

PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP TRIANGULAR DENGAN SLOTTED GROUND PLANE UNTUK APLIKASI RADAR ALTIMETER

Mujadidi Al Adalah¹, Nadia Media Rizka²

^{1,2}Akademi Teknik Telekomunikasi Sandhy Putra Jakarta

^{1,2}Jalan Daan Mogot KM 11, RT. 1/RW.4, Cengkareng, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11710, Indonesia

mujadididel@gmail.com¹; nadiamr@akademitelkom.ac.id²

Abstrak – Perkembangan dunia penerbangan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya mobilitas manusia dan lalu lintas perdagangan antar daerah maupun antar negara. Hal itu juga menuntut berkembangnya teknologi radar dalam sistem navigasi pesawat, salah satunya adalah radar altimeter. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan antenna radar altimeter dengan spesifikasi yang memenuhi standar pada rentang frekuensi 4,2 – 4,4 GHz *bandwidth* tidak lebih dari 196 MHz dan arah pancaran bersifat direksional. Masalah utama dari antenna mikrostrip adalah lemahnya *gain* antenna dan solusi dari kelemahan tersebut salah satunya adalah dengan memodifikasi elemen *ground* dengan metode yang dinamakan *slotted ground plane*, yaitu dengan memotong sebagian bidang *ground* dengan bentuk tertentu. Perancangan antenna ini menggunakan perangkat lunak *High Frequency Structure Simulator* versi 15 (HFSS v15). Adapun standar yang harus dipenuhi pada nilai parameter-parameter antenna seperti *return loss* ≤ -10 dB dan *VSWR* ≤ 2 . Perancangan dan simulasi dilakukan terhadap dua teknik pencatutan, yaitu *microstrip line* dan *coaxial probe*. Bahan substrat yang digunakan adalah *FR4 Epoxy* dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) 4,4 dan ketebalan bahan 1,6 mm. Simulasi menunjukkan bahwa rancangan antenna segitiga sama sisi dengan panjang sisi (*a*) 21 mm dan 3 *triangular slot* berdimensi alas 8,3 mm dan tinggi 7,2 mm pada *ground* menggunakan teknik pencatutan *coaxial probe*, yaitu menghasilkan nilai *return loss* -32,46 dB, *bandwidth* 178,5 MHz pada frekuensi tengah 4,3 GHz, *VSWR* 1,048, *gain* 3,53 dB dan dengan sudut pancar (*beamwidth* 100,5°).

Kata kunci – Antena mikrostrip, patch triangular, slotted ground plane, radar altimeter

Abstract— The development of aviation world is increasing as the raise of the mobility of people and trade traffic locally and internationally. The raise itself demands the development of radar technology within the navigation system of airplanes. One of the devices in the system itself is radar altimeter. The goal of this research is to produce radar altimeter's antenna that fulfills the standard specifications within the spectrum of 4,2 – 4,4 GHz, bandwidth is smaller than 196 MHz and radiates directionally. The main problem of microstrip antenna is low gain and one of the solutions to get rid of it is to modify its ground element with a method named slotted ground plane as known as defected ground structure. The method is to cut some plane of the ground in a specific dimension. The designing process is using software named High Frequency Structure Simulator version 15 (HFSS v15). As for the requirement of the parameter values are return loss ≤ -10 dB and *VSWR* ≤ 2 . The designing and simulation have been done for antenna designs with two different feeding method, that are microstrip line and coaxial probe. The substrate material used is FR4 Epoxy with a dielectric constant (ϵ_r) 4,4 and thickness of 1,6 mm. The simulation shows that the design of an equilateral triangle antenna with a side length (*a*) of 21 mm and 3 triangular slots with a base dimension of 8.3 mm and a height of 7.2 mm on the ground plane uses the coaxial probe feeding technique, which produces a return loss value of -32.46 dB, bandwidth of 178.5 MHz at center frequency of 4.3 GHz, *VSWR* 1.048, gain of 3.53 dB and with a beamwidth of 100.5°.

Keywords – Microstrip antenna, triangular patch, slotted ground plane, radar altimeter

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

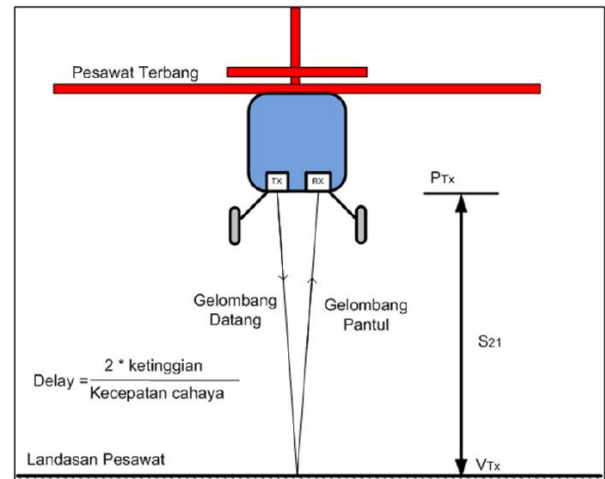
Radar altimeter adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur ketinggian atau jarak dari pesawat ke permukaan tanah atau ke permukaan laut. Jarak dihitung berdasarkan arah vertikal. Radio altimeter merupakan bagian dari radar. Radar altimeter menggunakan frekuensi kerja 4,2 – 4,4 GHz dengan *bandwidth* tidak lebih dari 150 MHz dan memiliki gain yang tinggi. Antena menempatkan peran penting untuk mengirimkan gelombang radio dan menerima sinyal gema baik pada frekuensi yang sama atau pada sebuah band frekuensi dalam durasi waktu tertentu. Ada dua jenis sistem pulsa radar altimeter yaitu *Frequency Modulated Continuous Wave* (FM-CW) dan perbedaan fasa (*Phase Shift*) ini dijadikan sebagai ukuran untuk menentukan jarak atau ketinggian pesawat terhadap permukaan tanah atau permukaan laut. Semakin besar beda fasa yang terjadi maka semakin jauh jarak atau ketinggian pesawat [1].

Antena Mikrostrip adalah sebuah antena yang difabrikasi dengan menggunakan teknologi *Printed Circuit Board* (PCB) dan digunakan untuk sinyal frekuensi gelombang mikro (*microwave*). Antena Mikrostrip terdiri dari *conducting strip* sebagai *radiating patch* dan *ground plane* di mana keduanya dipisahkan oleh lapisan bahan *dielectric*. Antena Mikrostrip tunggal umumnya memiliki *gain* dan *directivity* yang rendah [2]. Metode yang digunakan agar antena mikrostrip memiliki nilai parameter dan radiasi yang baik adalah dengan menggunakan metode *Photonic Bandgap*, *Electronic Bandgap*, dan *Slotted Ground Plane* (*Defected Ground Structure*). Ketiga metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, tetapi penulis memilih menggunakan metode *Slotted Ground Plane* karena memiliki kelebihan yaitu perancangannya yang relatif lebih sederhana dan memiliki dimensi yang lebih ringkas dibanding kedua metode lainnya [3].

II. DASAR TEORI

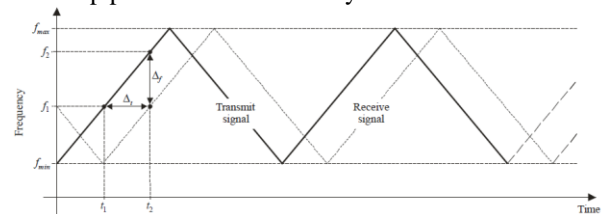
A. Radar Altimeter

Radio altimeter adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur ketinggian atau jarak pesawat terbang ke permukaan tanah atau permukaan laut. Ketinggian dihitung berdasarkan jarak vertikal. Radio altimeter merupakan bagian dari sistem radar. Prinsip kerja radar yaitu dengan mengirimkan gelombang radio menuju permukaan tanah atau permukaan laut lalu menerima sinyal pantul dengan durasi waktu tertentu pada ketinggian 0-8000 meter. Radar altimeter penting dalam melakukan pendaratan otomatis (*autopilot landing*) dan pada saat visibilitas rendah. Waktu tempuh sinyal untuk kembali tergantung kecepatan terbang dan ketinggian pesawat ke permukaan. Di sinilah antena menempati peran penting dalam mengirim dan menerima sinyal radio baik dalam frekuensi yang sama ataupun berbeda. Prinsip kerja radar altimeter disajikan pada *Gambar 1*. Waktu penerimaan sinyal merupakan rasio dua kali jarak pesawat ke bidang pantul terhadap kecepatan cahaya. Radio altimeter bekerja pada pita frekuensi 4,2 – 4,4 GHz [1].



Gambar 1. Konsep dasar radar altimeter
Sumber: Azizah, Baharuddin, Palantei (2016)

Terdapat dua macam metode modulasi yang digunakan pada radar altimeter, metode tersebut adalah *linear frequency modulation – continuous wave* (LFMCW atau FMCW) dan *pulsed modulation*. Radar altimeter FMCW bekerja menggunakan dua antena yang mempunyai fungsi masing-masing untuk mengirim dan menerima gelombang radio. Sinyal yang dikirim akan kembali dengan frekuensi yang sama. Namun, bersamaan dengan sinyal diterima, frekuensi pengirim telah berubah. Selisih antara frekuensi pengirim dengan frekuensi yang diterima (Δf) inilah yang digunakan untuk mengukur jarak pesawat terhadap permukaan di bawahnya.



Gambar 2. Sinyal pengirim dan sinyal diterima pada sistem FMCW

Sumber: Maloratsky (2003)

Periode segitiga FMCW pada *Gambar 2*. dapat bervariasi tergantung ketinggian pesawat terhadap permukaan. Frekuensi Δf didapat dari:

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

Ketinggian terhadap permukaan dapat dihitung menggunakan rumus:

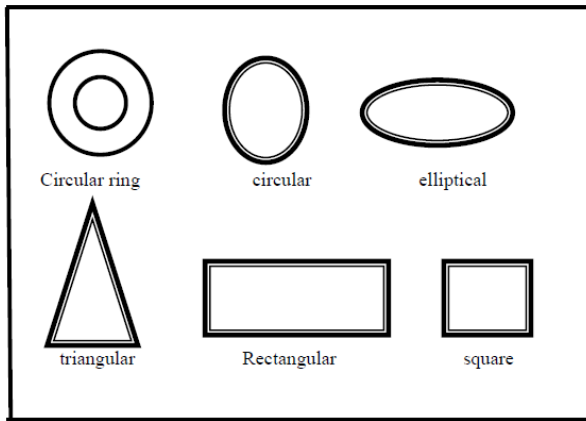
$$H_0 = \frac{c\Delta t}{2} = \frac{c\Delta f}{2\left(\frac{df}{dt}\right)}$$

B. Antena Mikrostrip

Antena merupakan suatu alat yang digunakan untuk melepaskan gelombang elektromagnetik ke ruang bebas, dan sebaliknya menerima gelombang elektromagnetik dari ruang bebas. Fungsi antena adalah untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik, lalu meradiasikannya (Pelepasan energi elektromagnetik ke udara / ruang bebas) dan sebaliknya, antena juga dapat berfungsi untuk menerima sinyal elektromagnetik (Penerima energi elektromagnetik dari ruang bebas) kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik.

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang mempunyai kelebihan dalam hal bentuk yang sederhana, ringan dan dapat dibuat sesuai kebutuhan. Konsep antena mikrostrip di usulkan pertama kali oleh *Deschamps* pada awal tahun 1950 dan dibuat sekitar tahun 1970 oleh *Munson* dan *Howell*. Antena mikrostrip merupakan salah satu antena gelombang mikro yang digunakan sebagai radiator pada sejumlah sistem telekomunikasi modern.

Antena mikrostrip merupakan sebuah antena yang tersusun atas tiga elemen, yaitu: elemen peradiasi (*radiator*), elemen *substrate* dan elemen pentanahan (*ground*). Elemen peradiasi atau sering juga disebut sebagai *patch* berfungsi untuk meradiasi gelombang elektromagnetik dan terbuat dari lapisan logam yang memiliki ketebalan tertentu. Berdasarkan bentuknya, *patch* memiliki jenis yang bermacam-macam yaitu: bujur sangkar (*square*), persegi panjang (*rectangular*), garis tipis (*dipole*), lingkaran, elips dan segiempat [2].

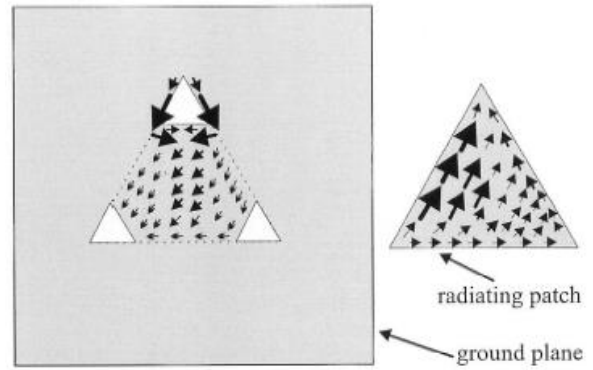


Gambar 3. Bentuk patch antena mikrostrip
Sumber: Balanis (2016)

C. Slotted Ground Plane

Salah satu kelemahan dari antena mikrostrip yaitu mempunyai gain dan efisiensi yang rendah. Maka untuk meningkatkan nilai parameter antena tersebut dilakukanlah berbagai studi yang mengarah kepada meningkatkan gain dan efisiensi menggunakan metode *parasitic*, menambah ketinggian (*h*) antena, menggunakan resonator dielektrik, dan menggunakan *photonic bandgap* (PBG) [7]. Metode lain yang dapat meningkatkan efisiensi dan gain antena mikrostrip dilakukan dengan cara dibuat *slot* pada bagian *ground*, sehingga metode ini dinamakan *slotted ground plane* [3].

Metode ini juga disebut dengan *defected ground structure*. Prinsip kerjanya adalah *slot* pada *ground* mempengaruhi arus pada bidang *ground* itu sendiri yang menyebabkan terjadinya perubahan pada bentuk-bentuk radiasinya [3].



Gambar 4. Simulasi distribusi arus pada ground plane dan radiating patch
Sumber: Kuo, Hsieh (2003)

C. Parameter Antena

Return Loss

Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ). Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka hal tersebut terjadi.

- $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum (saluran terhubung singkat)
- $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi (saluran dalam keadaan *match* sempurna)
- $\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum (saluran dalam rangkaian terbuka)

Nilai koefisien refleksi dalam satuan dB dapat dihitung secara matematis sesuai Persamaan berikut ini :

$$\Gamma = 10 \log 10 \left(\frac{P_i}{P_r} \right)$$

Dimana,

Γ = koefisien refleksi (dB)

P_i = *incident power* atau daya yang terkirim (Watt)

P_r = *reflected power* atau daya yang terefleksi (Watt)

VSWR

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) merupakan kemampuan suatu antena untuk bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Ketika suatu saluran transmisi diakhiri dengan impedansi yang tidak sesuai dengan karakteristik saluran transmisi, maka tidak semua daya diserap di ujung. Sebagian daya direfleksikan kembali ke saluran transmisi. Sinyal yang masuk bercampur dengan sinyal yang dipantulkan yang menyebabkan suatu gelombang tegak tegangan berpola di saluran transmisi. Perbandingan tegangan maksimum terhadap tegangan minimum disebut *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR).

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini

pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diizinkan untuk pembuatan antenna adalah $VSWR \leq 2$. Praktiknya suatu VSWR 1,2 : 1 adalah yang terbaik. Pada VSWR 2,0, kira-kira 10% dari daya dipantulkan kembali ke sumber. Tingginya VSWR tidak hanya berarti daya terbuang, tetapi juga daya yang dipantulkan akan menyebabkan kabel panas [2]. Untuk dapat beroperasi secara efisien, perpindahan daya maksimum pada antenna harus berlangsung antara pemancar dan antenna. Daya maksimum yang ditransferkan dicapai ketika impedansi *input* antenna Z_{in} cocok dengan impedansi antenna pemancar Z_s , dengan persamaan [2] :

$$Z_{in} = Z_s$$

Jika kondisi ini tidak *match*, maka akan menyebabkan suatu gelombang berdiri atau VSWR (*voltage standing wave ratio*). VSWR yang besar berarti besar pula ketidakepadanannya. Secara matematis VSWR dinyatakan sebagai [2] :

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Dimana,

Γ = koefisien refleksi

Z_{in} = impedansi *input*

Z_s = impedansi antenna pemancar

Gain

Penguatan antenna didefinisikan sebagai perbandingan intensitas pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang akan dihasilkan jika daya yang diterima oleh antenna yang diradiasikan secara isotropik [2]. Untuk menghitung besarnya penguatan (*gain*) suatu antenna (G_t) yang dibandingkan dengan antenna standar (G_s), dapat dinyatakan secara numerik yaitu berupa perbandingan daya antenna yang diukur (P_t) dengan daya antenna isotropik (P_s) seperti Persamaan 2.2 [5]:

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} \times G_s$$

Dan dinyatakan dengan *decibel* (dB) sebagai berikut [5]:

$$G_t = (P_t - P_s) + G_s$$

Directivity

Keterarahan didefinisikan sebagai perbandingan dari intensitas radiasi suatu antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah [2]. Jadi bisa dinyatakan lebih sederhana bahwa, keterarahan dari sumber non isotropik sama dengan perbandingan dari intensitas radiasinya pada arah tertentu dengan intensitas radiasi sumber isotropik. Keterarahan menggambarkan seberapa banyak suatu antenna memusatkan energinya pada suatu arah dibanding ke arah lain.

Bandwidth

Lebar pita dari suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi dari kinerja suatu antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik yang sesuai dengan standar yang ditentukan. Pada rentang frekuensi tersebut, antenna diusahakan dapat bekerja dengan efektif agar dapat menerima dan memancarkan

gelombang elektromagnetik pada *band* frekuensi tertentu. Distribusi arus dan impedansi dari antenna pada *range* frekuensi tersebut benar-benar belum mengalami perubahan yang berarti sehingga masih sesuai dengan pola radiasi yang direncanakan dan VSWR yang diijinkan. Secara umum, lebar pita (*bandwidth*) dapat ditentukan berdasarkan Persamaan berikut [2] :

$$BW = f_u - f_l$$

Lebar pita (*bandwidth*) dapat pula dinyatakan dalam persentase sebagai berikut [2] :

$$BW = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\%$$

Dengan,

f_u = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)

f_l = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

f_c = frekuensi tengah dalam *band* (GHz)

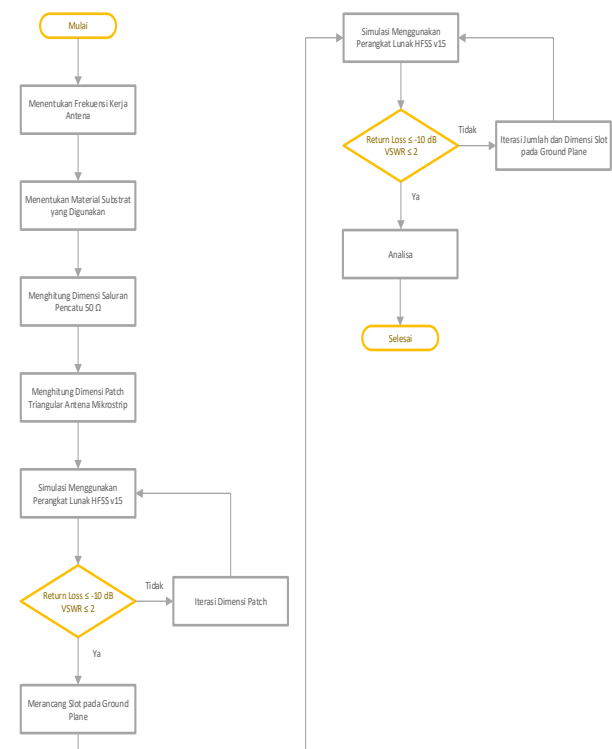
Pola Radiasi

Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antenna sebagai fungsi dari koordinat ruang. Sering kali, pola radiasi ditentukan pada daerah *far field* dan direpresentasikan sebagai fungsi dari koordinat arah [2].

Berbagai bagian dari radiasi disebut sebagai *lobe*, yang dibagi menjadi *major* atau *main lobe*, *minor lobe*, *side lobe* dan *back lobe*. *Lobe* adalah bagian dari pola radiasi yang dibatasi oleh daerah dari intensitas radiasi yang relatif lemah [2].

III. PERANCANGAN

A. Diagram Alir Penelitian



B. Spesifikasi

Tabel 1. Spesifikasi Antena Radar Altimeter

Frekuensi Kerja	4,2 – 4,4 GHz
Frekuensi Tengah	4,3 GHz
Bandwidth	100 – 196 MHz
VSWR	≤ 2
Pola Radiasi	Directional
Gain	> 4 dB
Impedansi	50 Ω

Penulis menggunakan spesifikasi seperti disebutkan pada Tabel 1 karena merupakan standar yang diatur oleh *International Telecommunication Union* pada publikasi ITU-R M.2059-0 mengenai penempatan spektrum frekuensi pada rentang 4,2 – 4,4 GHz serta menggunakan impedansi saluran 50 Ω.

Antena mikrostrip bekerja pada spektrum frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan *X Band* (5,2 – 10,9 GHz) sehingga antena mikrostrip dapat diterapkan pada teknologi telepon seluler/*wireless* maupun komunikasi satelit [9]. Spektrum frekuensi yang untuk aplikasi Radar Altimeter adalah SHF (3 – 30 GHz).

Pada perancangan ini, bahan substrat yang digunakan adalah jenis FR4 – epoxy dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) 4,4. Bahan ini digunakan karena nilai ekonomis yang dimilikinya dibandingkan dengan bahan substrat *Taconic TLY-5*. Bahan FR4 – epoxy memiliki kekurangan berupa konstanta dielektrik yang cukup besar yang berpengaruh kepada penurunan kinerja antena. Spesifikasi lengkap mengenai bahan substrat yang digunakan, FR4 – epoxy dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Spesifikasi Substrat yang Digunakan

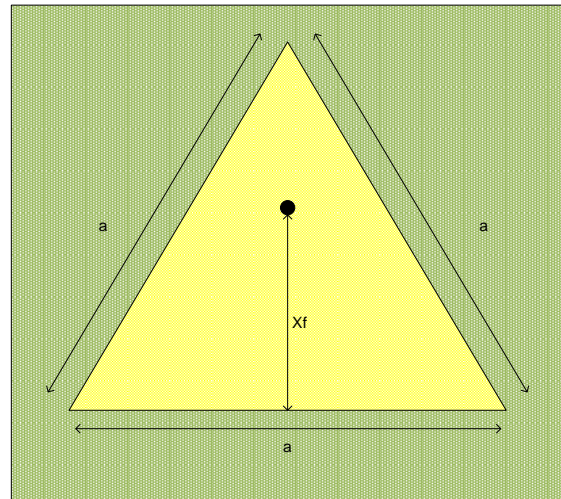
Jenis Substrat	FR4 – epoxy
Konstanta Dielektrik	4,4
Dielectric Loss Tangent	0,0265
Ketebalan Substrat	1,6 mm
Konduktivitas bahan	$5,7 \times 10^7$ S/m
Ketebalan Konduktor	0,07 μm

C. Rancangan Awal

Tahap ini merupakan perancangan antena mikrostrip menggunakan teknik pencatutan *coaxial probe*, setelah sebelumnya menggunakan teknik *microstrip feedline*. Iterasi yang dilakukan pada langkah ini yaitu iterasi dimensi *triangular patch* antena yang bertujuan untuk mencocokkan dimensi antena dengan frekuensi kerjanya (4,2 – 4,4 GHz). Bentuk rancangan antena dapat dilihat pada Gambar 4.1. Posisi *cut-out* untuk konektor pada antena mikrostrip triangular ditentukan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$X_f = \frac{a}{2} (\text{sepanjang } t)$$

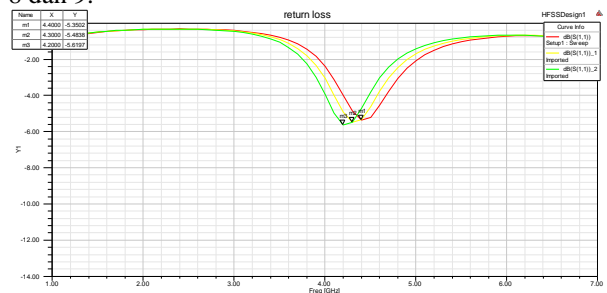
Sehingga bentuk rancangan antena dapat dilihat pada Gambar 6.



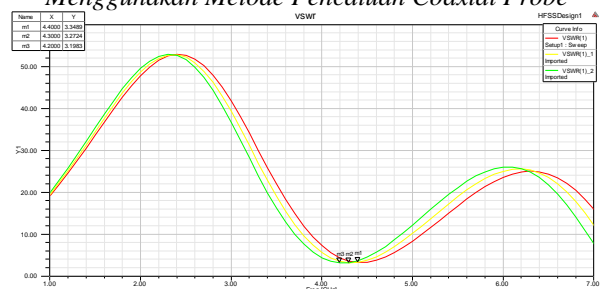
Gambar 6. Rancangan Antena Mikrostrip Menggunakan Metode Pencatutan Coaxial Probe

Simulasi dilakukan kepada 3 iterasi rancangan antena dengan dimensi *patch* berbeda menggunakan bantuan perangkat lunak HFSS v15. Lebar, panjang dan tinggi dari elemen substrat mengikuti rancangan sebelumnya yaitu 32 x 29 x 1,6 mm, sedangkan “a” melambangkan panjang tiap sisi dari *equilateral triangular patch*, sedangkan dimensi *cutout* pada *ground* dan substrat mengikuti dimensi konektor 1 mm.

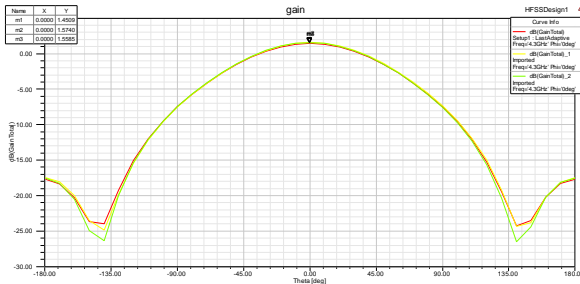
Nilai parameter yang didapat melalui iterasi yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak HFSS v15. Didapat hasil dengan frekuensi kerja 4,3 GHz pada iterasi kedua, yaitu rancangan dengan dimensi sisi *patch* 21,5 mm. Nilai parameter yang didapat adalah *return loss* -5,48 dB, VSWR 3,272 dan *gain* 1,57 dB. Grafik parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 7, 8 dan 9.



Gambar 7. Grafik Return Loss Rancangan Antena Menggunakan Metode Pencatutan Coaxial Probe



Gambar 8. Grafik VSWR Rancangan Antena Menggunakan Metode Pencatutan Coaxial Probe



Gambar 9. Grafik Gain Rancangan Antena Menggunakan Metode Pencatuan Coaxial Probe

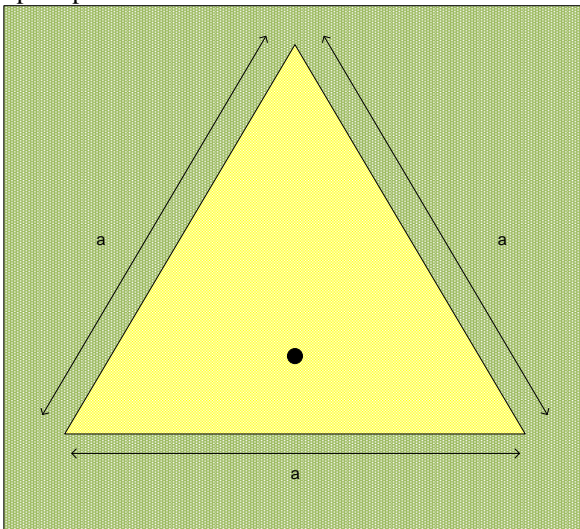
Data iterasi selengkapnya pada tahap ini menggunakan simulasi perangkat lunak HFSS v15 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Iterasi Dimensi Patch Antena Menggunakan Metode Pencatuan Coaxial Probe

No	a	Xf	Frek. Tengah	Return Loss	VSWR	Gain
1	21 mm	10,5 mm	4,4 GHz	-5,35 dB	3,348	1,45 dB
2	21,5 mm	10,7 mm	4,3 GHz	-5,48 dB	3,272	1,57 dB
3	22 mm	11 mm	4,2 GHz	-5,61 dB	3,198	1,55 dB

C. Rancangan Triple Slot

Iterasi yang dilakukan pada tahap ini adalah iterasi ukuran *patch triangular* yang dimaksudkan untuk mengamati perubahan yang terjadi dengan adanya penambahan *slot* pada *ground plane* dibandingkan rancangan antenna tanpa *ground slot*. Pada tahap ini juga dilakukan penyesuaian titik *cut-out* (X_f) untuk konektor 1 mm yang dimaksudkan untuk memperbaiki nilai *return loss*, sehingga bentuk rancangannya menjadi seperti pada Gambar 10.

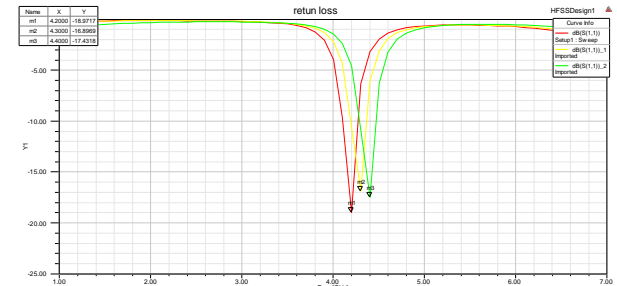


Gambar 10. Rancangan Antena Mikrostrip dengan Slot Menggunakan Metode Pencatuan Coaxial Probe

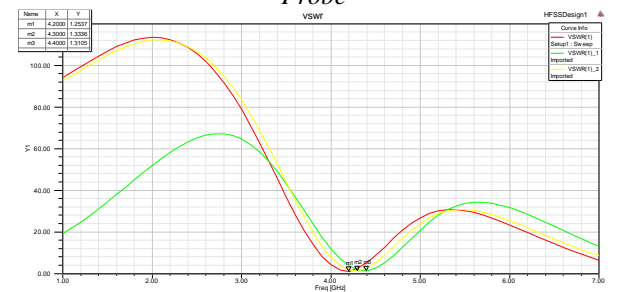
Simulasi dilakukan kepada 3 iterasi rancangan antenna dengan dimensi *patch* berbeda menggunakan bantuan perangkat lunak HFSS v15. Lebar, panjang dan tinggi dari elemen substrat mengikuti rancangan sebelumnya

yaitu 32 x 29 x 1,6 mm, sedangkan “a” melambungkan panjang tiap sisi dari *equilateral triangular patch*. Tiap-tiap rancangan pada tahap ini juga ditambahkan dengan 3 buah *slot* pada elemen *ground* dengan dimensi alas 8,3 mm dan tinggi 7,2 mm, sedangkan dimensi *cutout* pada *ground* dan substrat mengikuti dimensi konektor 1 mm.

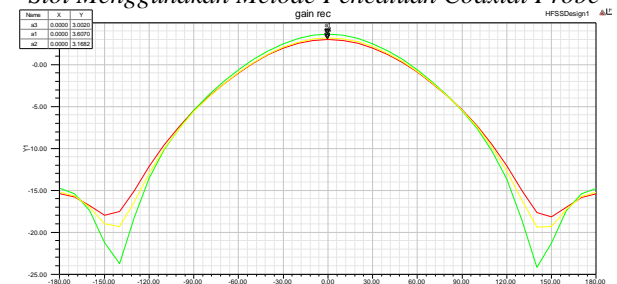
Nilai parameter yang didapat melalui iterasi yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak HFSS v15. Didapat hasil dengan nilai *return loss* yang lebih baik dari tahap sebelumnya dengan kisaran nilai -16,89 sampai -18,97 dB. Kenaikan juga terlihat pada nilai *gain* dikarenakan efek dari pemberian slot, namun nilai *gain* pada tahap ini berada pada rentang nilai yang mirip seperti pada perancangan antenna pada tahap sebelumnya yang menggunakan teknik pencatuan *microstrip feedline*. Untuk lebih jelasnya grafik parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 11, 12 dan 13.



Gambar 11. Grafik Return Loss Rancangan Antena dengan Slot Menggunakan Metode Pencatuan Coaxial Probe



Gambar 12. Grafik VSWR Rancangan Antena dengan Slot Menggunakan Metode Pencatuan Coaxial Probe



Gambar 13. Grafik Gain Rancangan Antena dengan Slot Menggunakan Metode Pencatuan Coaxial Probe

Data iterasi selengkapnya pada tahap ini menggunakan simulasi perangkat lunak HFSS v15 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Iterasi Dimensi Patch Antena dengan Slot Menggunakan Metode Pencatuan Coaxial Probe

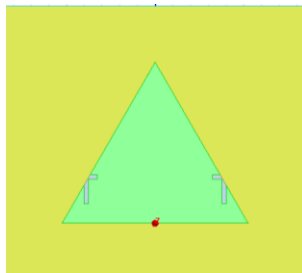
No.	a	Frek. Tengah	Return Loss	VSWR	Gain
1	21 mm	4,4 GHz	-17,11dB	1,323	3,32 dB
2	21,5	4,3 GHz	-16,89	1,333	3,16

	mm		dB		dB
3	22 mm	4,2 GHz	-18,92 dB	1,253	3,00 dB

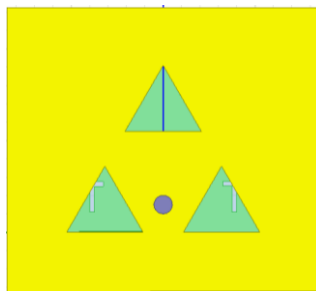
D. Rancangan Final

Proses perancangan pada penelitian ini dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak HFSS v15. Dilakukan beberapa tahapan perancangan berdasarkan teori-teori yang ada dan selanjutnya dilakukan optimasi dengan menambahkan modifikasi pada rancangan antenna mikrostrip *triangular* sehingga didapat nilai parameter yang diharapkan.

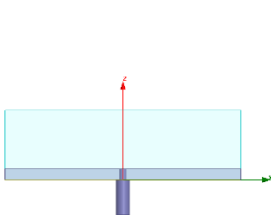
Berikut merupakan bentuk rancangan final antenna mikrostrip *triangular* dengan *slotted ground plane* untuk aplikasi radar altimeter menggunakan teknik pencatutan *coaxial fed* ditunjukkan pada Gambar 14.



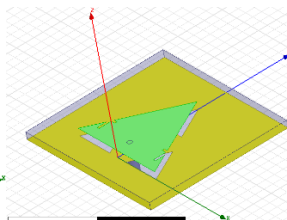
(a)



(b)



(c)



(d)

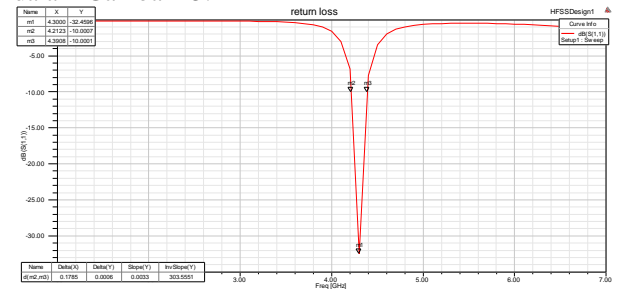
Gambar 14. Rancangan Final Antena Mikrostrip Triangular

(a) tampak atas (b) tampak bawah (c) tampak samping (d) tampilan 3 dimensi

Dimensi antenna mengalami perubahan dari rancangan sebelumnya, panjang dan lebar *ground* di rancangan final berdimensi 34 x 31 mm dengan ketebalan 1,6 mm, sedangkan untuk *patch* berdimensi segitiga sama sisi dengan panjang sisi 21 mm. Pada *patch* diberi dua *L-shaped slit* untuk meningkatkan nilai parameter antenna. Dimensi dari *slit* tersebut adalah lebarnya 0,5 mm dengan panjang pada sumbu y = 3 mm dan x = 1 mm, sedangkan pada elemen *ground* dibuat 3 buah *slot*

segitiga pada ketiga ujung sisi segitiga dengan dimensi alas = 8,3 mm dan tinggi = 7,2 mm.

Melalui simulasi perangkat lunak HFSS v15, diperoleh nilai *return loss* (S_{11}) yang ditunjukkan pada grafik dalam Gambar 15.

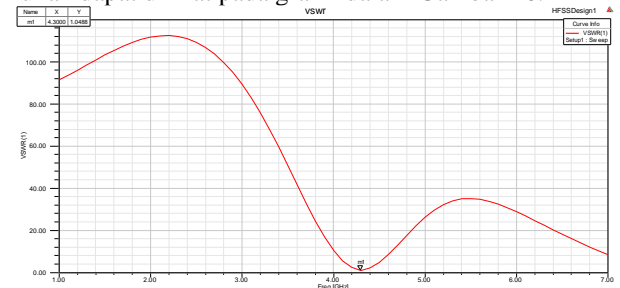


Gambar 15. Grafik *return loss* (S_{11}) berdasarkan hasil simulasi

Berdasarkan Gambar 15, terlihat bahwa nilai *return loss* dari rancangan antenna mikrostrip ini adalah -32,46 pada frekuensi 4,3 GHz (rentang frekuensi 4,2 – 4,4 GHz) yang berarti terdapat pergeseran frekuensi kerja yang dikarenakan penggunaan *slit* pada bidang *patch* pada rancangan final. Nilai ini dapat dikatakan layak, meninjau acuan standar koefisien refleksi antenna mikrostrip adalah lebih rendah atau sama dengan -10dB.

Dapat dilihat pula lebar pita (bandwidth), yaitu 178,5 MHz telah memenuhi acuan lebar pita untuk antenna pada aplikasi radar altimeter, yaitu 100 – 196 MHz.

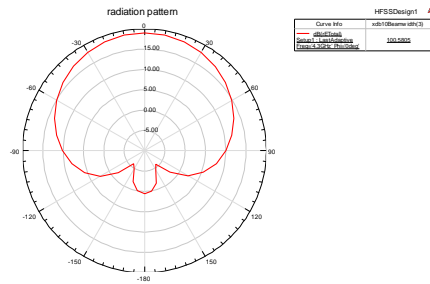
Parameter VSWR merupakan perbandingan antara gelombang datang dan gelombang pantul yang masuk ke saluran transmisi. Grafik VSWR rancangan antenna mikrostrip hasil simulasi menggunakan perangkat lunak dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Voltage Wave Standing Ratio (VSWR) berdasarkan hasil simulasi

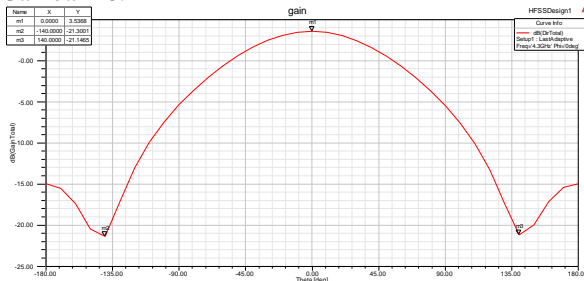
Berdasarkan Gambar 16, bisa dilihat bahwa parameter VSWR pada frekuensi 4,3 GHz berada pada nilai 1,0488. Mengacu pada standar bahwa nilai VSWR ideal adalah ≤ 2 , maka nilainya pada rancangan penelitian ini dapat dikatakan baik dan memenuhi nilai idealnya dan mendekati 1 yang berarti mendekati *perfectly matched*. Nilai tersebut menunjukkan bahwa akan sedikit daya yang terbuang dan antenna dapat beroperasi secara efisien.

Pola radiasi menggambarkan kekuatan relatif medan yang dipancarkan di berbagai arah dari antenna pada jarak konstan. Grafik hasil simulasi pola radiasi rancangan antenna menggunakan perangkat lunak HFSS v15 dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik pola radiasi berdasarkan hasil simulasi

Dari grafik pada Gambar 17. didapat bahwa pola radiasi hasil simulasi rancangan antenna memiliki *beamwidth* 100,5°, mengindikasikan bahwa 100,5° merupakan rentang sudut di mana daya yang diradiasikan berkurang tidak lebih dari -3dB dari daya maksimum yang dipancarkan pada frekuensi 4,3 GHz. Parameter selanjutnya adalah gain yang merupakan penguatan daya terhadap sudut radiasi. Grafik gain pada rancangan antenna hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik gain berdasarkan hasil simulasi

Grafik rectangular menggambarkan besarnya penguatan terhadap sudut tertentu dalam tampilan 2 dimensi sedangkan plot 3 dimensi polar menggambarkan nilai gain dalam citraan 3 dimensi, warna merah mengindikasikan nilai gain maksimum sedangkan gain minimum ditunjukkan oleh warna biru. Nilai *gain* dari simulasi rancangan antenna mendapat nilai puncaknya pada sudut 0°, yaitu sebesar 3,53 dB. *Gain* paling rendah terjadi pada sudut 140° dan 220°, yaitu secara berturut-turut -21,30 dB dan -21,14 dB.

D. Perbandingan Hasil

Hasil perancangan pada penelitian ini dibandingkan dengan hasil pada penelitian sebelumnya yang berjudul “*Desain Antena Mikrostrip Triangular untuk Aplikasi Radar Altimeter*” dan dengan standar spesifikasi yang berlaku bagi antenna radar altimeter berdasarkan ketentuan *International Civil Aviation Organization* (ICAO) yang juga tertulis pada rekomendasi ITU-R M 2059-0. Perbandingan dapat dilihat pada Tabel 5. di bawah ini :

Tabel 5. Perbandingan Nilai Parameter Rancangan Antena dengan Pembanding Lain

N o.	Sumber	Frekuensi Kerja	Bandwidth	Return Loss	VS WR	Gain
1	Penelitian Sebelumnya [8]	4,25 GHz	126 MHz	- 21,16 dB	1,132	3,72 dB
2	Standar untuk	4,2 – 4,4	100 – 196	≤ - 10	1 – 2	-

	Radar Altimeter	GHz	MHz	dB		
3	Perancangan Ke-1 (Awal, <i>microstrip line</i>)	4,2 GHz	n/a	- 6,01 dB	3,002	2,53 dB
4	Perancangan Ke-2 (1 slot, <i>microstrip line</i>)	4,3 GHz	144 MHz	- 13,63 dB	1,525	3,37 dB
5	Perancangan Ke-3 (3 slot, <i>microstrip line</i>)	4,3 GHz	31 MHz	- 10,32 dB	1,876	3,58 dB
6	Perancangan Ke-4 (<i>coaxial probe</i>)	4,3 GHz	n/a	- 5,48 dB	3,272	1,57 dB
7	Perancangan Ke-5 (3 slot, <i>coaxial probe</i>)	4,2 GHz	167 MHz	- 18,92 dB	1,252	3,00 dB
8	Rancangan Final	4,3 GHz	178 MHz	- 32,48 dB	1,048	3,53 dB

Berdasarkan perbandingan pada tabel di atas, rancangan final pada penelitian ini ditemukan beberapa pembaruan dari penelitian sebelumnya, yaitu pergeseran frekuensi kerja antenna ke 4,3 GHz, *bandwidth* yang lebih lebar 41,2% dan nilai *return loss* yang lebih baik.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil simulasi rancangan antenna mikrostrip *triangular* dengan *slotted ground plane* untuk aplikasi radar altimeter yang telah dilaksanakan, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Pada simulasi rancangan final antenna menggunakan perangkat lunak HFSS v15 didapat parameter antenna pada frekuensi tengah 4,3 GHz, yaitu :
 - Return loss* -32,46 dB
 - VSWR 1,048
 - Bandwidth* 178,5 MHz
 - Gain* 3,53 dB
 - Beamwidth* 100,5°
- Penggunaan *slot* pada ground plane menghasilkan pergeseran frekuensi kerja menjadi lebih rendah 100 MHz, meningkatkan kualitas parameter *return loss* dan *gain* dibandingkan pada rancangan antenna *triangular* tanpa *slot*.

3. Penggunaan metode pencatuan *coaxial probe* pada perancangan ke-4 menurunkan kualitas nilai parameter return loss dan gain, sehingga perlu dilakukan pemosisian ulang *cut-out* untuk memperbaiki nilai parameter yang kualitasnya menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. G. Maloratsky, "An aircraft single-antenna FM radio altimeter," *Microw. J.*, 2003.
- [2] C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design, Fourth Edition*. 2016.
- [3] R. A. Pandhare, P. L. Zade, and M. P. Abegaonkar, "Miniaturized microstrip antenna array using defected ground structure with enhanced performance," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, 2016
- [4] R. K. Vishwakarma, J. A. Ansari, and M. K. Meshram, "Equilateral triangular microstrip antenna for circular polarization dual-band operation," *Indian J. Radio Sp. Phys.*, 2006.
- [5] N. Irwan and B. Dewangga, "Rancang Bangun dan Analisis Antena Mikrostrip Rectangular Patch dengan Slot untuk Aplikasi 3G," Universitas Muslim Indonesia, 2012.
- [6] K. RamaDevi, "Design of A Pentagon Microstrip Antenna for Radar Altimeter Application," *Int. J. Web Semant. Technol.*, 2012.
- [7] C. Ade and D. Santoso, "Rancang Bangun Komponen Pasif RF pada Aplikasi Teknologi Wireless," Universitas Hasanudin, 2012.
- [8] A. Azizah, M. Baharuddin and E. Palantei, "Desain Antena Mikrostrip Triangular Untuk Aplikasi Radar Altimeter," Universitas Hasanuddin, 2013.
- [9] E. A. Dahlan, "Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Array 2x2 pada Frekuensi 1575 MHz," Universitas Brawijaya, 2009.
- [10] J. Sen Kuo and G. Bin Hsieh, "Gain enhancement of a circularly polarized equilateral-triangular microstrip antenna with a slotted ground plane," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2003.