

## RANCANG BANGUN SARANA UJI COATING ANTIRADAR

## DEVELOPMENT AND DESIGN OF ANTI-RADAR COATING MATERIAL FACILITY TEST

Maulana Randa  
 Puslitbang Iptekhan Balitbang Kemhan  
 Jl. Jati No.1, Pondok Labu, Jakarta Selatan  
 maulana.randa@kemhan.go.id

## ABSTRAK

Sejak tahun 2014 Balitbang Kementerian Pertahanan telah mengembangkan material antiradar yang berbasis barium hexaferrite. Material ini akan digunakan untuk melapisi badan ranpur milik TNI. Sehubungan dengan pengembangan yang telah dilakukan, maka dibutuhkan sebuah sarana pengujian material antiradar tersebut. Dengan adanya sarana pengujian ini diharapkan penelitian tentang material antiradar akan semakin berkembang pesat. Sarana pengujian material antiradar yang dimaksud berupa anechoic chamber. Ruang tersebut terbuat dari lempengan baja dengan ketebalan tertentu yang dapat menahan sinyal dari luar sehingga tidak masuk ke dalam ruangan. Selain itu, di dalam ruangan tersebut terdapat absorber yang berfungsi untuk mencegah terjadinya pantulan sinyal saat dilakukan pengukuran. Dengan demikian, bisa didapatkan kondisi ideal pengukuran, yaitu tanpa adanya interferensi sinyal dari luar maupun pantulan sinyal dari perangkat pengukuran. Pengukuran yang akan dilakukan di dalam anechoic chamber ini antara lain pengukuran Radar Cross Section (RCS). Pengukuran RCS menggunakan standar dari Naval Research Laboratory (NRL). Dari hasil kegiatan rancang bangun yang dilakukan, didapat anechoic chamber dengan ukuran 4 x 5 x 3 meter. Anechoic chamber ini dioptimalkan untuk pengukuran pada rentang frekuensi X-band (8,2–12,4 GHz). Dari hasil uji fungsi diketahui bahwa anechoic chamber yang dibangun dapat digunakan untuk melakukan pengujian RCS sampel dengan ukuran 5,2–70,2 cm dengan akurasi hingga 98%.

**Kata Kunci:** radar cross section (RCS), anechoic chamber, absorber material

## ABSTRACT

Since 2014 Ministry of Defense has developed a barium hexaferrite-based anti-radar material. This material will be used to coat TNI's military vehicles. As the development has been done, it needs a testing facility to examine the material. By the existence of this testing facility, it is expected that researches on anti-radar material will be developing rapidly. The required testing facility is an anechoic chamber. The chamber is made of steel plate with a certain thickness to withstand the signal from the outside so it does not get into the room. There is also absorber in this room which serves to prevent signal reflection. Thus, the measurement can be held in ideal condition that is without any interference from outside signals or signal reflections from the measurement device. The measurements that will be carried out include Radar Cross Section (RCS). RCS measurements use a standard from the Naval Research Laboratory (NRL). The designing and developing activities result in an anechoic chamber with dimensions of 4 x 5 x 3 meters. The anechoic chamber is optimized for measurements in X-band frequency range (8.2 to 12.4 GHz). From the test results, we knew that the built anechoic chamber can be used for RCS testing for samples whose size is 5.2–70.2 cm with an accuracy up to 98%.

**Keywords:** radar cross section (RCS), anechoic chamber, absorber material

## PENDAHULUAN

Sebagaimana telah dikembangkan oleh negara-negara maju, seperti Amerika Serikat, teknologi antiradar sudah sangat canggih. Antiradar memiliki kemampuan untuk menghindari pendeteksian, baik deteksi secara visual, audio, sensor panas, maupun gelombang radio (Watts, 1987). Salah satu contohnya adalah pesawat dengan konstruksi dan warna tertentu secara

visual lebih sulit terlihat karena warnanya sama dengan warna latar belakangnya (kamouflage) (Chai, Tong, & Wang, 2014).

Radar infra merah mampu mendeteksi panas yang timbul dari badan pesawat atau dari temperatur udara di sekeliling pesawat yang biasanya ditimbulkan oleh saluran buangan udara mesin atau *exhaust* dan *leading edge* (bagian pesawat yang pertama membelah udara) (Wang & Chen, 2008). Sistem deteksi radar gelombang

radio (*microwave*) adalah teknologi modern yang paling baik, karena radar dengan pemancar mikro ini mampu mendeteksi suatu benda (pesawat, misil) dengan jarak hingga ratusan kilometer.

Pada antiradar, salah satu cara untuk mencegah gelombang dari radar adalah dengan melapisi badan pesawat dengan material penyerap radar (*radar absorbing material*/RAM) yang terbuat dari material feromagnetik dan polimer. Prinsip kerja material antiradar adalah sedapat mungkin menyerap gelombang mikro yang ditransmisikan radar dan memantulkan intensitas radiasi yang sangat kecil ke arah lain sedemikian rupa sehingga gelombang tersebut menjadi hilang atau saling meniadakan.

Secara umum, ada dua cara yang dapat digunakan untuk menghindari pantauan radar. Pertama, dengan membentuk badan kendaraan tempur (ranpur) sedemikian rupa sehingga sinyal radar yang sampai padanya disebar. Dengan demikian, sinyal yang kembali ke *receiver* radar musuh sangat sedikit dan mengesankan seolah-olah objek yang terdeteksi bukan ranpur. Kedua, dengan melapisi ranpur menggunakan material yang dapat menyerap sinyal radar, sehingga tidak terdeteksi radar musuh.

Sejak tahun 2014 Balitbang Kementerian Pertahanan telah mengembangkan material antiradar yang berbasis *barium hexaferrite*. Material ini akan digunakan untuk melapisi badan ranpur milik TNI. Sehubungan dengan pengembangan yang telah dilakukan, maka dibutuhkan sebuah sarana untuk pengujian material antiradar tersebut. Dengan adanya sarana pengujian ini, diharapkan penelitian tentang material antiradar akan semakin berkembang pesat. Sarana pengujian material antiradar yang dimaksud berupa *anechoic chamber*.

*Anechoic chamber* berupa ruangan yang terbuat dari lempengan baja dengan ketebalan tertentu sehingga dapat menahan sinyal dari luar agar tidak masuk ke dalam ruangan. Selain itu, di dalam ruangan tersebut terdapat serapan (*absorber*) yang berfungsi untuk mencegah terjadinya pantulan sinyal saat dilakukan pengukuran. Dengan demikian, maka bisa didapatkan kondisi ideal pengukuran, yaitu tiadanya interferensi sinyal dari luar maupun pantulan sinyal dari perangkat pengukuran. Pengukuran yang akan dilakukan di dalam *anechoic chamber* ini antara

lain pengukuran *radar cross section* (RCS). Pengukuran RCS dilakukan berdasarkan standar dari Naval Research Laboratory (NRL).

Metode yang dipilih untuk pengukuran adalah metode *far field* di dalam ruang tertutup yang melibatkan *anechoic chamber*. Metode ini memiliki kelebihan, terutama berupa kebutuhan ruang yang relatif kecil, sehingga posisi target dan sistem kontrol dapat lebih presisi. Penelitian ini akan melakukan kajian secara komprehensif mengenai kemampuan perangkat uji *anechoic chamber* yang dibangun di Laboratorium Kementerian Pertahanan (LKP-*Chamber*). LKP-*Chamber* dibangun dengan metode *far field* RCS *range* yang memiliki kemampuan untuk pengujian monostatis dan bistatis dengan menggunakan *arch positioner object* STP1500-PP produksi Jerman. Perangkat uji dilengkapi dengan RCS *software* produksi Amerika Serikat yang memiliki akuisisi data hingga dapat menampilkan sistem ISAR 2D dan 3D dan dapat melakukan pengenalan objek dengan refleksibilitas (*reflectibility*) hingga -70 dBm. Pengujian dan kalibrasi dilakukan dengan menggunakan berbagai bentuk objek (bola, silinder, dan plat) yang memiliki berbagai ukuran. Pengujian *reflectibility* juga menggunakan *absorber* RAM tipe *ferrite* pada berbagai rentang frekuensi. Penyerap gelombang radar ini memiliki kemampuan untuk mereduksi radiasi pantul dari sumber radar. Reduksi radiasi yang rendah akan mengurangi efektivitas radar dalam menganalisis target. Material antiradar (*stealth material*) memiliki berbagai persyaratan, antara lain memiliki bentuk/sifat mekanik yang baik, ketebalan yang relatif rendah dalam orde mikrometer hingga mm, dan permitivitas serta permeabilitas yang sesuai dan disesuaikan dengan frekuensi sumber radar. Besaran permitivitas dan permeabilitas material adalah faktor penting, karena dapat digunakan sebagai optimalisasi kemampuan material dalam menyerap gelombang radar pada frekuensi yang dikehendaki.

Dalam penelitian ini dilakukan kajian dan pengembangan sarana uji *coating* antiradar tersebut. Hal-hal yang akan dikaji dan dikembangkan antara lain mencari ukuran ruangan yang optimal sesuai sarana yang ada saat ini, penggunaan standar-standar yang ada, serta pengujian menggunakan beberapa material yang telah dibuat.

## METODE PENELITIAN

### Metode Pengukuran *Shielding Effectiveness*

Sesuai dengan acuan MIL-STD-285 mengenai *Shielding Effectiveness*, atenuasi merupakan perbandingan daya yang diterima di sisi berlawanan dari selubung (*shield*) ketika selubung tersebut terkena paparan radiasi elektromagnetik. Atenuasi juga dapat dijelaskan sebagai *figure of merit* untuk mendesain efektivitas selubung elektromagnetik. Nilai atenuasi diekspresikan dalam nilai desibel.

Pengukuran tegangan per rasio daya dilakukan dengan mengukur daya yang diterima akibat gelombang elektromagnetik yang diterima, dan diekspresikan dengan nilai desibel. Ketika impedansi gelombang memiliki nilai yang identik antara  $E_1$  dan  $E_2$  untuk mengukur intensitas medan listrik, maka intensitas tersebut dapat diekspresikan dalam persamaan (1) sebagai berikut.

$$\text{Attenuation}(db) = 20 \log \frac{E_1}{E_2} \quad (1)$$

Diasumsikan bahwa impedansi gelombang akan memiliki nilai yang identik dan metode perbandingan ini dapat digunakan untuk meyakinkan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan adalah benar.

### Metode Pengukuran *Absorber*

*Absorber* elektromagnetik merupakan sebuah material yang dapat menyerap gelombang elektromagnetik. Dalam hal ini, penyerapan terjadi dalam artian gelombang elektromagnetik terpantulkan di dalam *absorber* yang memiliki banyak pori sehingga gelombang tersebut bertransformasi menjadi energi lain. Fungsi dari pelapisan *absorber* dalam *full anechoic chamber* adalah sebagai penahan gelombang elektromagnetik di dalam *chamber* sehingga kondisi pengukuran menjadi ideal. Dalam hal ini, yang dimaksud ideal adalah tidak ada gelombang elektromagnetik yang kembali ke sumber sinyal di dalam ruangan, sehingga yang terukur benar-benar dari alat yang tengah diukur, dan bukan pantulan atau penguatan dari pantulan tersebut.

Adapun standar *absorber* yang dapat digunakan untuk kepentingan militer harus memenuhi ketentuan yang diatur dalam MIL-

STD-461E yang dibuat oleh *Departement of Defense* Amerika Serikat. Dalam sub-bab ini akan dibahas mengenai metode pengukuran material *absorber* dengan mengikuti standar tersebut.

### Perangkat Uji RCS

Perangkat pengukuran RCS pada sistem radar menggunakan *far field chamber* dengan sistem gelombang radar *continues wave* (CW). Pada model, perangkat uji RCS ini dikembangkan dengan dua buah antena sebagai *transmitter* dan *receiver* yang dapat dikonstruksi sebagai radar monostatis dan bistatis. Untuk radar monostatis, antara *receiver* dengan transmitter diposisikan dengan sudut hampir  $0^\circ$ , sedangkan untuk radar bistatis dapat diposisikan hingga  $156^\circ$ .

Perangkat posisi sampel uji dikontrol dengan *compact table* CT 0800 berdiameter 800 mm dan kemampuan menahan beban hingga 75 kg. *Compact table* dilengkapi dengan sistem kontrol komputer berkecepatan 0,5–2,0 rpm dengan akurasi  $1^\circ$  dan rotasi sudut  $\pm 200$ .

Sistem transmisi dan *receiver* antena berbentuk *horn* diagonal dengan panjang 8 cm dan lebar 10 cm untuk mentransmisikan gelombang Xband (8–12 GHz) dengan sistem direksional. Gelombang radar dihasilkan dari perangkat *network analyser* dengan gelombang kontinu dan daya maksimum 12 dB yang dikirim ke antena transmisi.

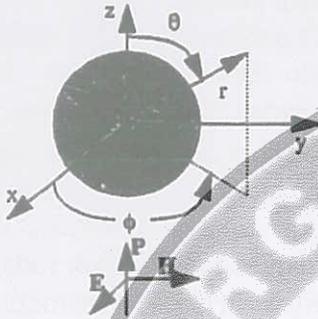
Perangkat pengukuran RCS dikontrol secara otomatis menggunakan komputer dengan *software* yang dikembangkan oleh MARS *system*. *Software* RCS mampu menunjukkan frekuensi respons dan *time domain*. Pengukuran dilakukan dengan parameter elevasi dan azimut hingga  $360^\circ$ .

Satu permasalahan penting dalam pengukuran terkait dengan *software* untuk kalibrasi. Pada kalibrasi standar digunakan bola dengan berbagai diameter, mulai dari 5 cm hingga 30 cm. Perangkat kalibrasi juga menggunakan berbagai model, seperti plat, silinder, serta *cone*.

### Kalibrasi dengan Bola

Bola konduktor sempurna yang terbuat dari bahan aluminium atau tembaga biasanya dijadikan target standar. Bentuk geometri bola merupakan bentuk yang paling sederhana sehingga dapat ditentukan secara pasti. Kajian mendalam tentang permasalahan standar hamburan dari bentuk bola

sangat penting dilakukan karena gelombang bidang yang menghambur secara seragam pada permukaan bola yang merambat pada bidang z selalu terpolarisasi pada arah x sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Arah polarisasi hamburan medan elektromagnetik pada target berbentuk bola

Sistem kalibrasi akan dapat memberi kuantitas RCS, juga dapat memberi gambaran nyata tentang daya yang diterima oleh receiver antenna. Permasalahan daya receiver adalah sesuatu yang sangat kompleks, menyangkut perhitungan nilai RCS dalam satuan dBsm dengan fase dan frekuensi gelombang radar yang digunakan. Besarnya medan listrik dari sumber ditunjukkan oleh persamaan (2) dan persamaan (3) berikut ini.

$$E^i = a_x E^i = a_x E_0 e^{j\beta z} \quad (2)$$

$$E^i = a_x E_0 e^{j\beta z} = a_x E_0 e^{j\beta r \cos \theta} \quad (3)$$

Dengan  $a_x$  sebagai vector pointing pada arah x, dan  $\lambda$  sebagai panjang gelombang dari radiasi yang datang. Pada kasus monostatis RCS, bila jari-jari bola adalah  $a$ , maka dari besarnya RCS sesuai dengan persamaan (3) didapat persamaan (4).

$$\sigma \equiv 4\pi r^2 \left( \frac{E_s}{S_i} \right)^2 \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{\lambda^2}{4\pi} \left| \sum \frac{(-1)^n (2n+1)}{d} \frac{d}{d\beta a} (H_n^2(\beta a) H_n^2(\beta a)) \right|^2 \quad (5)$$

Dengan  $H_n(\beta a)$  merupakan fungsi Hankel,

di mana:

$$H_n^2(\beta a) = J_n(\beta a) + jY_n(\beta a) \quad (6)$$

Dengan  $J_n$  dan  $Y_n$  sebagai fungsi Bessel untuk bola pada orde kedua, sehingga untuk kasus yang nilai jari-jarinya relatif kecil diperoleh nilai:

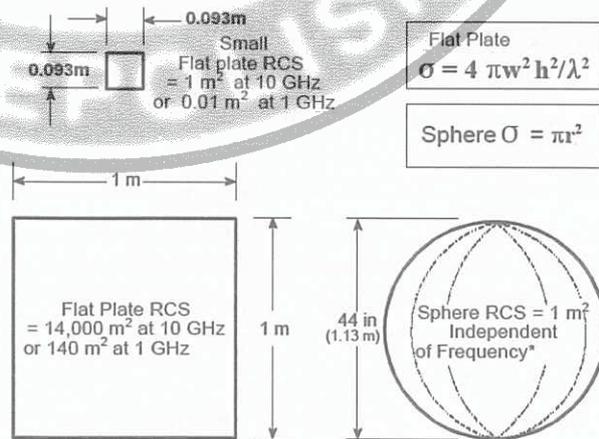
$$\sigma = 9\pi a^2 \left( \frac{2\pi a}{\lambda} \right)^2 \quad (7)$$

Untuk jari-jari bola yang cukup besar didekati dengan nilai:

$$\sigma = \pi a^2 \quad (8)$$

Persamaan di atas akan berlaku bila  $2\pi a/\lambda < 1$ , sedangkan untuk kasus jari-jari bola  $1 < 2\pi a/\lambda < 10$  dan untuk nilai  $2\pi a/\lambda > 10$  dapat digunakan perumusan.

Pada kasus bola, polarisasi yang dihasilkan dari radiasi radar datang dan terhambur memiliki nilai polarisasi yang sama. Artinya, cross polarisasi dari sinar datang yang ditransmisikan radar dan radiasi hambur akan bernilai nol karena arah perambatan radiasi datang dan radiasi hambur berlawanan.



Gambar 2. Ilustrasi perhitungan RCS target bola.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa berdasarkan kalkulasi matematis, sebuah bola dengan ukuran diameter 1,13 m akan memiliki nilai RCS sebesar 1 m<sup>2</sup> dan tidak bergantung pada frekuensi sumber radar. Akan tetapi, sebuah plat dengan ukuran

1 m<sup>2</sup> akan memiliki nilai RCS sebesar 140 m<sup>2</sup> apabila dilihat dengan radar pada frekuensi 1 GHz, dan akan memiliki nilai RCS sebesar 14.000 m<sup>2</sup> bila dilihat dengan radar berfrekuensi 10 GHz. Hubungan tersebut menjelaskan bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan, maka benda dengan luas penampang geometri yang sama akan dapat mempresentasikan nilai RCS yang berbeda-beda.

Dengan mengetahui nilai RCS hasil pengukuran sebagai target standar  $\sigma_s$  dan  $\sigma_T$ , maka dengan metode *far field* dapat dihitung nilai eksak dari RCS target, yaitu dengan menggunakan kriteria yang sama dari standar maupun target menyangkut nilai *range*, frekuensi, serta daya transmisi. Penyelesaian persamaan (9) dapat digunakan untuk menentukan besarnya RCS target.

$$\frac{P_{rT} (4\pi)^3 r^4}{\sigma_T \lambda^2 G^2} = \frac{P_{rS} (4\pi)^3 r^4}{\sigma_S \lambda^2 G^2} \quad (9)$$

Sehingga

$$\sigma_T = \left( \frac{P_{rT}}{P_{rS}} \right) \sigma_S \quad (10)$$

Nilai RCS dari bola dapat digunakan sebagai faktor pembanding terhadap nilai RCS dari target untuk sembarang frekuensi, tetapi nilai eksak dari RCS harus juga diperhitungkan terhadap besarnya kuantitas *background* dari bola standar, *background* dari target, dan nilai *background* dari target dan standar. Dengan demikian, persamaan (10) dapat dikoreksi dengan:

$$P_{rT} = P_T - P_{TB} \quad (11)$$

dan

$$P_{rS} = P_B - P_{sB} \quad (12)$$

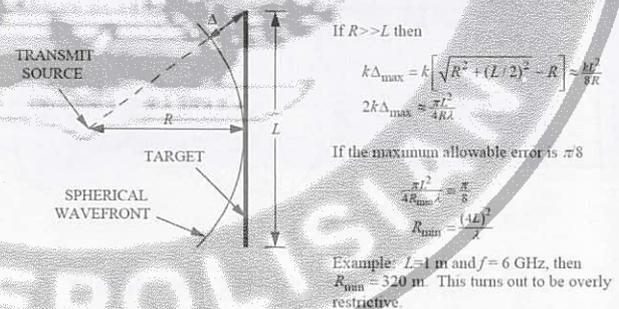
Dengan  $P_{rT}$  sebagai daya target,  $P_T$  dan  $P_{TB}$  masing-masing sebagai target *background*,  $P_{rS}$  sebagai bola kalibrator sedangkan  $P_S$  dan  $P_{sB}$  masing-masing sebagai daya bola dan daya bola *background*. Dari kedua persamaan di atas dapat dirumuskan secara sederhana nilai RCS dari

target yang menggunakan pengukuran di dalam ruang *chamber* dalam bentuk:

$$\sigma_T = \left( \frac{P_T - P_B}{P_S - P_B} \right) \sigma_S \quad (13)$$

Di samping kalibrasi sumber radiasi terhadap target, dalam pengukuran RCS target juga harus diperhatikan pola gelombang radar yang digunakan. Pola gelombang transmisi radar yang sesungguhnya berbentuk *radial wave* akan mempersulit, sehingga untuk beberapa kasus, dalam pengukuran di dalam *chamber* diperlukan adanya berbagai pendekatan, mengingat bentuk *plane wave* yang sebenarnya tidak pernah dijumpai dalam penjalaran gelombang.

Untuk meminimalkan kesalahan dalam pengukuran, pengukuran dilakukan dengan jarak *down range target zone* yang dapat diturunkan dari jarak minimum antara target dengan antenna transmiter dengan tingkat kesalahan kurang dari 1 dB.



Gambar 3. Ilustrasi perhitungan *down range*.

Dengan  $R_{\min}$  sebagai jarak minimum target terhadap antenna transmiter dan  $L$  ukuran dari target. Untuk meminimalkan tingkat kesalahan, pengukuran dilakukan dengan *time gate* pada receiver. Artinya, hanya sinyal-sinyal yang ada dalam *time gate* yang digunakan. *Time gate* dapat disetarakan dengan melihat ukuran sampel (*cross range*). Hasil rancang bangun pada nilai  $R$  sebesar 1,54 cm dengan hasil perhitungan *cross range* untuk frekuensi 300 KHz hingga 18 GHz dapat ditunjukkan dalam gambar 3.

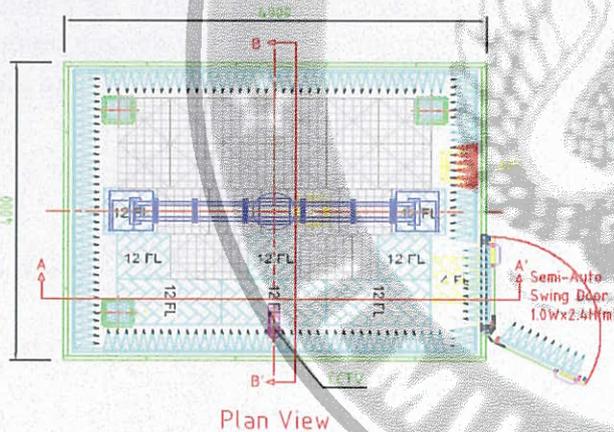
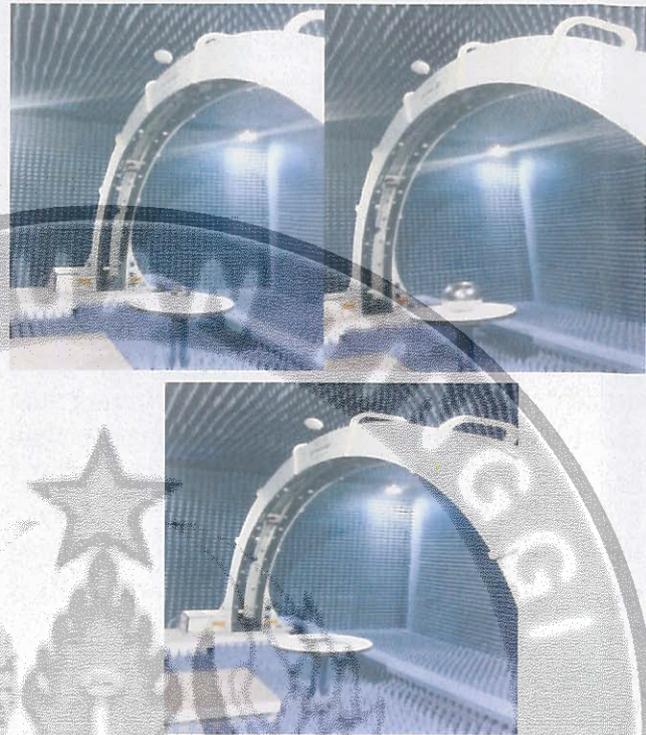
Dengan menggunakan target berbentuk plat untuk frekuensi radar X-band (8,2–12,4 GHz) dapat dihitung *cross range*  $R$ . Untuk jarak  $R$  sebesar 1,56 m sesuai rancang bangun diperoleh

nilai L pada kisaran 12,18 cm (untuk frekuensi 8,2 GHz) hingga 19,67 cm (untuk frekuensi 12,4 GHz).

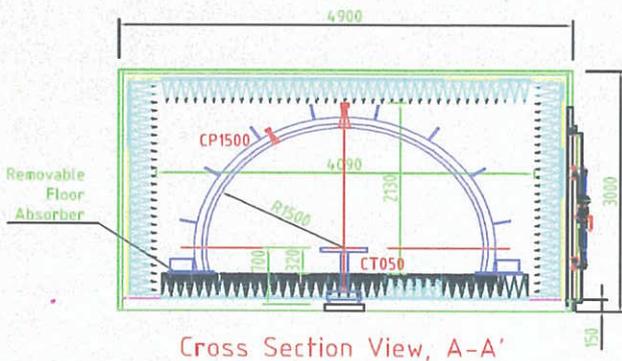
**Desain Chamber**

Dimensi *chamber* adalah 4 m x 5 m dengan ketinggian 3 m dan dilengkapi dengan *positioner* berbentuk setengah lingkaran berjari-jari 1,5 m. Pada semua sisi dinding dibuat *pyramidal absorber* dengan panjang 400 mm dan dimensi dasar 12 x 12 cm<sup>2</sup>. Pada langit-langit dan pedestal bentuk *absorber* menggunakan dimensi dan bentuk yang berbeda untuk mengurangi refleksi pada ruang *chamber*. *Pyramidal absorber* menggunakan Eccosorb VHP-2 yang mampu menyerap radiasi radar antara 1–24 GHz sebesar -70 dB dan bekerja pada temperatur hingga 90° Celcius.

**Kalibrasi RCS**



Gambar 4a. Tampak atas desain anechoic chamber.



Gambar 4b. Tampak samping desain anechoic chamber.

Gambar 5. Proses kalibrasi dengan berbagai bentuk target kalibrasi.

Pada pengukuran *time domain* yang ditunjukkan dalam Gambar 6 terlihat tiga puncak intensitas yang berasal dari refleksi *horn*, sampel, dan refleksi dari material uji. Ketiga puncak refleksi dapat digunakan untuk menentukan jarak posisi sampel terhadap transmiter. Ketiga masalah *time domain* dapat digunakan sebagai penentuan awal titik kehadiran dari sinyal di dalam *chamber* untuk kasus monostatis. Pada pengukuran 8–12,4 GHz, *bandwide* 4,4 Ghz digunakan untuk mengukur dengan antena *horn* yang diatur pada polarisasi vertikal. Pada hasil pengukuran *chamber* tanpa melibatkan target terlihat bahwa *chamber* memiliki kemampuan refleksi hingga kurang dari -75 dB. Hal ini cukup sesuai untuk menghasilkan pengukuran yang cukup presisi.

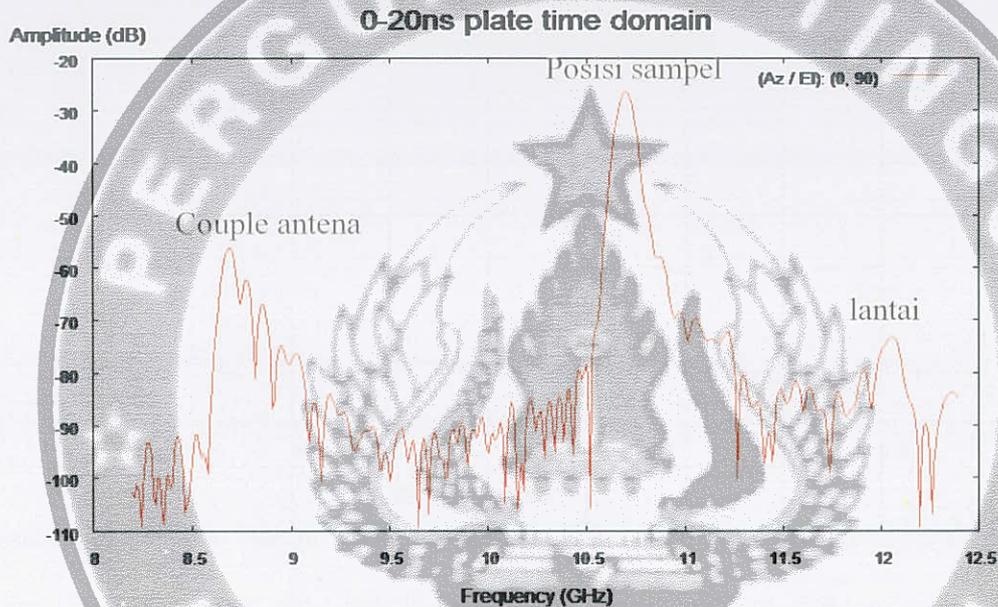
Sinyal yang dominan pada *chamber* terletak pada *coupling* antena dan target, seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Adapun refleksi dari *chamber* relatif rendah karena adanya *radar absorbing material* (RAM). Untuk menentukan RCS dari target diperlukan sistem *gating* yang dapat dilakukan secara otomatis menggunakan *time domain software* yang diletakkan dalam VNA. Setelah *gating* dapat dilakukan dengan sempurna, maka jarak absolut target terhadap

antena dapat diketahui dengan baik. Meskipun hal ini dapat diprediksi dengan menentukan posisi absolutnya.

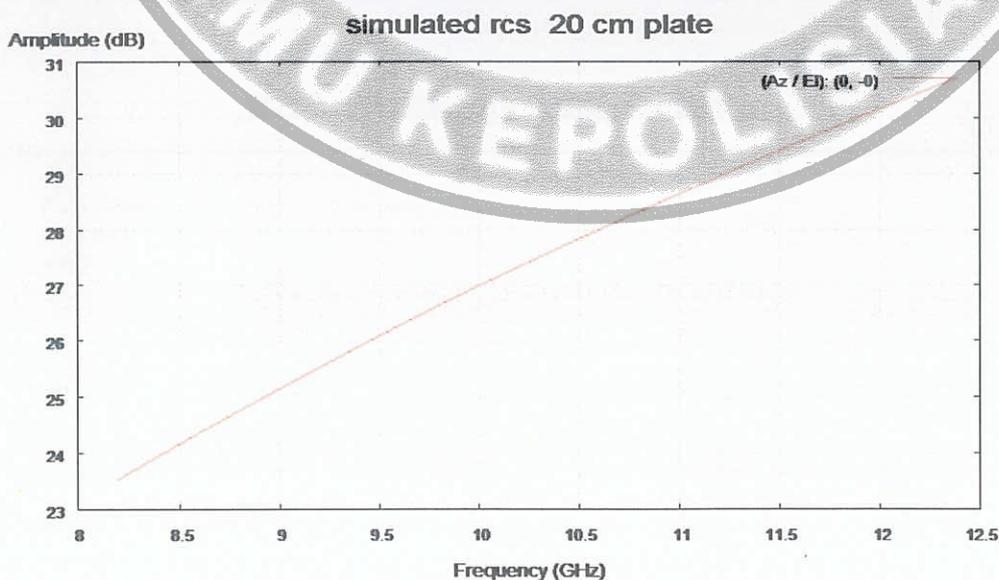
VNA L memiliki beberapa *string* instrumen yang dapat menentukan pola, baik untuk monostatis, pseudomonostatis, maupun bistatis, termasuk skala dalam  $S_{11}$  frekuensi *range* dan sistem *gating*. Sistem pelebaran *gating* dapat digunakan untuk menentukan posisi target secara

akurat.

Prediksi dari bentuk pengukuran dalam penelitian RCS dalam *chamber* menggunakan bola dan plat sebagai kalibrator. Antena *transmitter* dan *receiver* berada dalam bidang X-Y, sementara target terletak tegak lurus terhadap bidang tersebut. Posisi sumbu X dan sumbu Y terletak pada sudut  $0^\circ$  seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Posisi penempatan target terhadap *receiver* dan antena *transmitter*.



Gambar 7. Hasil pengukuran RCS dari berbagai bentuk sampel akan dibandingkan dengan hasil simulasi yang dikembangkan oleh DAMs.

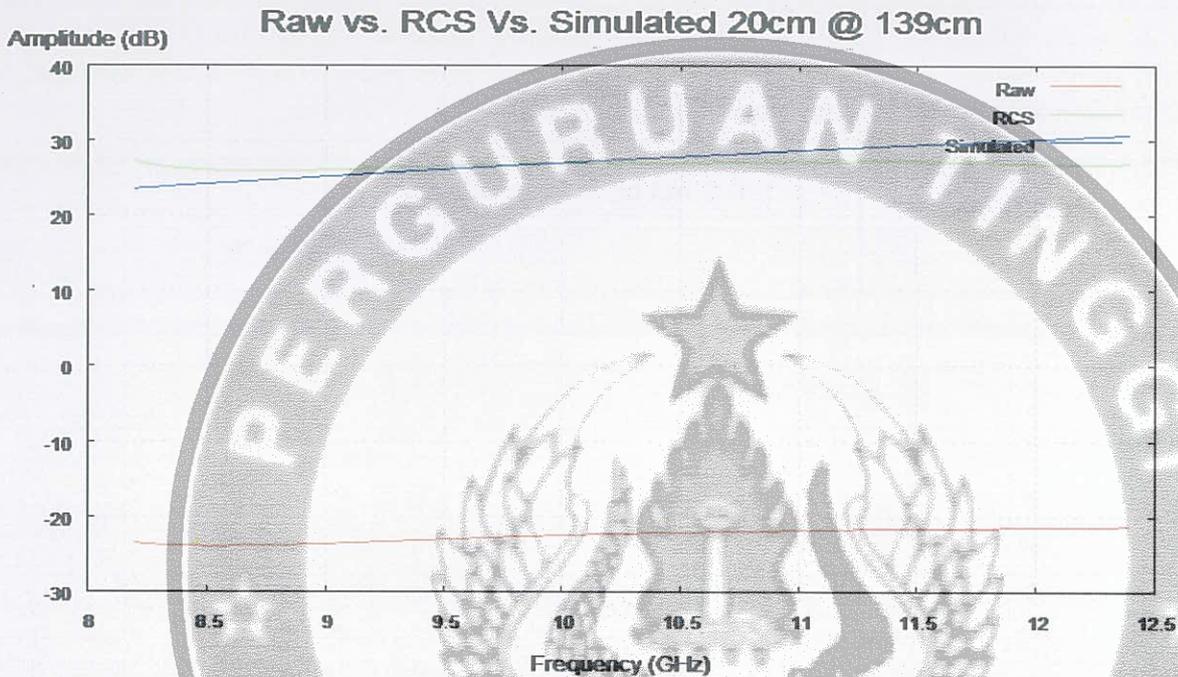
Seperti telah dijelaskan sebelumnya, program komputer DAMs dapat digunakan untuk

menentukan RCS dari bentuk bola dan plat bujur sangkar. Dalam percobaan awal digunakan bola dengan ukuran diameter 20 cm. Hasil simulasi

diperbandingkan dengan nilai kalkulasi terukur. Hasil pengukuran RCS bola diperlihatkan pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 terlihat bahwa RCS hasil

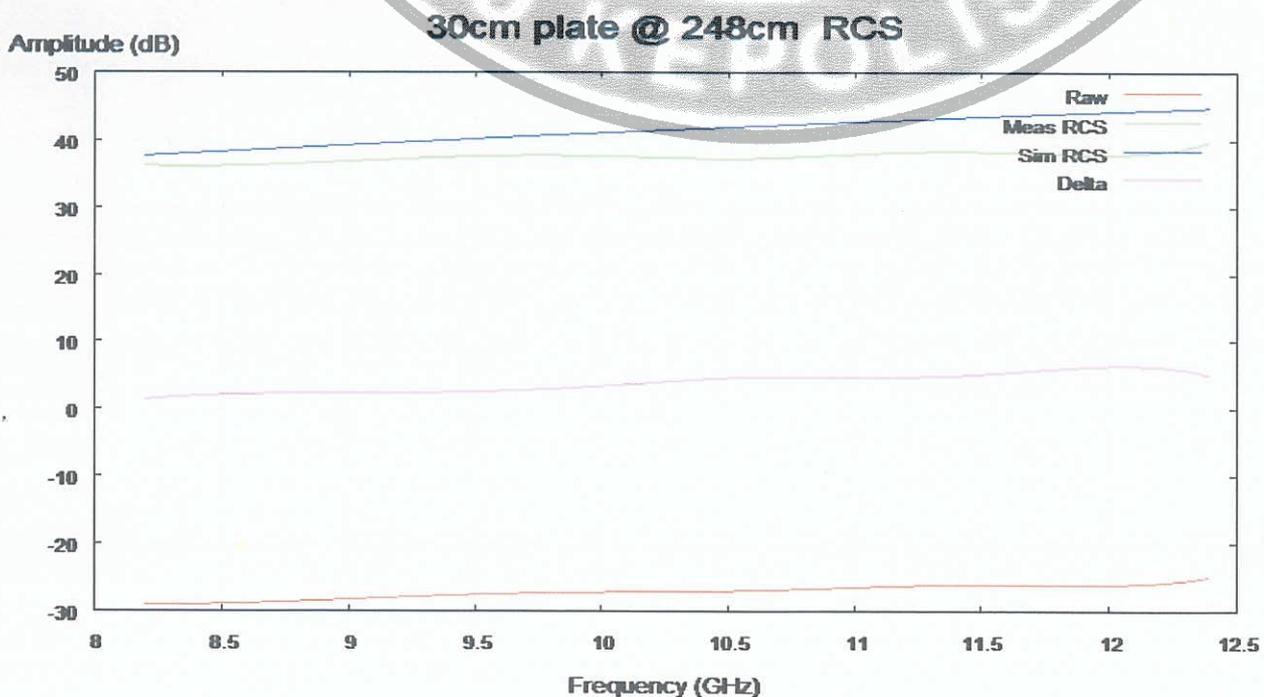
pengukuran dan hasil simulasi memiliki nilai yang saling mendekati. Error yang terjadi dari hasil perbandingan ini sangat kecil, yaitu rata-rata di bawah -20 dB.



Gambar 8. Grafik perbandingan RCS hasil pengukuran dan simulasi dengan target bola 20 cm.

Gambar 9 menunjukkan hasil perbandingan nilai RCS hasil pengukuran dan hasil simulasi, dengan target berupa plat dengan ukuran 30 x 30 cm<sup>2</sup>. Dari Gambar 9 terlihat bahwa hasil

pengukuran dan hasil simulasi memiliki nilai yang saling mendekati. Perbedaan yang terjadi antara kedua pengukuran tersebut di bawah -30 dB.

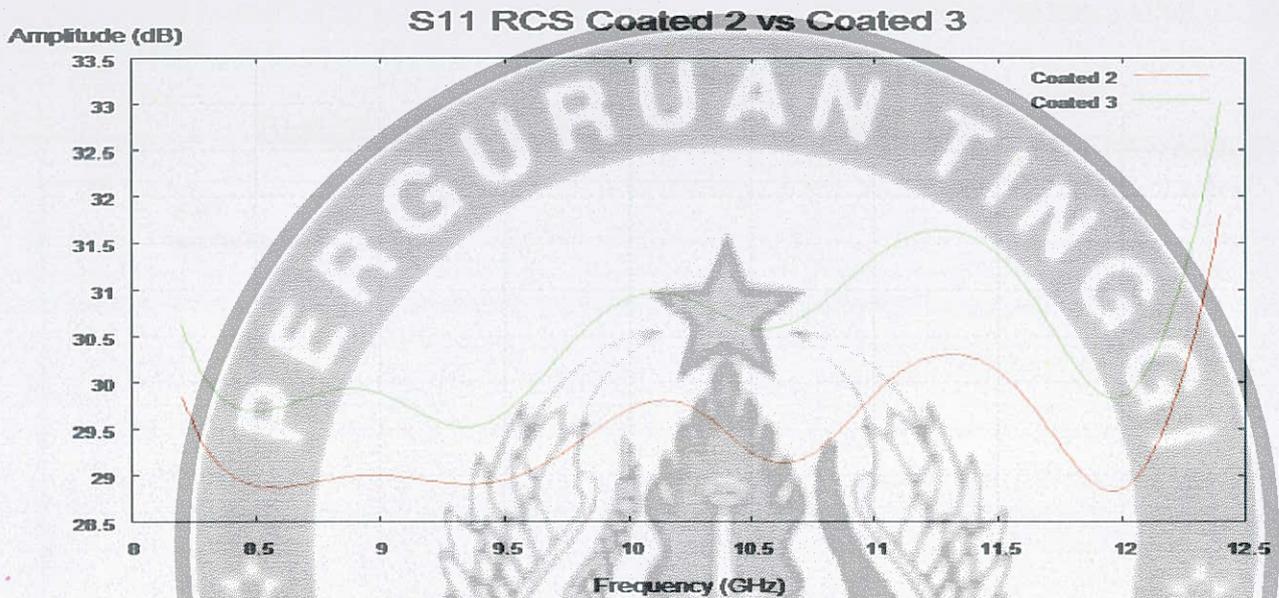


Gambar 9. Grafik perbandingan hasil pengukuran RCS dan simulasi RCS.

### Pengukuran Material Coating

Gambar 10 menunjukkan hasil dari pengukuran target kubus yang di-coating dengan ketebalan yang berbeda antara target satu dengan target yang lain. Dari hasil pengukuran terlihat

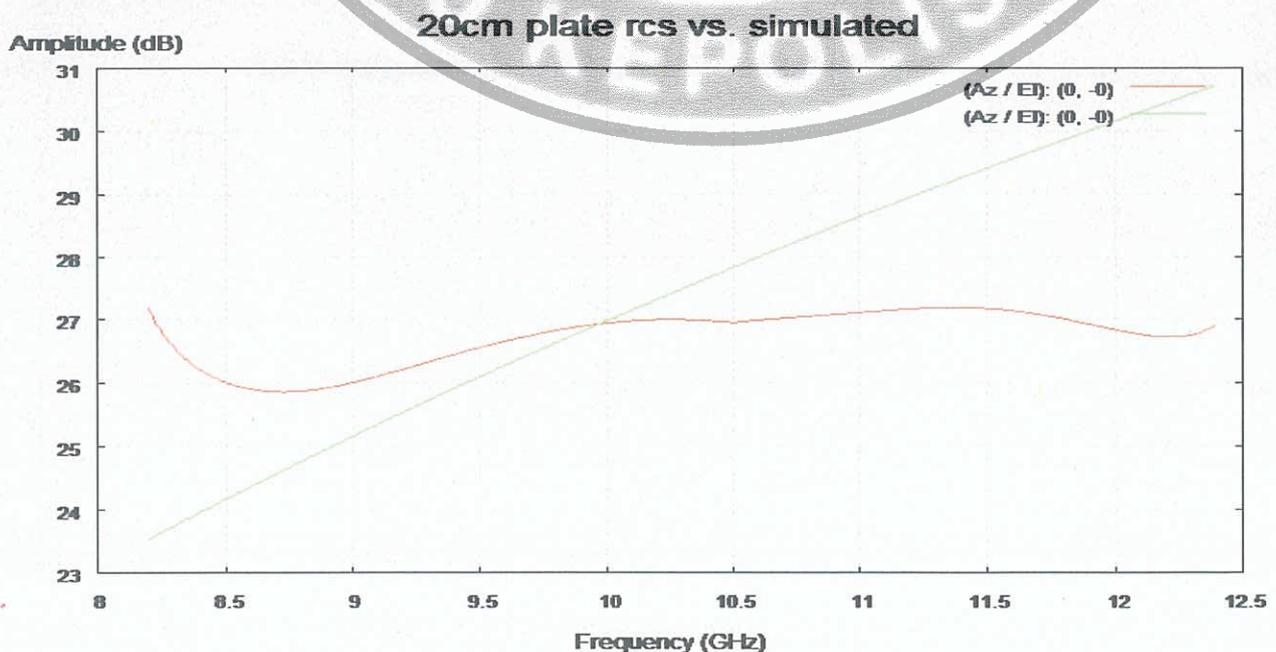
jelas bahwa target yang dilapisi material *coating* antiradar lebih tebal memiliki nilai RCS yang lebih rendah. Artinya, material tersebut bekerja sebagaimana mestinya, yaitu mengurangi nilai RCS suatu benda.



Gambar 10. Perbandingan pengukuran RCS target yang di-coating dengan target yang tidak di-coating.

Gambar 11 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengukuran RCS dengan hasil simulasi. Target yang diuji berupa plat dengan ukuran 20 x 20 cm<sup>2</sup> yang tidak dilapisi material *coating* antiradar. Dari grafik terlihat bahwa hasil

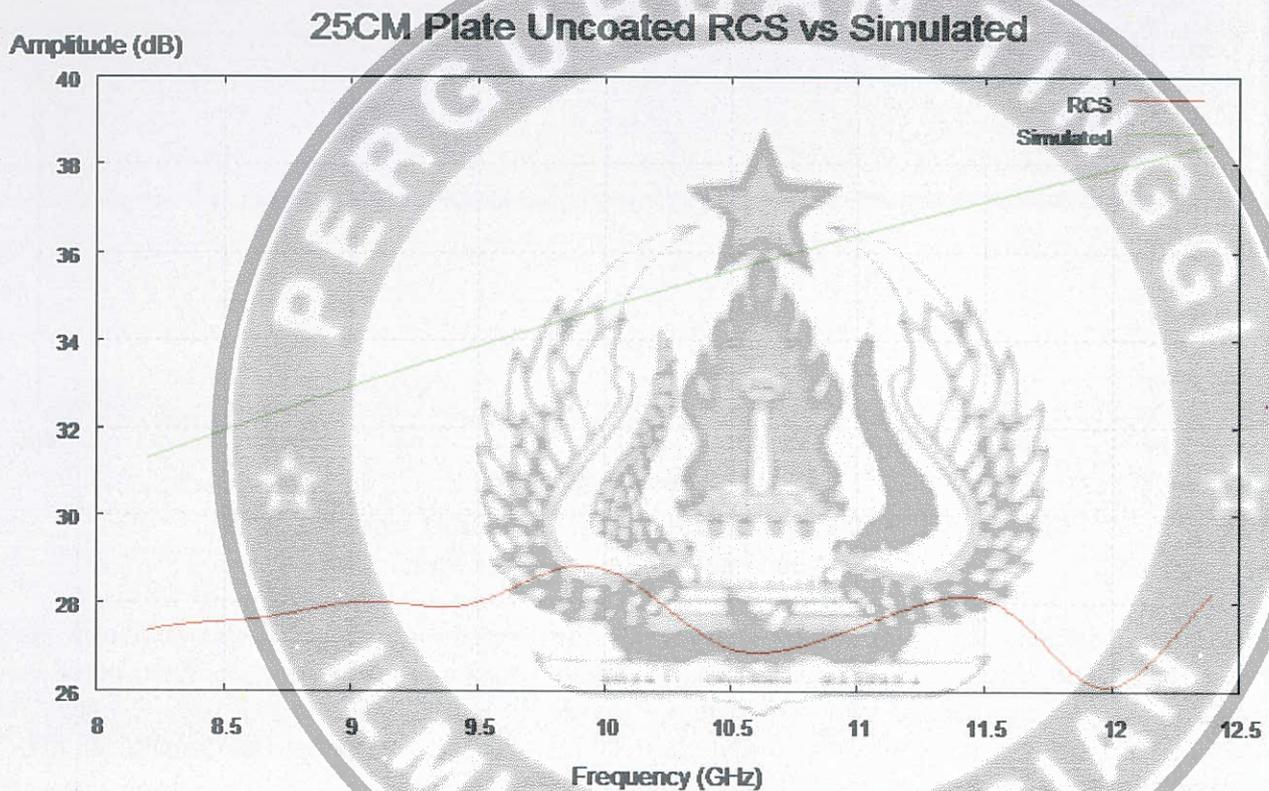
kedua pengukuran tersebut memiliki tren yang sama, meskipun terdapat beberapa perbedaan hasil. Hasil yang sama terjadi pada frekuensi 10 GHz, yaitu memiliki amplitudo sebesar 27 dB.



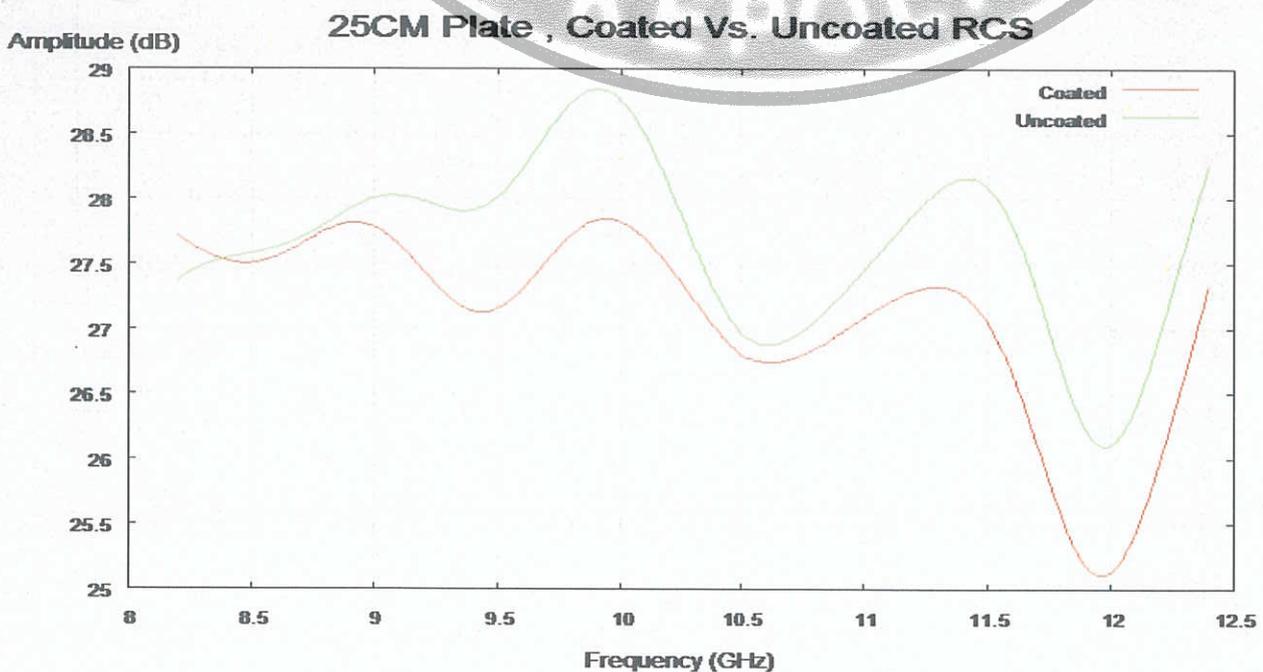
Gambar 11. Perbandingan pengukuran RCS dan simulasi plat 20 x 20 cm<sup>2</sup> yang tidak di-coating.

Gambar 12 menunjukkan grafik perbandingan antara hasil pengukuran RCS dengan hasil simulasi. Target yang diuji berupa plat dengan ukuran 20 x 20 cm<sup>2</sup> yang dilapisi material *coating* antiradar. Dari grafik terlihat bahwa hasil kedua pengukuran tersebut memiliki tren yang sama, meskipun terdapat beberapa perbedaan hasil.

pengukuran target kubus yang di-*coating* dan target kubus yang tidak di-*coating*. Dari hasil pengukuran terlihat jelas bahwa target yang dilapisi material *coating* antiradar memiliki nilai RCS yang lebih rendah. Artinya, material tersebut bekerja sebagaimana mestinya, yaitu mengurangi nilai RCS suatu benda. Perbedaan ketebalan yang dilakukan adalah 0,1 mm dan 1,75 mm.



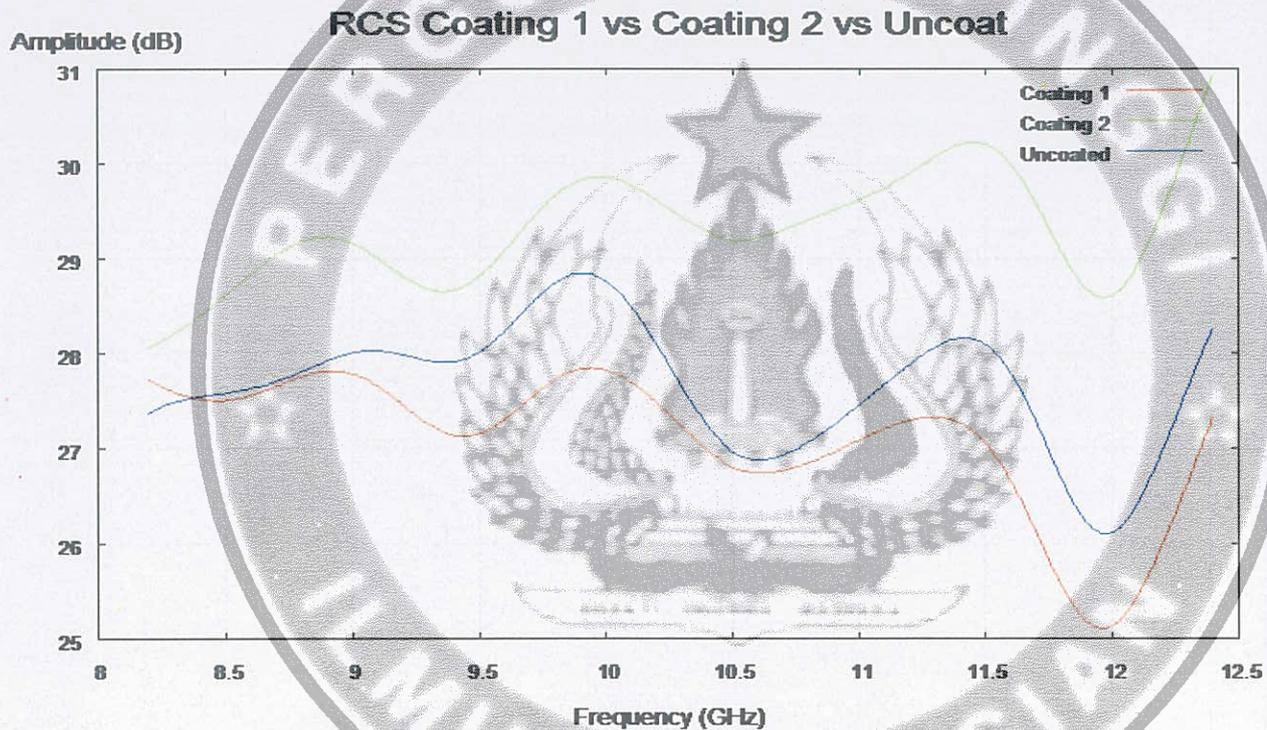
Gambar 12. Perbandingan RCS hasil pengukuran dengan simulasi. Target *plat* yang di-*coating*.



Gambar 13. Perbandingan pengukuran RCS yang di-*coating* dan yang tidak di-*coating*.

Gambar 14 menunjukkan hasil lebih lanjut pengukuran RCS target lain yang di-coating dengan material antiradar dengan ketebalan yang berbeda, yaitu 2 mm, 3 mm, dan 4 mm. Gambar 14 menunjukkan bahwa ketebalan coating pada permukaan plat besi memengaruhi serapan elektromagnetik coating tersebut. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapat serapan elektromagnetik yang maksimal, maka dibuat lapisan antiradar setebal

mungkin. Namun, dalam aplikasinya hal ini tidak mungkin dilakukan, karena jika lapisan coating antiradar pada bodi ranpur sangat tebal, maka ranpur tersebut akan menjadi sangat berat dan berkurang kemampuan manuvernya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai ketebalan coating yang paling efisien untuk dapat diaplikasikan pada badan ranpur tanpa mengurangi kemampuan manuver ranpur tersebut.



Gambar 14. Hasil pengukuran material dengan ketebalan coating yang berbeda: 2 mm, 3 mm, dan 4 mm.

#### KESIMPULAN

Telah berhasil dilakukan rancang bangun sarana uji coating antiradar berupa *anechoic chamber* dengan ukuran lebar 4 m, panjang 5 m, dan 3 m. *Anechoic chamber* yang dibuat dirancang khusus untuk dapat bekerja optimal pada rentang frekuensi X-band (8,2–12,4 GHz). Akan tetapi, tidak menutup kemungkinan untuk dilakukan pengukuran di luar rentang tersebut, mengingat VNA yang digunakan dapat melakukan pengukuran pada rentang 300 KHz–18 GHz. Dari hasil pengujian sampel di dalam *anechoic chamber*, diketahui bahwa perangkat uji RCS tersebut dapat menguji berbagai bentuk model sampel dengan ukuran pada kisaran 5,2 cm hingga 70,2 cm dan akurasi hingga 98%.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Watts, S. (1987). Radar detection prediction in K-distributed sea clutter and thermal noise. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* AES-23, pp. 40-45.
2. Chai, S. J., Tong, Z. X., Wang, C. Z. (2014). A study of method on evaluation of aircraft's IR image stealth effectiveness. *Advanced Materials Research* 926-930, pp. 1651-1655.
3. Wang, Xia & Chen, Hua-chu. (2008) Algorithm of infrared signature of aeroplane along the line of sight. *Journal of Atmospheric and Environmental Optic* 03.

