemudian dirumuskan sesuai pengetahuan peneliti dan teori mengenai mengapa “*Ground Radar Stealth*” dibutuhkan dalam perang udara. Dari pernyataan Komandan Satuan Radar diketahui dan menjawab pertanyaan mengapa desain penelitian ini dibutuhkan karena kondisi yang ada pada saat ini seperti dijelaskan pada bab I bahwa belum ada sistem perlindungan yang dapat melindungi dengan cukup baik akibat keterbatasan peralatan dan sistem pertahanan yang digunakan untuk melindungi radar. Hal tersebut menjelaskan mengapa desain dalam penelitian ini dibutuhkan, di mana pada intinya dapat melindungi radar.

Radar dengan kemampuan *stealth* akan sulit dihancurkan karena tidak terdeteksi, menjadi efek deter untuk musuh, menurunnya resiko kehancuran. Hal tersebut menjelaskan mengapa desain dalam penelitian ini dibutuhkan, di mana pada intinya dapat melindungi radar. Dari semua penjelasan diatas baik dari objek penelitian, pembahasan terkait desain “*Ground Radar Stealth*” yang adaptif serta alasan mengapa desain ini dibutuhkan sudah dijelaskan dan dianalisa berdasarkan hasil penelitian dan dasar teori yang ada. Selanjutnya untuk mendasari dan menghubungkan antara teknis dan keinginan user yang sudah dibahas disini maka akan digunakan metode QFD pada bab berikutnya sehingga desain akan memenuhi semua persyaratan teknis dan non teknis.

### 3.3 Metode QFD

Pemecahan masalah (*problem solving*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah QFD. Metode ini digunakan untuk menghubungkan antara teknis dengan keinginan pengguna dalam penelitian kualitatif melalui penggunaan data wawancara dan matriks yang dijadikan dasar sebagai penterjemah persyaratan yang dibutuhkan pengguna (satuan radar) terhadap desain “*Ground Radar Stealth*” dengan sudut teknis dan karakteristik kualitas sesuai kebutuhan. Dalam Proses QFD yang digunakan adalah bagian tahap perencanaan produk karena berhubungan dengan mendesain “*Ground Radar Stealth*”. Pada proses perencanaan produk ini digunakan *House of Quality* (HoQ) sebagai sarana yang nanti akan memberikan deskripsi bagaimana desain yang diperlukan.

### 3.4 Desain “*Ground Radar Stealth*” yang adaptif sesuai kebutuhan Strategi Operasi Udara.

Tabel Urutan Keinginan Satuan Radar Terhadap Desain “*Ground Radar Stealth*”

	SATRAD 211	SATRAD 212	SATRAD 213	SATRAD 216	SATRAD 222	SATRAD 224	SATRAD 225	SATRAD 226	SATRAD 231	SATRAD 232	SATRAD 233	SATRAD 234
Biaya Terjangkau	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Bahan Lokal/ Produk Nasional	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Melindungi dari serangan Multi Frekuensi Absorber	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
Pemeliharaan Mudah	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Suku Cadang Mudah	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
Efek Deteren	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5
Instalasi Mudah	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4
Sesuai Doktrin/ Arahlan Pimpinan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4
Meningkatkan Kemampuan Pertahanan	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Berdasarkan tabel diatas terbaca bahwa pengguna menempatkan kepentingan utama dalam desain “*Ground Radar Stealth*” pada kemampuan untuk melindungi satuan radar, pemeliharaan dan suku cadang yang mudah. Ketiga hal tersebut akan dapat diwujudkan secara teknis dengan membuat sebuah desain “*Ground Radar Stealth*” yang memiliki tingkat metamaterial absorber yang tinggi sehingga RCS yang ada sangat kecil. RCS yang kecil dengan Batasan -10 db, di mana efisiensi *absorber* sekitar 80% sedangkan untuk mendapatkan RCS lebih baik dari F-22 raptor maka besaran absorber berada di lebih kecil dari -35 db dengan daya serap sebesar 99,98%.

Kemudian terkait dengan kemudahan dalam pemeliharaan dan ketersediaan suku cadang apabila terjadi kerusakan, hal ini tidak menjadi kendala sebab semua produk dalam desain yang dijadikan bahan metamaterial berasal seluruhnya dari dalam negeri.

Analisa yang kedua terkait dengan desain “*Ground Radar Stealth*” yang adaptif akan dilihat langsung terkait data yang ada dalam HoQ seberapa kuat atau urutan yang diharapkan oleh pengguna berdasar target yang dicapai dari kombinasi persyaratan teknis dengan dan persyaratan yang diinginkan dari pengguna. Penilaian hubungan antara kedua persyaratan tersebut akan dinilai secara hubungan, baik hubungan yang sangat kuat, kuat ataupun tidak berhubungan kuat. Pada hubungan diantara kedua persyaratan tersebut yang berhubungan kuat memiliki nilai terbesar dan tidak berhubungan bernilai paling kecil sedangkan yang berada diantaranya bernilai tengah.

**Tabel Prioritas Target Desain “*Ground Radar Stealth*”**

	Murah	Multi Band	Parameter Stealth	Metamaterial	Aplicable	< -10 db	Tahan Lama	Beras Normal
SATRAD 211	8	4	2	1	5	3	7	8
SATRAD 212	1	4	5	2	3	6	7	8
SATRAD 213	8	5	2	1	3	7	4	6
SATRAD 216	8	4	2	1	5	3	2	6
SATRAD 222	4	7	6	3	2	5	1	8
SATRAD 224	1	6	5	4	7	8	3	2
SATRAD 225	4	8	2	1	5	3	7	6
SATRAD 226	2	4	6	5	1	8	7	3
SATRAD 231	2	5	1	8	6	3	7	4
SATRAD 232	2	5	1	7	6	3	8	4
SATRAD 233	6	4	2	1	5	3	7	8
SATRAD 234	4	3	5	8	6	7	1	2

Dari tabel diatas desain “*Ground Radar Stealth*” dapat dirumuskan dengan melihat hasil dari hubungan antara prasyarat, di mana akan diketahui urutan berdasarkan hasil yang memiliki nilai terbesar hingga terkecil dalam aspek target yang diinginkan. Target ini menjadi acuan dalam pembuatan desain. Dari tabel terlihat bahwa dominan kombinasi kedua syarat adalah menginginkan desain teknis yang berbasis metamaterial dalam arti mampu bertindak sebagai *absorber*. Kemudian, Desain memenuhi parameter *stealth* yang digunakan pada pesawat tempur namun disesuaikan dengan aplikasi “*Ground Radar Stealth*”. Selain itu juga

terlihat desain yang direncanakan dapat diaplikasikan dalam arti desain metamaterial bisa dibuat sesuai keinginan dan kebutuhan oleh peneliti. Hal lain sebagai acuan dalam desain adalah desain memiliki daya tahan yang lama, hal ini dapat dicapai dengan penggunaan bahan yang lebih mahal atau murah namun kesediaan barang berlimpah sehingga tidak masalah bila terjadi kerusakan. Yang terakhir untuk patokan desain adalah harga yang murah. Harga murah memungkinkan karena pembuatan dari bahan yang diadakan lokal dan biaya produksi yang tidak besar.

Gabungan dari analisa-analisa tersebut acuan yang dapat digunakan untuk mendesain "*Ground Radar Stealth*" yang adaptif sesuai dengan kebutuhan strategi operasi udara adalah sebagai berikut:

- a. RCS kecil
- b. Pemeliharaan mudah
- c. Suku cadang mudah
- d. Metode metamaterial (RAM, RAS)
- e. Berdasarkan teori *stealth*
- f. Biaya murah
- g. Memiliki ketahanan

Kriteria ini sejalan dengan pembahasan hasil desain "*Ground Radar Stealth*" berdasarkan wawancara pada Bab IV yang sudah juga **menjawab** pertanyaan yang sama tentang desain "*Ground Radar Stealth*" yang adaptif dari perspektif informan, peneliti dan teori.

### 3.5 Manfaat Desain GRS yang dibutuhkan dalam perang udara sesuai.

	Ground Radar Stealth	Stealth Pesawat & Kapal	Cyber Honeypot-Smoke	Radar Decoy Concept	Handu Titik
Biaya Terjangkau	1	5	3	4	2
Bahan Lokal/ Produk Nasional	1	2	2	2	2
Melindungi dari serangan	1	1	1	1	1
Multi Frekuensi Absorber	1	2			
Pemeliharaan Mudah	1	3	5	4	2
Suku Cadang Mudah	1	5	3	3	2
Efek Deteren	1	1			
Instalasi Mudah	2	4	5	3	1
Sesuai Doktrin/ Arahkan Pimpinan	1	1	1	1	1
Meningkatkan Kemampuan Pertahanan	1	1	1	1	1

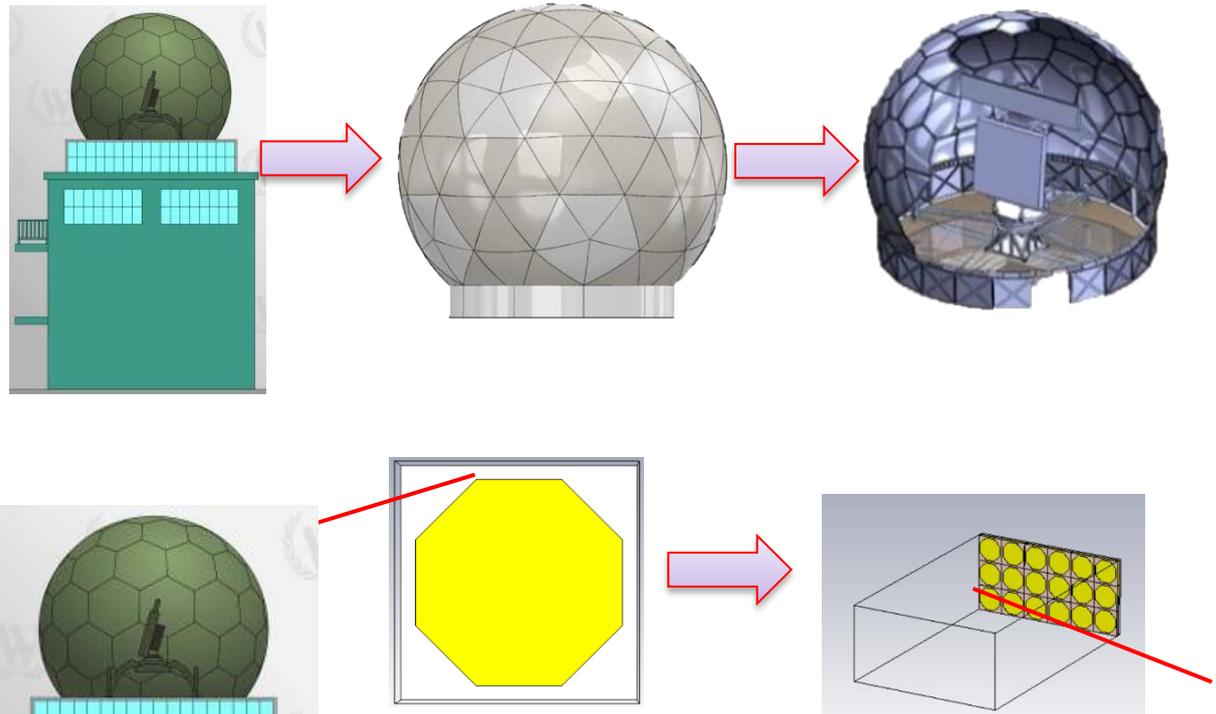
Tabel Data Keunggulan dibanding sistem lain

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa desain “*Ground Radar Stealth*” dengan kriteria syarat secara teknis dan sesuai dengan keinginan dari penggunaan unggul dibandingkan model yang lain, sehingga apabila semua syarat diikuti maka akan menjadi sangat bermanfaat yang **menjawab** pertanyaan mengapa desain “*Ground Radar Stealth*” dibutuhkan. Hasil analisa ini sejalan dengan hasil pembahasan yang menyatakan jika desain “*Ground Radar Stealth*” dibutuhkan karena bermanfaat dalam berbagai hal seperti:

- a. Melindungi dari serangan musuh, minimal mengurangi dampak
- b. Memperkuat kemampuan pertahanan negara
- c. Mengembangkan industri mandiri
- d. Menghemat anggaran negara
- e. Memberikan efek deter
- f. Mudah dalam pemeliharaan dan suku cadang.

### 3.6 Inovasi Dalam Pemecahan Masalah

Berdasarkan hasil dari pembahasan di bab 4 dan juga analisa QFD menggunakan HoQ maka ditemukan inovasi yang tepat dalam desain “*Ground Radar Stealth*” (GRS) sebagai **novelty** dari penelitian ini. Kriteria yang sudah dijelaskan sebelumnya kemudian dijadikan suatu konsep desain “*Ground Radar Stealth*” dalam bentuk gambar dan desain seperti gambar



Pada Gambar di atas desain GRS dibuat sesuai dengan kriteria yaitu berupa Dome yang melindungi antena radar, tujuan dari pada bentuk dome ini disertai dengan warna hijau adalah untuk tujuan kamuflase atau pengelabuan. Sedangkan untuk metamaterial absorber yang berfungsi untuk menyerap multi frekuensi berada pada potongan yang disambung sehingga berbentuk Dome, sehingga akan dapat melindungi radar.

### 3.7 Gagasan Inovasi

Permasalahan yang ada dan menjadi suatu rumusan masalah, pada akhirnya menimbulkan pemikiran untuk memecahkan masalah terhadap fenomena yang ada sehingga timbul gagasan inovasi yang menjadi novelti yaitu "Ground Radar Stealth". Gagasan inovasi ini kemudian disinkronkan dengan kondisi realita yang ada di lapangan melalui wawancara dan penggunaan tools sehingga didapatkan desain "Ground Radar Stealth" apa yang paling tepat, adaptif dan bermanfaat serta menjawab pertanyaan masalah. Setelah semua dilakukan hal yang penting adalah desain yang berbasis *microwave absorber* perlu dilaksanakan agar dapat mendukung terwujudnya konsep desain "Ground Radar Stealth" sebagai konsep

pertama yang pernah ada. Untuk membuat GRS diperlukan patch-patch yang digabungkan di mana ada langkah atau tahapan yang harus dilakukan baik dari perhitungan, desain melalui software serta uji via software, fabrikasi dan juga uji lapangan.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya dapat dirangkum dalam beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

- a. Pergeseran model perang konvensional ke perang modern yang sarat akan teknologi khususnya dalam perang udara mengakibatkan fenomena di mana Radar dalam suatu medan perang udara yang selalu menjadi CoG dari musuh semakin sulit untuk dilindungi. Hal ini ditambah dengan kondisi sistem pertahanan Indonesia yang masih sangat minim sekali dalam hal melindungi Radar ini, dilain sisi peran Radar sangat vital dalam suatu kondisi pertempuran dan juga pada masa damai.
- b. Kondisi tersebut mendasari dilaksanakannya penelitian ini dengan adanya suatu novelty berupa konsep desain "*Ground Radar Stealth*". Konsep ini merupakan hal pertama kalinya terkait penggunaan teknologi *Stealth*, sebab sebelumnya digunakan pada benda bergerak seperti pesawat dan kapal. Selain itu, penelitian ini sebagai harapan untuk menjawab pertanyaan penelitian tentang bagaimana konsep desain "*Ground Radar Stealth*" yang adaptif terhadap kebutuhan strategi operasi udara dan mengapa dibutuhkan. Hasil dari penelitian ini telah menjawab kedua pertanyaan yang timbul dari fenomena yang ada dari sudut pandang deskriptif kualitatif yang disertai model sederhana sebagai solusi serta gambaran Langkah yang dapat dilakukan selanjutnya.
- c. Desain "*Ground Radar Stealth*" ini akan dapat melindungi dan mengurangi dampak kerusakan Radar dari serangan udara musuh, serta manfaat yang diterima selain dapat melindungi namun juga dapat meningkatkan kemampuan pertahanan negara serta kemandirian Industri sesuai dengan program pimpinan dan

mendukung untuk terciptanya efek deterren sehingga memungkinkan untuk mewujudkan salah satu program Kepala Staf Angkatan Udara yaitu menciptakan TNI AU yang disegani di kawasan.

#### Daftar Pustaka

- Alexandru Marius, P. (2010). General principles of passive radar signature reducing – stealth technology and its application. *Incas Bulletin*, 2(1), 49–54. <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2010.2.1.6>
- Arnold, Brian A; Vitrikas, R. P. (1992). *EFFECT OF MODERN TECHNOLOGY ON AIR POWER AND INTELLIGENCE SUPPORT* (Issue April).
- Banga, N. (2017). RESEARCH ARTICLE RESEARCH ON STEALTH AIRCRAFT AND ITS EFFECT ON RADAR SYSTEM IN MODERN WARFARE. *International Journal of Current Research*, 9(08), 55654–55658.
- Bilotti, F., & Sevgi, L. (2012). Metamaterials: Definitions, properties, applications, and FDTD-based modeling and simulation (Invited paper). *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 22(4), 422–438. <https://doi.org/10.1002/mmce.20634>
- Bowers, I. (2017). Power asymmetry and the role of deterrence in the South China Sea. *Korean Journal of Defense Analysis*, 29(4), 551–573.
- Cataldo, G. (2015). *Development of ultracompact, high-sensitivity, space-based instrumentation for far-infrared and submillimeter astronomy*. June.
- Costa, F., Kazemzadeh, A., Genovesi, S., & Monorchio, A. (2016). Electromagnetic absorbers based on frequency selective surfaces. *Resistor*, 37(1), 1.
- Dove, L. L. (n.d.). *What is an infrared grill\_ - How Infrared Grills Work \_ HowStuffWorks*.
- Echols, John M; Shadilly, H. (2000). *Kamus Inggris Indonesia*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Gunzinger, M., Rehberg, C., & Autenried, L. (2020). Five priorities for the air force's future combat air force. *CSBA Center for Strategic and Budgetary Assessments*.
- Hasanah, U. (2007). *Penerapan konsep quality function deployment (QFD) dalam*

*meningkatkan kualitas dan mengembangkan produk sepeda motor honda karisma 125D.*

Jenn, D. (2011). RCS Reduction and Control. In *EC4630 Radar and Laser Cross Section* (Issue Chapter 7, pp. 1–18). Naval Postgraduate School Department of Electrical & Computer Engineering.

Jha, B., & Aswale, M. (2016). Mechanical Aspects in Stealth Technology: Review. *Int. J. of Eng. Tech. Res.*, 4(4), 21–27.  
<https://www.scribd.com/document/348322189/IJETR041555>

John W, C. (2019). *Research Design*. Pustaka Pelajar.

Kapur, V. (2014). Stealth Technology and Its Effect on Aerial Warfare. In *IDSA Monograph Series* (Vol. 33, Issue 33).

Kolonel, Budi Sarjono, H. (1995). *OPTIMALISASI GELAR RADAR HANUD GUNA MENINGKATKAN PERTAHANAN UDARA DALAM RANGKA MENJAGA KEDAULATAN NEGARA DI UDARA. 1945, 1–22.*

Kopp, C. (2000). Stealth in Strike Warfare. In *Ausairpower.Net*.  
<https://www.ausairpower.net/API-VLO-Strike.html>

Kopp, C. (2013). *Stealth Technology*. <https://doi.org/n438>

Kott, A., & Perconti, P. (2018). Long-term forecasts of military technologies for a 20–30 year horizon: An empirical assessment of accuracy. *ArXiv*.

Kumar, R. A. (2014). *Stealth Technology*. <https://doi.org/10.4135/9781452276335.n438>

Kumar, S., Mishra, S., & Gupta, S. (2014). Stealth Technology : the Fight Against Radar. *International Journal of Advances in Electronics and Computer Science*, 1(2), 44–49.

Kurz, A., & Brom, S. (2014). *The Lessons of Operation Protective Edge*.

*Layman's Terms \_ Definition of Layman's Terms by Merriam-Webster*. (n.d.).  
[https://www.merriam-webster.com/dictionary/layman%27s terms](https://www.merriam-webster.com/dictionary/layman%27s%20terms)

Mohammad AA, Caecilia SW, L. I. (2015). RANCANGAN PRODUK SEPATU OLAHRAGA MULTIFUNGSI MENGGUNAKAN METODE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 3.

Munir, Ahmad; Nur, L. O. (2012). *Rancang Bangun Material Antideteksi Radar Berbasis*

*Teknologi Texture Surface Untuk Platform Kendaraan Tempur. 14–20.*

- Neill, M. B. P. O. (2011). *The Four Forces Airpower Theory*.
- Nur, L. O., Kurniawan, A., Sugihartono, & Munir, A. (2015). Theoretical analysis of resonant frequency for AMC-based absorber composed of square patch array. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 7(2), 284–296. <https://doi.org/10.15676/ijeei.2015.7.2.9>
- Nur, L. O., & Munir, A. (2015). Thin em wave absorber composed of octagonal patch array and its characteristic measurement. *2015 3rd International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2015*, 604–607. <https://doi.org/10.1109/ICoICT.2015.7231494>
- Ong, C. H. (2015). A Study of Sun Tzu's Art of War and Clausewitz's On War. *Pointer, Journal of The Singapore Armed Forces*, 41(2), 68–80. [https://www.mindef.gov.sg/oms/content/dam/imindef\\_media\\_library/graphics/pointer/PDF/2015/Vol.41 No.2/7\) V41N2\\_A Study Of Sun Tzu-s Art Of War And Clausewitz-s On War.compressed.pdf](https://www.mindef.gov.sg/oms/content/dam/imindef_media_library/graphics/pointer/PDF/2015/Vol.41 No.2/7) V41N2_A Study Of Sun Tzu-s Art Of War And Clausewitz-s On War.compressed.pdf)
- PEN SEKKAU. (2020). *10 Kasau \_ "Wujudkan TNI AU Menjadi Angkatan Udara Yang Disegani Di Kawasan."* <https://tni-au.mil.id/kasau-wujudkan-tni-au-menjadi-angkatan/>
- PK, M. (2020). *Advancement of Technology and Future of Warfare. October*, 508–527. <https://www.researchgate.net/publication/344506910%0AADVANCEMENT>
- Rajapatel, M., Dhoble, P. P., & Raut, P. O. (2019). Implementation of Stealth Tech on Tank. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(11), 1658–1664.
- Rao, A. G., & Mahulikar, S. P. (2018). *Integrated review of stealth technology and its role in airpower PhD Student , 2 Assistant Professor Department of Aerospace Engineering. December 2002.*
- Rao, R. J. (1999). *Introduction to Camouflage and Deception* (D. Bedi (Ed.); Vol. 1). DESIDOC.
- Sape, J. (2014). *GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK*. <http://nary-junary.blogspot.com/2014/11/gelombang-elektromagnetik.html>
- Stealth Technology and Air Warfare*. (1991).

- Sugiyono, P. D. (2013). *Memahami Penelitian Kualitatif* (8th ed.). ALFABETA.
- Suk, G. H. (1990). *The Design of Broadband Radar Absorbing Surfaces*.
- Tellis, A. J. (2011). *Dogfight*. Carnegie Endowment for International Peace.
- Wang, C., Chen, M., Lei, H., Yao, K., Li, H., Wen, W., & Fang, D. (2017). Radar stealth and mechanical properties of a broadband radar absorbing structure. *Composites Part B: Engineering*, 123(May), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.05.005>
- Zhang, Y., Von Hagen, J., & Wiesbeck, W. (2002). Patch array as artificial magnetic conductors for antenna gain improvement. *Microwave and Optical Technology Letters*, 35(3), 172–175. <https://doi.org/10.1002/mop.10548>
- Zikidis, K., & Skondras, A. (2014). Low Observable Principles, Stealth Aircraft and Anti-Stealth Technologies Introduction – Historical background of stealth aircraft. *Journal of Computations & Modelling*, 4(1), 129–165.
- Ziolkowski, R. W. (2006). *Metamaterial-Based Antennas : Research and Developments*. 9, 1267–1275.