

TRIMMED EQUILATERAL MICROSTRIP ANTENA DENGAN ELECTRO-MAGNETICALLY COUPLED UNTUK WLAN 2,4 GHZ

Rahmat Saleh

Calon Peneliti

Puslitbang Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika

Jl. Medan Merdeka Barat No. 9 Jakarta 10110 Telp/Fax. 021-34833640

Email : rahmat.saleh@kominfo.go.id

Diterima: 06 Oktober 2011; Disetujui: 3 Nopember 2011

ABSTRAK

The trimmed equilateral microstrip antenna is designed to work at frequency 2.4 GHz. This WLAN frequency was chosen because it still the favorite option compared to 5.2 GHz. The antenna is designed to have VSWR and return loss less than 2 and the electro magnetically coupled was chosen to widen the bandwidth. Finding the desired frequency can be done by re-calculating the dimension of patch or by trimming method. The method was chosen because it was proved to be more efficient both during simulation and fabrication. Furthermore, the patch dimension can be reduced as well. The results show that the fabricated antenna has frequency 2.3993 GHz-2.48368 GHz. The lowest VSWR is 1.0845 and the lowest return loss is 27.046 dB both at the resonant frequency of 2.44 GHz. The mainbeam radiation pattern of antenna is at angle 0°. While the obtained gain is 4.644 dB at frequency of 2.44 GHz.

Keywords: Trimmed Equilateral Microstrip, Electro-Magnetically Coupled, WLAN, 2.4 GHz

ABSTRAK

Antena mikrostrip segitiga sama sisi dengan metode trim dirancang untuk bekerja pada frekuensi wireless LAN 2,4 GHz karena frekuensi ini masih menjadi pilihan utama dibandingkan dengan frekuensi wireless LAN 5,2 GHz. Antena dirancang agar memiliki VSWR ≤ 2 dan return loss ≤ 2 . Sedangkan pencatuan electro magnetically coupled dipilih untuk memperlebar bandwidth. Pengubahan frekuensi dapat dilakukan dengan metode menghitung ulang panjang sisi patch atau dengan metode trim. Metode trim dipilih karena cara ini terbukti lebih efisien baik pada saat simulasi ataupun pada saat fabrikasi. Dengan metode ini dimensi patch yang diperoleh bisa diperkecil. Dari hasil pengukuran antenna fabrikasi didapat bandwidth antenna dari 2,3993 GHz – 2,48368 GHz. VSWR terendah adalah 1,0845 dan return loss terendah adalah -

27,046 dB keduanya terjadi pada frekuensi resonansi 2,444 GHz. Berkas utama pola radiasi antena ini adalah pada sudut 0°. Sedangkan gain yang diperoleh sebesar 4,644 dB pada frekuensi 2,44 GHz.

Kata-Kata Kunci: Trimmed Equilateral Microstrip, Electro-Magnetically Coupled, WLAN, 2.4 GHz

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebutuhan akan sistem *wireless LAN* sekarang ini sangat berkembang pesat. Sistem *wireless LAN* secara perlahan menggantikan sistem *wired LAN*, dimana pada sistem ini pengguna tidak perlu lagi direpotkan oleh kabel.

Sistem yang *wireless* diharapkan *low-profile* karena karakteristiknya yang cenderung *mobile*. Karena sistem yang *mobile* membutuhkan dimensi yang cukup kecil, maka Antena Mikrostrip sangat cocok digunakan untuk sistem *wireless* ini. Antena mikrostrip mempunyai beberapa kelebihan selain *low-profile* diantaranya, serbaguna (*versatility*), dapat beradaptasi dengan aplikasi yang menggunakannya, dan sensitifitas yang rendah pada saat fabrikasi.

Penggunaan mikrostrip untuk aplikasi *wireless LAN* sebenarnya sudah cukup banyak dibahas, tetapi mayoritas dari mikrostrip tersebut menggunakan *patch* segiempat atau lingkaran, masih sedikit yang menggunakan *patch* segitiga. Pada Tugas Akhir ini akan dirancang dan dibangun sebuah sistem antena

mikrostrip menggunakan *patch* Segitiga Sama Sisi karena untuk frekuensi resonansi yang sama *patch* ini mempunyai dimensi yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan *patch* lain [3].

Dalam merancang antena ada beberapa cara yang digunakan untuk mengubah frekuensi kerja. Salah satunya adalah dengan metode menghitung ulang panjang sisi *patch*. Kelemahan dari cara ini adalah proses penghitungan yang dapat memakan waktu. Cara berikutnya adalah dengan metode *Trim* (potong). Jika salah satu sudut segitiga dipotong dari keadaan segitiga yang utuh maka frekuensi kerja akan membesar. Pemotongan salah satu sudut *patch* segitiga akan dibaca sebagai sebuah segitiga yang utuh (tanpa *trim*) dengan dimensi yang lebih kecil. Hal ini relevan dengan teori "Semakin kecil dimensi *patch*, maka makin besar frekuensinya" [3]. Metode ini terbukti lebih cepat dari metode menghitung ulang panjang sisi *patch*.

Device wireless LAN yang beredar di pasaran saat ini bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 5,2 GHz, dengan 2,4 GHz sebagai frekuensi yang paling banyak digunakan. Salah

satu alasannya adalah pada frekuensi 5,2 GHz AP (Access Point) yang dibutuhkan lebih banyak dibandingkan dengan sistem yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz, dan standar IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) 802.11g yang menjadi standar mutakhir wireless LAN juga bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Maka dari itu frekuensi yang dipilih untuk antena ini adalah frekuensi wireless LAN 2,4 GHz.

Ada beberapa *design* untuk antena *patch* segitiga dengan dimensi yang lebih besar diantaranya: "Design of a Dual Patch Triangular Microstrip Antenna" yang mempunyai panjang sisi *patch* segitiga 52,1 mm [1], "Triangular Patch Antennas for Dual Mode 802.11a,b WLAN Application" yang mempunyai panjang sisi *patch* segitiga 63,9 mm [4], dan "A Broadband Design for a Printed Isosceles Triangular Slot Antenna for Wireless Communications" yang mempunyai panjang sisi *patch* segitiga 51,5 mm [6]. Pada tugas akhir ini dirancang suatu antena mikrostrip segitiga sama sisi dengan frekuensi wireless LAN 2,4 GHz - 2,4835 GHz yang diharapkan mempunyai dimensi yang lebih kecil dari *design* pada [1], [4], dan [6]. Dengan dimensi keseluruhan yang lebih kecil dibandingkan dengan *design* pada [1], [4], dan [6], maka antena segitiga sama sisi metode *trim* ini diharapkan dapat diaplikasikan untuk kebutuhan wireless LAN seperti pada Wireless LAN PCMCIA (Personal

Computer Memory Card Industry Association) card.

Batasan Masalah

Antena mikrostrip yang dibahas di sini adalah antena mikrostrip segitiga sama sisi dengan menggunakan metode *trim* yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz (2,4 GHz – 2,4835 GHz) dengan VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) $d'' 2$, return loss $d'' -9,54$ dB dan pencatuan terganggu secara elektromagnetik. Karakteristik yang diamati adalah VSWR, return loss, input impedansi, pola radiasi, dan gain.

Tujuan Penelitian

Merancang bangun antena mikrostrip *patch* segitiga sama sisi dengan metode *trim* yang bekerja pada frekuensi wireless LAN 2,4 GHz, dengan pencatuan terganggu secara elektromagnetik.

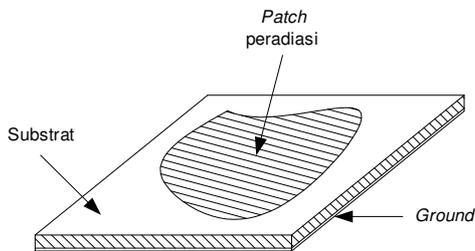
KERANGKA TEORI

Antena Mikrostrip

Antena berdasarkan definisi umum adalah peralatan yang digunakan untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Berdasarkan standar IEEE nomor 145-1983 : "Antena adalah sebuah kata yang dimaksudkan untuk meradiasi atau menerima gelombang radio", dengan kata lain antena adalah struktur transisi antara udara bebas dengan peralatan *guide* atau saluran transmisi

[2]. Gambar 1 menjelaskan tentang hal tersebut.

Konfigurasi dari model antenna mikrostrip yang paling sederhana terdapat pada gambar 1. Antena ini hanya terdiri dari *Patch* yang teradiasi yang berada pada bahan Substrat Dielektrik dimana substrat ini mempunyai *Ground*. *Ground* yang terdapat pada bagian paling bawah ini mempunyai bahan yang sama dengan *patch* peradiasi yaitu tembaga.



Gambar 1 Konfigurasi antenna mikrostrip yang paling sederhana

Antena mikrostrip segitiga sama sisi digunakan untuk mendapatkan karakteristik radiasi yang sama dengan antena mikrostrip segiempat untuk frekuensi resonansi yang sama, tetapi dengan dimensi yang lebih kecil [3].

Frekuensi Resonansi

Untuk resonator *patch* segitiga yang dikelilingi oleh dinding magnet yang sempurna berlaku rumus Persamaan 1.

$$f_r = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2}$$

Persamaan 1. Frekuensi Resonansi

dimana:

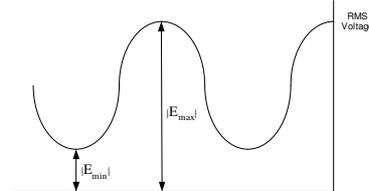
- c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)
- ϵ_r = permitivitas dielektrik substrat
- a = panjang sisi segitiga sama sisi
- m, n = notasi mode m, n

VSWR dan return loss

VSWR merupakan besaran relatif dari gelombang yang direfleksikan dalam sebuah jalur yang *low-loss* [5]. Dinyatakan dalam Persamaan 2:

$$VSWR = \left| \frac{E_{max}}{E_{min}} \right|$$

Persamaan 2. VSWR



Gambar 2 *Standing-wave* pada jalur transmisi [5]

Dimana E_{max} adalah tegangan puncak dari titik tertinggi dalam pola *standing-wave* dan E_{min} merupakan titik terendahnya. Seperti pada gambar 2.

VSWR berhubungan dengan besaran koefisien refleksi (\tilde{A}). Koefisien refleksi merupakan nilai koefisien gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh *receiver*. VSWR dalam hubungannya dengan beberapa beban dapat dijelaskan sebagai berikut:

Matched ($Z_R = Z_0$)

, maka

$VSWR = 1$, sangat sulit untuk didapat, karena nilai ini merupakan nilai ideal dimana semua gelombang tidak ada yang dipantulkan. Para produsen antenna pada umumnya memakai nilai $VSWR$ 1,5. Sedangkan pembuatan antenna untuk percobaan biasanya menggunakan nilai 2.

Return loss didefinisikan sebagai perbandingan dalam *decibel* (dB) antara daya yang datang (*incident* = P^+) dan daya yang direfleksikan (*reflected* = P^-). *Return loss* sangat berhubungan dengan $VSWR$. *Return loss* dirumuskan pada Persamaan 3 dan diturunkan pada Persamaan 4.

$$\frac{P^-}{P^+} = \frac{|E^-|^2}{|E^+|^2} = |\Gamma|^2$$

Persamaan 3. Definisi Return Loss

$$return\ loss = 10 \log \frac{P^+}{P^-} = 20 \log \frac{1}{|\Gamma|}$$

Persamaan 4. Return Loss

Kaitan *return loss* dalam hubungannya dengan $VSWR$ dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$return\ loss = 20 \log \frac{VSWR + 1}{VSWR - 1}$$

Persamaan 5. Return Loss dan $VSWR$

Bandwidth

Bandwidth pada antenna didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi yang merepresentasikan performa antenna dalam hubungannya dengan

karakteristik berdasarkan standar spesifikasi [2].

Ada beberapa definisi tentang *bandwidth* dalam antenna mikrostrip, diantaranya:

1. *Pattern bandwidth*, adalah jangkauan frekuensi dimana *beamwidth*, *side lobe*, atau *gain* memenuhi nilai tertentu.
2. *Impedance bandwidth*, adalah jangkauan frekuensi dimana saluran pencatu *match* dengan *patch*.
3. *Axial ratio bandwidth* adalah jangkauan frekuensi dimana polarisasi melingkar terjadi.

Bandwidth antenna secara umum diukur dengan menggunakan frekuensi atas, frekuensi bawah dan frekuensi tengahnya seperti pada rumus di bawah:

$$Bandwidth = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\%$$

Persamaan 6. Bandwidth

dimana:

f_h = frekuensi tertinggi dalam *bandwidth*

f_l = frekuensi terendah dalam *bandwidth*

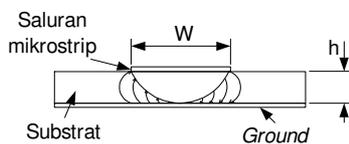
f_c = frekuensi tengah dalam *bandwidth*

Saluran Mikrostrip

Saluran mikrostrip adalah suatu saluran yang menghantarkan arus listrik dari sumber listrik menuju *patch* agar *patch* dapat teradiasi. Tanpa

saluran ini maka mustahil gelombang elektromagnetik akan timbul.

Seperti terlihat pada gambar 3, saluran yang dalam hal ini mempunyai lebar W dipisahkan oleh substrat yang memiliki ketebalan h sebelum *ground*. Hal terpenting dalam saluran mikrostrip ini adalah Impedansi Karakteristik (Z_0). Impedansi ini ditentukan dari lebar saluran W dan tinggi substrat h .



Gambar 3 Saluran mikrostrip (tampak samping) [2]

Karakteristik saluran ini dibedakan untuk $W/h < 1$ dan $W/h > 1$, dimana pada $W/h < 1$ dan dengan:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/w}} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right]$$

Impedansi karakteristiknya menjadi :

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right)$$

sedangkan untuk $W/h > 1$ dan dengan :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/w}} \right]$$

Impedansi karakteristiknya menjadi :

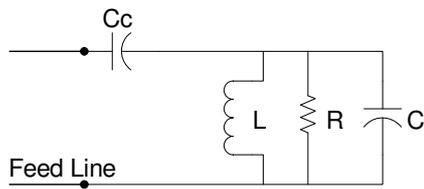
$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{W/h + 1.393 + 2/3 \ln(W/h + 1.44)}$$

Pencatuan *Electro Magnetically Coupled*

Pencatuan *EMC (Electro Magnetically Coupled)* menggunakan dua substrat dengan *patch* pada substrat bagian atas dan saluran mikrostrip pada substrat bagian bawah yang diakhiri dengan *ground*. Saluran ini berakhir tepat di bawah *patch*. Karena tidak menyentuh *patch* secara fisik dan hanya bersifat menggandeng secara elektromagnetik *patch* yang berada di atasnya maka pencatuan ini disebut *electro magnetically coupled*.

Bila ada dua konduktor yang saling berdekatan satu sama lain maka ruang antara keduanya akan mempunyai sifat kapasitif, hal tersebut terjadi pula pada pencatuan ini dimana dua konduktor tersebut adalah saluran mikrostrip dan *patch*, maka ruang diantara keduanya yaitu substrat akan mengalami sifat kapasitif.

Rangkaian ekuivalen dari pencatuan ini digambarkan seperti pada gambar 4. Pada gambar tersebut C_c adalah kapasitor *coupling* yang terjadi antara saluran mikrostrip dengan *patch*, dimana RLC merepresentasikan *patch*. Kapasitor ini dapat dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan *matching* impedansi dari antenna. Saluran mikrostrip ini juga dapat ditambahkan dengan *stub* untuk memperlebar *bandwidth* [3].



Gambar 4. Rangkaian ekuivalen dari sistem pencatuan *electro magnetically coupled* [3]

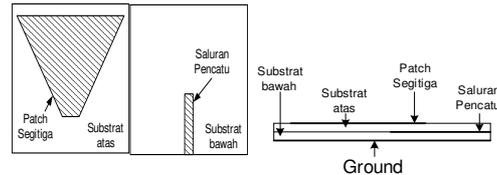
METHODOLOGI

Karakteristik dan Konfigurasi Antena

Antena yang akan dibuat memiliki karakteristik frekuensi kerja *wireless LAN* pada 2,4 GHz dengan *bandwidth* 2,4 GHz-2,4835 GHz. Frekuensi 2,4 GHz dipilih karena kecenderungan produk *wireless LAN* sekarang ini masih bekerja pada frekuensi tersebut, contoh dengan adanya standar baru *IEEE 802.11g* yang justru bekerja pada 2,4 GHz. Ditambah lagi dengan jumlah *AP* yang lebih sedikit dibandingkan dengan frekuensi kerja 5,2 GHz membuat frekuensi 2,4 GHz masih menjadi pilihan utama para produsen antena *wireless LAN*. Pada frekuensi ini *VSWR* yang terjadi diharapkan $d'' 2$ dengan *return loss* $d'' 9,54$ dB.

Antena ini terdiri dari tiga *layer*. Dimana setiap *layer* terdapat konduktor yang berfungsi sebagai tempat terjadinya arus listrik dan medan magnet. *Layer* pertama (*layer* atas) merupakan *patch* segitiga sama sisi yang dipotong (*trim*) dan *layer* kedua (*layer* bawah) merupakan

saluran pencatu yang berbentuk seperti saluran seperti pada gambar 5. *Layer* yang terakhir adalah *ground*. Di setiap *layer* yang disebutkan di atas diisi oleh substrat sebagai penyangga mekanik dari metalisasi antena [3].



Gambar 5. *Patch* segitiga sama sisi yang dipotong (*trim*) dan saluran pencatu

Patch segitiga sama sisi tidak mempunyai hubungan langsung dengan saluran pencatu yang ada di bawahnya. Oleh karena itu *patch* ini dikatakan terganggeng dengan saluran pencatu secara elektromagnetik karena medan elektromagnetik-lah yang membuat *patch* ini seolah terhubung dengan saluran pencatunya. Pencatu yang digunakan di sini merupakan pencatu sederhana yang membangkitkan polarisasi linear.

Karakteristik Substrat

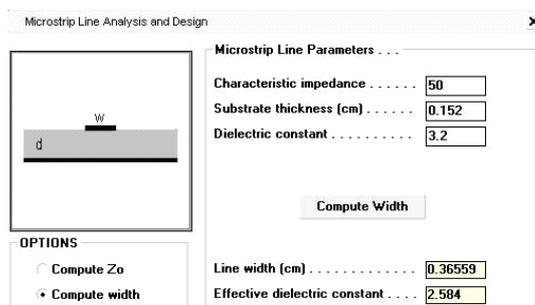
Sebagaimana yang telah disebutkan di atas, substrat dalam mikrostrip antena secara prinsip dibutuhkan sebagai penyangga mekanik untuk metalisasi antena. Untuk memenuhi kebutuhan ini sebuah substrat harus merupakan material dielektrik yang akan mempengaruhi performa elektrik dari antena, sirkuit, dan jalur transmisi. Parameter substrat yang digunakan dalam antena ini terdapat pada tabel 1.

Tabel 1 Parameter substrat yang digunakan

Parameter	Nilai
Jenis	GML 2032 060 1/1
Konstanta Dielektrik Relatif	3.2 ± 0.05
Rugi Tangensial	0.0025
Tebal [cm]	0.152 ± 0.0076
Konduktivitas Termal (pada 99°C) [W/moK]	0.232

Penentuan Lebar Saluran Pencatu

Dimensi saluran pencatu dihitung dengan menggunakan program PCAAD (*Personal Computer Aided Antenna Design*) versi 3.0. Program ini juga dapat menghitung karakteristik impedansi dari *input* lebar saluran pencatu yang sudah ditentukan terlebih dahulu. Seperti pada gambar 6, dengan *input* karakteristik impedansi yang diberikan 50Ω , didapat:



Gambar 6 Penghitungan lebar saluran pencatu dengan menggunakan PCAAD 3.0

Berdasarkan gambar 6, maka lebar saluran pencatu yang didapat sebesar 3,6559 mm. Karena program simulasi MWO (*Micro Wave Office*) menggunakan *grid* sebagai basis dasar untuk simulasinya, dan karena kerapatan *grid* berhubungan dengan waktu simulasi (makin rapat *grid*, makin

lama waktu simulasi) dan juga berhubungan dengan spesifikasi komputer yang harus digunakan, maka lebar 3,6559 mm dibulatkan menjadi 3,6 mm.

Penentuan Dimensi Patch Segitiga

Berdasarkan rumus penentuan panjang sisi *patch* segitiga, maka panjang sisi *patch* segitiga antena adalah:

$$a = \frac{2c}{3f\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2 \times 3 \times 10^8}{3 \times 2.4175 \times \sqrt{3.2}} = 46.2 \text{ mm}$$

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa kerapatan *grid* mempengaruhi waktu simulasi, maka untuk memudahkan proses simulasi pada program MWO nilai 46,2 mm dibulatkan menjadi 46 mm.

Simulasi Patch dengan Saluran Pencatu

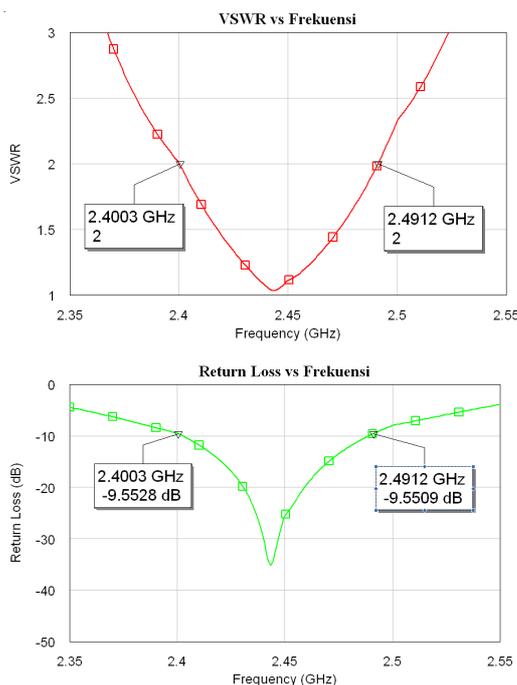
Setelah lebar saluran pencatu dan panjang sisi segitiga ditentukan maka langkah selanjutnya adalah mensimulasi gabungan saluran pencatu dengan *patch* menggunakan program MWO sampai karakteristik yang diinginkan tercapai.

a. Penentuan panjang ujung patch segitiga yang dipotong

Langkah kedua adalah mengatur *patch* segitiga (t) agar frekuensi kerja yang diinginkan terpenuhi dengan cara memotong (*trim*) sudut bagian bawah yang berhadapan dengan konektor

50 Ω setahap demi setahap, dalam hal ini tahapan yang diambil adalah per 0,25 mm.

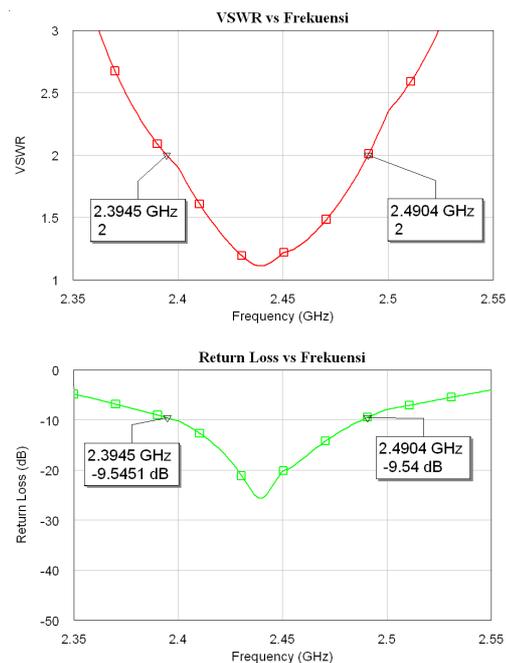
Pada tahap ini selain mengatur panjang *patch* yang akan dipotong (*trim*), saluran pencatu juga diatur ulang karena panjang t yang membuat ujung saluran pencatu tidak berada tepat di bawah *patch* sama sekali-pun belum membuat frekuensi 2,4GHz tercapai. Tetapi karena pada tahap ini difokuskan pada penentuan panjang ujung *patch* segitiga yang dipotong (*trim*) maka pengaturan saluran pencatu dilakukan dengan tahapan per 1 cm.



Gambar 7. Simulasi VSWR dan *return loss*

Untuk rancangan ini hasil terbaik adalah *patch* dengan panjang *trim* (t) sebesar 8,25 mm dari kondisi segitiga

yang utuh. Sedangkan untuk panjang saluran pencatu, hasil terbaik adalah dengan panjang 18 mm. Hasil simulasi untuk konfigurasi ini ada pada gambar 7. Seperti terlihat bahwa perubahan frekuensi kerja dengan metode *trim* ini mempengaruhi kondisi *matching* dari antenna walaupun tidak terlalu signifikan. *Bandwidth* yang didapat dari simulasi ini yaitu 909 MHz (2,4003-2,4912 GHz) belum memenuhi standar *wireless LAN* (2,4 GHz-2,4835 GHz). Untuk itu diperlukan langkah selanjutnya untuk mengatur supaya frekuensi yang diinginkan tercapai.



Gambar 8. Simulasi VSWR dan *return loss* untuk konfigurasi tersebut

b. Penentuan panjang saluran pencatu

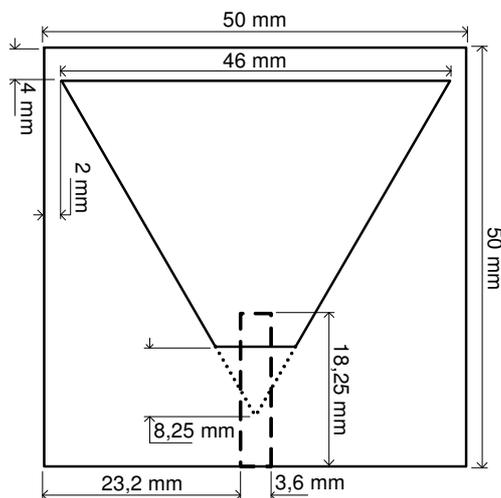
Langkah selanjutnya menentukan ulang saluran pencatu (l_2) untuk yang

terakhir (*fine tuning*), agar hasil yang didapat lebih baik dari langkah sebelumnya. Pada langkah sebelumnya, *range* frekuensi yang diinginkan belum tercapai (2,4003-2,4912 GHz). Proses pengaturan ulang panjang saluran pencatu ini dapat membuat saluran pencatu lebih *matching* lagi sehingga *range* frekuensi yang diinginkan terpenuhi.

Hasil terbaik dari konfigurasi ini adalah $l_2 = 18,25$ mm. Dari gambar 8 *bandwidth* secara umum dapat diketahui sebagai berikut:

Tabel 2 *VSWR* dan *return loss* yang didapat

Parameter	Nilai
Frekuensi bawah	2,3945 GHz
Frekuensi atas	2,4904 GHz
Frekuensi tengah	2,44245 GHz
<i>Bandwidth</i> 2:1	95,9 MHz (3,926 %)
<i>VSWR</i> minimum	1,104
<i>Return loss</i> minimum	-25,626 dB



Gambar 9. Hasil akhir konfigurasi antena disertai dimensinya. Garis titik-titik bukan merupakan bagian dari konfigurasi tetapi merupakan panduan untuk gambar.

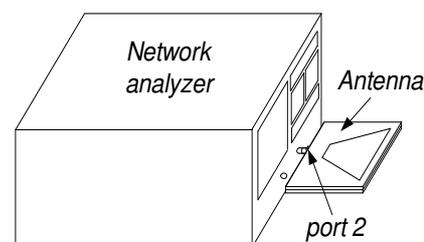
Diagram Alir Perancangan Antena

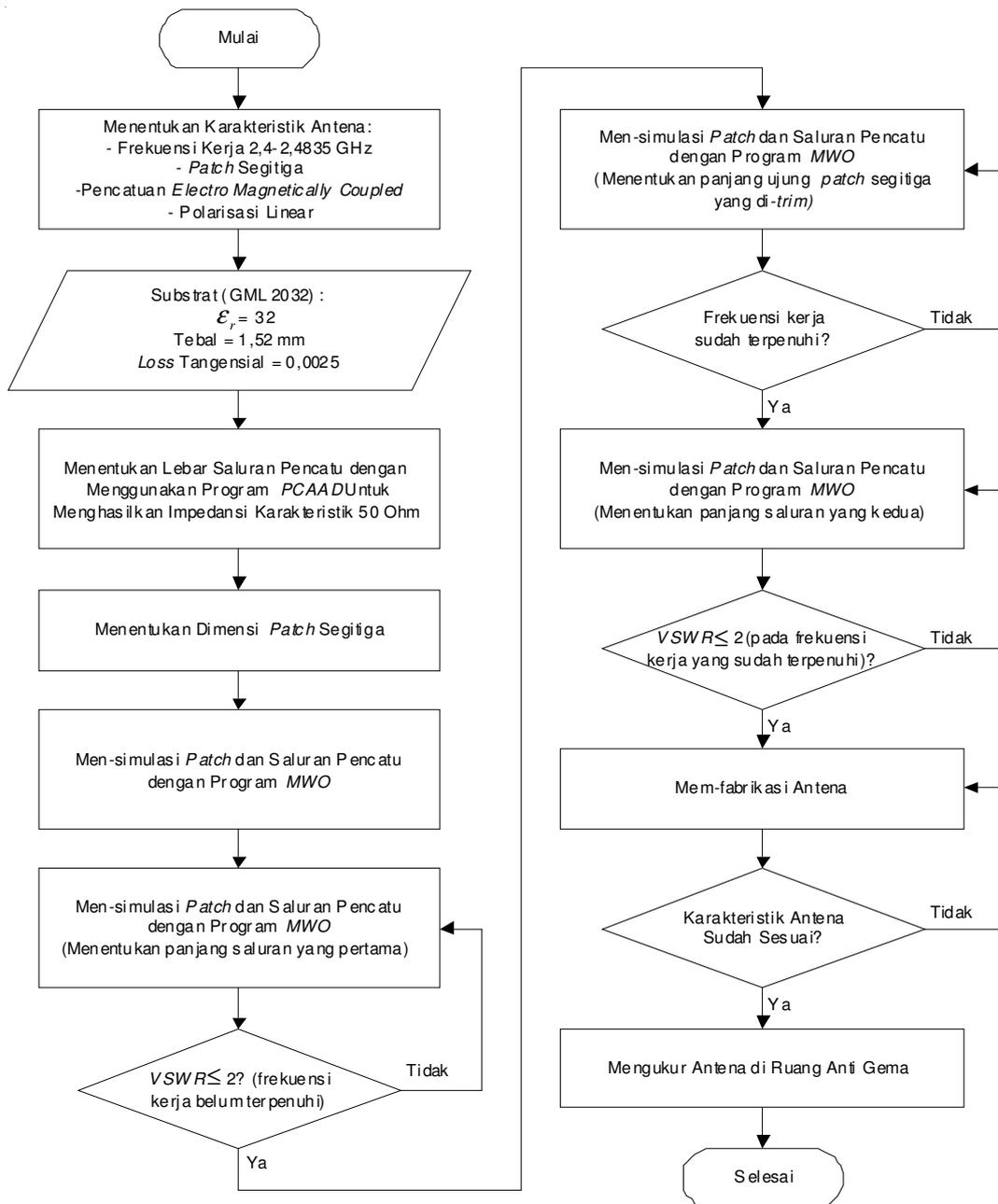
Diagram alir akan membuat proses perancangan menjadi lebih sistematis, terarah dan mudah dikontrol atau pun dievaluasi sampai mana proses perancangan berjalan. Diagram alir untuk perancangan ini seperti pada gambar 10.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran port tunggal

Pengukuran *port* tunggal dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari antena yang telah difabrikasi tanpa melibatkan antena lain atau tanpa menentukan apakah antena fabrikasi sebagai antena pengirim (*transmitter*) atau penerima (*receiver*). Karakteristik yang didapat berupa *VSWR*, *return loss*, dan impedansi masukan, sedangkan pola radiasi dan gain tidak bisa diketahui karena pengukuran karakteristik ini menggunakan antena lebih dari satu pada saat yang bersamaan pada dua *port*, seperti yang akan dijelaskan pada sub-bab berikutnya.





Gambar 10. Diagram alir perancangan antenna

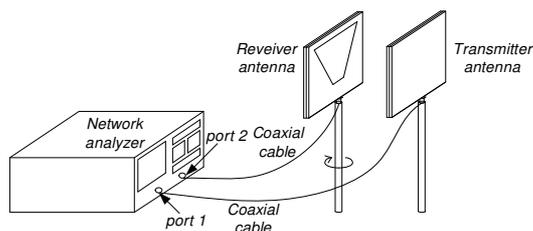
Pengukuran ini menggunakan *network analyzer* dan antenna fabrikasi seperti pada gambar 11. Antenna fabrikasi dipasang pada salah satu port dari

network analyzer. Lalu tampilan pada layar diatur untuk menampilkan nilai *VSWR* dari antenna. Kemudian nilai *VSWR* dicatat untuk dibandingkan

dengan nilai *VSWR* hasil dari simulasi.

Pengukuran pola radiasi

Pola radiasi dari suatu antenna akan lebih baik ditentukan dengan cara memposisikan antenna tersebut sebagai antenna penerima. Selain antenna fabrikasi yang dibuat pada rancangan ini, selanjutnya disebut Antena Segitiga (*Triangular Antenna*), dibutuhkan juga suatu antenna dengan frekuensi kerja yang identik dengan antenna segitiga, selanjutnya disebut Antena Identik. Antena ini berfungsi sebagai antenna pengirim dan antenna segitiga adalah antenna penerimanya.



Gambar 12. Konfigurasi pengukuran pola radiasi

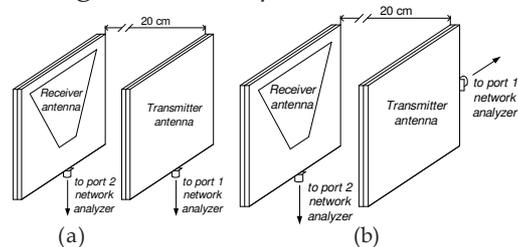
Seperti terlihat pada gambar 12, antenna pengirim adalah antenna identik dan antenna penerima adalah antenna segitiga. Masing-masing dihubungkan dengan kabel *coaxial* menuju *port 1* dan *port 2*. Antena pengirim dan penerima harus berada dalam ketinggian yang sama dan posisi yang sejajar agar arah berkas yang dipancarkan dapat diterima semaksimal mungkin.

Pengukuran pola radiasi dilakukan pada daerah medan jauh (*far-field re-*

gion) -nya. Pada daerah ini distribusi medan angular sudah tidak bergantung pada jarak dari kedua antenna. Sedangkan jarak minimum dari medan jauh tersebut ditentukan oleh perbandingan dua kali kuadrat dimensi terbesar dari antenna dengan λ dari antenna, λ yang dipakai adalah λ yang tertinggi (frekuensi yang terendah) pada frekuensi kerja yang diinginkan agar nilai r yang didapat adalah r paling kecil dalam *range* frekuensi kerja.

Untuk rancangan ini jarak minimum dari medan jauh berdasarkan perhitungan adalah 4 cm pada frekuensi 2,4 GHz. Tetapi pada saat pengukuran jarak yang diambil adalah 20 cm, hal ini dapat dibenarkan karena jarak minimum medan jauh-nya sudah terpenuhi.

Setelah konfigurasi selesai dirancang, maka langkah selanjutnya adalah mengambil data pada tampilan *network analyzer*. Format pengukuran yang diambil adalah *S21* yang telah dikalibrasi. Hal ini berarti format pengukuran menganalisa *port 2* sebagai efek dari *port 1*.



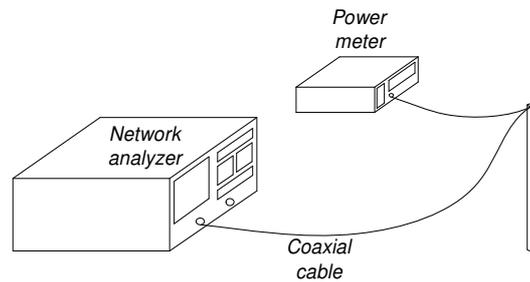
Gambar 13. Konfigurasi pengukuran pola radiasi, (a) Pada bidang E, (b) Pada bidang H

Antena pengirim dalam posisi tetap sedangkan antena penerima diputar sampai 360° dari 0° dengan 0° adalah posisi dimana antena pengirim dan penerima saling berhadapan. Karena pengukuran ini mempunyai variabel sudut maka frekuensi diatur konstan terhadap sudut. Frekuensi yang digunakan adalah pada 2,44 GHz. Data lalu dicatat dengan *step* per 10° untuk masing-masing bidang E dan bidang H.

Pengukuran gain

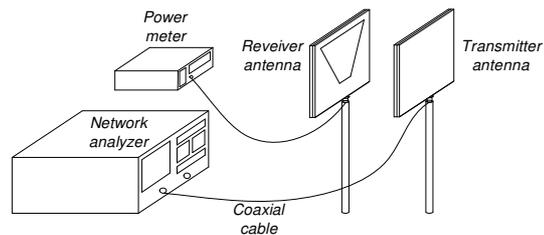
Konfigurasi pengukuran *gain* hampir sama dengan konfigurasi pada pengukuran pola radiasi, hanya saja pada pengukuran *gain*, *network analyzer* difungsikan sebagai osilator yang membangkitkan sinyal pada antena pengirim sedangkan pengukuran daya yang diterima oleh antena penerima diukur oleh *power meter*.

Langkah pertama adalah mengukur daya yang dikirim. Karena konfigurasi ini menggunakan kabel *coaxial* yang cenderung meredam daya yang melaluinya, maka pada pengukuran daya yang dikirim, posisi pengukuran dilakukan pada titik dimana antena pengirim akan ditempatkan, seperti terlihat pada gambar 14. Pengukuran dilakukan dengan step 10 MHz dimulai dari 2,4 GHz – 2,48 GHz dan dengan step 3,5 MHz dari 2,48 GHz – 2,4835 GHz.



Gambar 14 Konfigurasi pengukuran *gain* (pengukuran daya yang dikirim)

Langkah berikutnya adalah mengukur daya yang diterima pada antena penerima. Karena pengukuran *gain* ini menggunakan metode tiga-antena, maka kombinasi yang memungkinkan adalah:



Gambar 15. Konfigurasi pengukuran *gain* (pengukuran daya yang diterima)

Format pengukuran yang diambil sama dengan pengukuran pada pola radiasi, yaitu S_{21} yang telah dikalibrasi. Untuk ketiga kombinasi antena seperti tersebut pada tabel 3, pengukuran dilakukan dengan step 10 MHz dimulai dari 2,4 GHz – 2,48 GHz dan dengan step 3,5 MHz dari 2,48 GHz – 2,4835 GHz.

Hasil Pengukuran

Data pengukuran diambil melalui tiga cara. Cara pertama yaitu dengan mencetak tampilan pada layar *network*

analyzer, cara kedua dengan mencatat data yang tampil pada layar *network analyzer* dan cara ketiga dengan mencatat data yang tampil pada layar *power meter*.

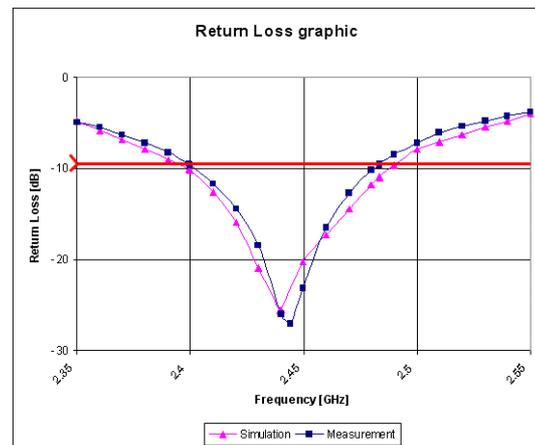
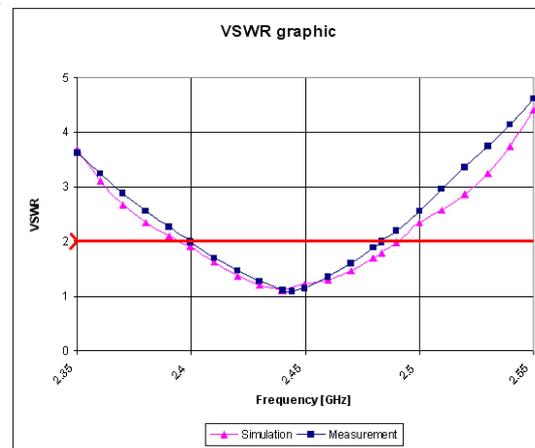
Pengukuran port tunggal

Pada gambar 16 tampak bahwa hasil pengukuran dengan hasil simulasi mempunyai perbedaan walau tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan kondisi yang berbeda antara simulasi dengan fabrikasi. Pada saat simulasi semuanya bersifat ideal dan akurat, tetapi pada saat fabrikasi hal ini sangat sulit untuk dilakukan, seperti terminasi konektor pada saluran pencatu yang sulit untuk dibuat seperti terminasi hasil pabrik, proses sablon dan *etching* dimensi *patch* dan saluran pencatu yang tidak akurat.

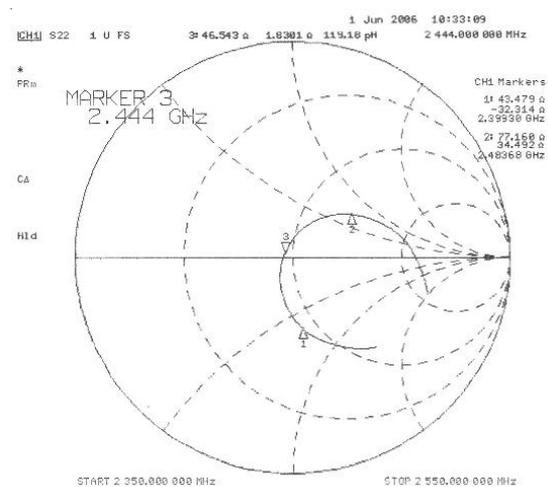
Hasil *VSWR* dan *return loss* pada Tabel 4. Hasil pengukuran *port* tunggal

Parameter	Nilai
Frekuensi bawah	2,3993 GHz
Frekuensi atas	2,48368 GHz
Frekuensi tengah	2,44149 GHz
Bandwidth 2:1	84,38 MHz (3,456 %)
<i>VSWR</i> minimum	1,0845
<i>Return loss</i> minimum	-27,046 dB

simulasi cenderung lebih *matching* dibandingkan dengan hasil pengukuran. Tetapi pada pengukuran *return loss* kondisi paling rendah justru dicapai oleh hasil pengukuran dengan -27,046 dB (*return loss* simulasi = -25,626dB). Garis merah berfungsi sebagai indikator bahwa nilai maksimal untuk kedua parameter (*VSWR* dan *return loss*) sudah terpenuhi.



Gambar 16. Perbandingan data *VSWR* dan *return loss* antara simulasi dan pengukuran



Gambar 17. Impedansi masukan pada pengukuran

Tabel 5. Hasil pengukuran impedansi masukan

Parameter	Nilai [?]
Frekuensi bawah (2,3993 GHz)	43,479 - j32,314
Frekuensi resonansi (2,444 GHz)	46,543 + j1,8301
Frekuensi atas (2,48368 GHz)	77,176 + j34,492

Idealnya impedansi masukan adalah 50 Ω sesuai dengan konektor yang dipakai yang juga 50 Ω . Tetapi pada pengukuran didapat nilai yang berbeda pada frekuensi atas dan bawahnya seperti pada tabel 4, sedangkan pada frekuensi resonansinya cenderung mendekati 50 Ω . Hal ini dapat berarti pada frekuensi resonansi kondisi *matching* terjadi walau tidak terlalu sempurna.

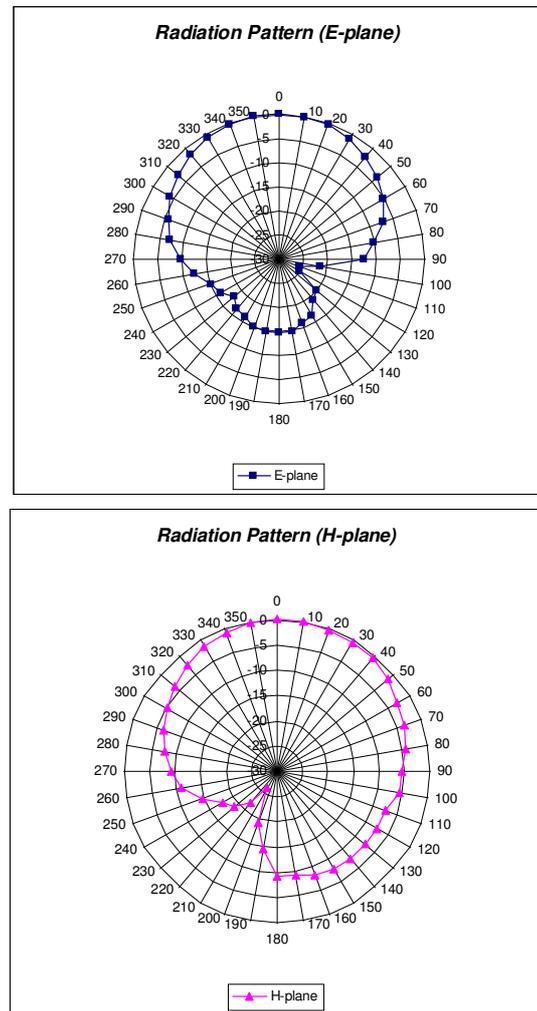
Pengukuran pola radiasi

Berkas utama (*main beam/major lobe*) untuk rancangan antenna ini terdapat pada sudut 0°. Seperti terlihat pada gambar 18 baik untuk bidang E maupun H mempunyai berkas utama yang sama (0°), ini merupakan karakteristik yang baik untuk antenna.

Minor lobe dalam hal ini *back lobe* muncul dalam pola walau tidak besar. *Minor lobe* cukup sulit untuk dihilangkan, yang memungkinkan adalah meminimalisir terjadinya *minor lobe* tersebut.

Pengukuran gain

Hasil pengukuran *gain* untuk ketiga antenna mempunyai pola yang hampir sama dan cenderung naik seiring dengan membesarnya frekuensi. Hal



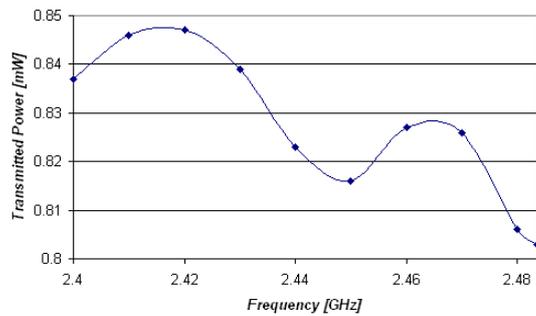
Gambar 18. Pola radiasi, (kiri) Bidang E, (kanan) Bidang H

ini dapat dibenarkan karena frekuensi berbanding lurus dengan nilai pokok *gain*:

$$20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R f}{c} \right) = G_m$$

Karena daya yang dikirim (P_t) berbanding terbalik dengan *gain*, maka makin kecil daya yang diterima, *gain* akan semakin besar. Pada gambar 19 daya yang dikirim cenderung

turun walau tidak terlalu signifikan seiring bertambahnya frekuensi, maka dari itu kondisi ini juga dapat membuat *gain* cenderung naik.



Gambar 19 Daya yang dikirim cenderung turun

Salah satu perhitungan data yaitu untuk frekuensi 2,44 GHz adalah sebagai berikut:

Frekuensi (f) = 2,44 GHz

λ = 12,295 cm

Jarak minimum kedua antenna (r) = 20 cm

Kemudian dengan menggunakan persamaan-persamaan yang tepat, didapat:

- a. Kombinasi I, antenna segitiga (G_t) dan antenna identik1 (G_{id1}):
Antena pengirim = antenna identik1
Antena penerima = antenna segitiga
Daya dikirim = 0,823 mW
Daya diterima = 43,7 μ W

$$(G_t)_{dB} + (G_{id1})_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi 20}{12.295}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{43,7}{823}\right) = -12.749 \text{ dB}$$

- b. Kombinasi II, antenna segitiga (G_t) dan antenna identik2 (G_{id2}):
Antena pengirim = antenna identik2
Antena penerima = antenna segitiga

Daya dikirim = 0,823 mW

Daya diterima = 42,7 μ W

$$(G_t)_{dB} + (G_{id2})_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi 20}{12.295}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{42,7}{823}\right) = -12.8497 \text{ dB}$$

- c. Kombinasi III, antenna identik1 (G_{id1}) dan antenna identik2 (G_{id2}):
Antena pengirim = antenna identik1
Antena penerima = antenna identik2
Daya dikirim = 0,823 mW
Daya diterima = 40,15 μ W

$$(G_{id1})_{dB} + (G_{id2})_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi 20}{12.295}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{40,15}{823}\right) = -13.117 \text{ dB}$$

Lalu dari hasil di atas didapat *gain* untuk masing-masing antenna:

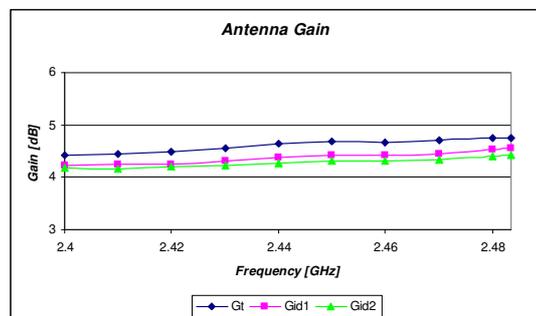
$$G_t \text{ (dB)} = \frac{(-12.749 - 12.8497 + 13.117)}{2} = 4.644 \text{ dB}$$

$$G_{id1} \text{ (dB)} = \frac{(-12.749 + 12.8497 - 13.117)}{2} = 4.376 \text{ dB}$$

$$G_{id2} \text{ (dB)} = \frac{(12.749 - 12.8497 - 13.117)}{2} = 4.276 \text{ dB}$$

Tabel 6. Gain untuk ketiga antenna

Frequency [GHz]	G_t	G_{id1}	G_{id2}
2.4	4.423813482	4.23241652	4.180714185
2.41	4.451900788	4.240007798	4.168221951
2.42	4.497865437	4.250232075	4.19425896
2.43	4.556411508	4.303965934	4.222976271
2.44	4.643514207	4.376090952	4.275555333



Gambar 20. Gain untuk ketiga antenna

Analisa Pengukuran dan Kesalahan

Data antara hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan perbedaan walau tidak terlalu signifikan, hal ini dapat dimaklumi karena proses fabrikasi yang tidak ideal atau tidak akurat. *Bandwidth* yang didapat pada hasil pengukuran lebih kecil dibandingkan hasil simulasi, ini dapat dikarenakan proses terminasi konektor pada saluran pencatu yang tidak baik. Tetapi *bandwidth* tersebut masih dapat melingkupi *bandwidth* frekuensi *wireless LAN* 2,4 GHz.

Bandwidth wireless LAN : 2,4 GHz-2,4835 GHz (83,5 MHz)

Bandwidth simulasi: 2,3945 GHz-2,4904 GHz (95,9 MHz)

Bandwidth fabrikasi: 2,3993 GHz-2,28368 GHz (84,38 MHz)

Frekuensi resonansi bergeser dari 2,4394 GHz pada simulasi ke 2,444 GHz pada saat pengukuran, sehingga kesalahan relatifnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\left(\frac{2.444 - 2.4394}{2.4394} \right) \times 100 \% = 0.188 \%$$

Kesalahan 0,188 % merupakan kesalahan yang sangat kecil, artinya kesalahan ini sangat ditolerir. Perbedaan frekuensi resonansi ini menyebabkan nilai *VSWR* dan *return loss*-pun ikut berubah. *VSWR* terendah pada simulasi adalah 1,104 dan pada pengukuran adalah 1,0845, sedangkan *return loss* terendah pada simulasi

adalah -25,626 dB dan pada pengukuran adalah -27,046 dB. Untuk impedansi masukan kondisi *matching* diperoleh pada frekuensi resonansinya yaitu pada 46,543 + j1,8301 Ω , sedangkan pada frekuensi bawah (2,3993 GHz) dan atas (2,28368 GHz) nilai 50 Ω tidak bisa dicapai. Kondisi ini bisa disebabkan karena lebar saluran pencatu yang tidak presisi dan proses terminasi konektor yang tidak baik.

Pada pengukuran pola radiasi, berkas utama antara bidang E dan bidang H mempunyai nilai sudut yang sama yaitu pada 0°, karakteristik ini sudah mencukupi untuk sistem *wireless LAN*. Pada grafik timbul *side lobe* yang tidak besar, hal ini tidak terlalu mempengaruhi karakteristik antenna secara keseluruhan selama *main lobe*-nya lebih besar dari *side lobe*.

Pada pengukuran *gain*, terjadi penurunan daya pada jalur transmisi karena penggunaan kabel *coaxial*. Pada pengukuran langsung di *port* 1 daya yang terukur adalah 1 mW sedangkan dengan menggunakan kabel *coaxial* daya yang terukur adalah $\pm 0,8$ mW, hal ini tidak akan berpengaruh langsung pada proses pengukuran *gain* karena selama pengukuran ini melibatkan perbandingan antara daya yang diterima dengan daya yang dikirim, maka nilainya akan cenderung sama.

Secara umum perbedaan data pada perancangan antenna ini dapat disebabkan oleh:

- a. Peralatan yang digunakan untuk fabrikasi tidak ideal. Seperti bahan substrat yang tidak homogen, sehingga dapat menimbulkan *loss*, bahan timah untuk solder yang tidak baik, sehingga dapat mengurangi kondisi *matching*.
 - b. Kesalahan dalam proses fabrikasi antenna. Seperti tidak akuratnya substrat yang dipotong dengan menggunakan gergaji besi biasa, tidak sempurnanya proses *etching* sehingga masih ada lapisan tembaga yang tertinggal atau justru menghilangkan lapisan tembaga pada titik yang tidak diinginkan, sistem terminasi konektor yang *hand-made* sehingga tingkat kerapian kurang seperti pada *factory-made*.
 - c. Kesalahan dalam pengukuran. Hal ini dapat disebabkan oleh kesalahan pembacaan data, masih adanya gelombang elektromagnetik yang terpantul dalam ruang anti-gema karena masih adanya celah atau pantulan dari manusia, dan juga dapat disebabkan kalibrasi alat ukur yang tidak akurat.
- (3,456 %). *VSWR* d" 2 dan *return loss* d" -9,54dB. *VSWR* terendah yaitu pada 1,0845, sedangkan *return loss* terendah yaitu pada -27,046 dB, keduanya terjadi pada frekuensi resonansi 2,444 GHz. Input impedansi pada frekuensi resonansi terjadi pada $46,543 + j1,8301 \Omega$. Polarisasi yang terjadi adalah linear.
 2. Berkas utama antenna segitiga sama sisi metode *trim* terjadi pada sudut 0° baik untuk bidang E maupun bidang H.
 3. *Gain* antenna segitiga sama sisi metode *trim* mempunyai gain sebesar 4,644 dB pada frekuensi 2,44 GHz. Penggunaan kabel *coaxial* menyebabkan redaman sebesar $\pm 0,2$ mW terjadi pada pengukuran daya yang dikirim.
 4. Kesalahan relatif frekuensi resonansi yang terjadi cukup kecil yaitu sebesar 0,188% (dari 2,4394 GHz pada simulasi menjadi 2,444 GHz pada pengukuran).
 5. Panjang sisi *patch* segitiga adalah 46 mm dan tidak termasuk bagian sudut yang terkena proses *trim*. Dengan dimensi keseluruhan antenna yang diperoleh yaitu $50 \times 50 \times 3,04$ mm, maka antenna ini dapat digunakan dalam bentuk *PCMCIA card*.

KESIMPULAN

Antena segitiga sama-sisi metode *trim* ini dirancang untuk aplikasi *wireless LAN*. Dari hasil fabrikasi yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Antena bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dengan *bandwidth* 2,3993 GHz -2,48368 GHz atau 84,38 MHz

Dengan karakteristik seperti tersebut di atas maka antenna ini dapat digunakan untuk aplikasi *wireless LAN*.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Charchafchi, S. H., Wan Ali, W .K., Ibrahim, M. R., Barnes, S. R., “*Design of a Dual Patch Triangular Microstrip Antenna*”, Cranfield College of Aeronautics, Cranfield University, March 1998.
- Balanis, C.A., “*Antenna Theory Analysis and Design*” , 2nd edition, Jhon Wiley & Sons, Inc., Canada, 1982.
- Garg, Ramesh, Bhartia, Prakash, Bahl, Inder, Ittipiboon, Apisak, “*Microstrip Antenna Design Handbook*”, Artech House, Inc., Norwood, 2001.
- Raul R. Ramirez, Franco De Flaviis, “*Triangular Patch Antennas for Dual Mode 802.11a,b WLAN Application*”, Department of Electrical and Computer Engineering, University of California, Irvine, USA, www.ece.uci.edu/rfmems/publications/br>papers/antenna/C057-AP02.pdf, 27-04-2005.
- Sinnema, William, “*Electronic Transmission Technology*”, 2nd edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1988.
- Wen-Shan Chen, Fu-Mao Hsieh, “*A Broadband Design for a Printed Isosceles Triangular Slot Antenna for Wireless Communications*”, Southern Taiwan University of Technology Tainan, Taiwan, ROC, Microwave journal, July 2005.

