

SIMULASI DAN IMPLEMENTASI ANTENA MIKROSTRIP BENTUK TRISULA SEBAGAI APLIKASI PENERIMA TV DIGITAL

M. Hidayat Al Rizqy^{*)}, Yuli Christyono, and Ajub Ajulian Z

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jln. Prof. Sudharto, SH. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : hidayatrizqy@gmail.com

Abstrak

Siaran TV digital atau penyiaran digital adalah jenis siaran televisi yang menggunakan modulasi digital dan sistem kompresi untuk menyiarkan sinyal video, audio, dan data ke pesawat televisi. Perkembangan televisi digital sendiri dilatarbelakangi oleh perubahan lingkungan eksternal, yaitu pasar TV analog yang sudah jenuh dan adanya kompetisi dengan sistem penyiaran satelit dan kabel. Selain itu juga adanya perkembangan teknologi, yaitu teknologi pemrosesan sinyal digital. Pada tugas akhir ini akan disimulasikan dan diimplementasikan antena mikrostrip bentuk trisula yang nantinya dapat diaplikasikan sebagai penerima siaran TV digital. Antena tersebut dirancang pada frekuensi 711,25MHz. Bahan yang digunakan adalah PCB epoxy (FR4) double layer dengan ketebalan bahan 1,6 mm dan konstanta dielektrik sebesar 4,4. Antena mikrostrip tersebut diuji untuk mendapatkan nilai frekuensi kerja, VSWR dan pola radiasi yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite 2011. Pengukuran juga dilakukan langsung terhadap televisi dan menggunakan antena televisi lain sebagai pembanding. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil untuk antena mikrostrip bentuk Trisula-A bekerja pada frekuensi = 750 MHz, VSWR = 1,06, antena mikrostrip bentuk Trisula-B bekerja pada frekuensi = 770 MHz, VSWR = 1,08, dan untuk antena mikrostrip Trisula-C bekerja pada frekuensi = 770MHz, VSWR = 1,06. Pola radiasi dari ketiga antena menunjukkan bahwa antena memiliki pola radiasi berbentuk directional. Pengujian pada perangkat televisi juga menunjukkan bahwa antena mikrostrip bentuk Trisula mampu menangkap siaran televisi digital dengan kualitas gambar dan suara dengan baik.

Kata kunci: TV Digital, antena, mikrostrip bentuk Trisula, frekuensi, VSWR

Abstract

Broadcast digital TV or digital broadcasting is kind of television broadcast systems using digital modulation and compression to air video signals, audio, and data to the television. The development of digital television itself motivated by changes in the external environment, analog TV market is already saturated and the competition with cable and satellite broadcasting system. In addition, there is the development of the technology of digital signal processing technology. In this final project will be simulated and implemented trident shape microstrip antenna which can later be applied as a broadcast receiver digital TV. The antenna is designed at a frequency of 711.25 MHz. The materials used are epoxy PCB (FR4) with double layer material thickness 1.6 mm and dielectric constant of 4.4. Microstrip antennas are tested to obtain the value of working frequency, VSWR and radiation pattern then the results were compared with the results of simulations using software CST Studio Suite 2011. Measurements were also made directly to the TV and other television using an antenna as a comparison. Based on test results obtained results for microstrip antenna shapes Trident-A works at a frequency = 750 MHz, VSWR = 1.06, trident-shape microstrip antenna works on frequency B = 770 MHz, VSWR = 1.08, and for microstrip antenna Trisula-C works at a frequency = 770MHz, VSWR = 1.06. Antenna radiation pattern of the three shows that the radiation pattern of the antenna has a directional shape. Tests on the television also showed that the trident shape microstrip antenna capable of capturing digital television broadcast-quality picture and sound well.

Keywords: Digital TV, antennas, microstrip trident shape, frequency, VSWR

1. Pendahuluan

Siaran TV digital atau penyiaran digital adalah jenis siaran televisi yang menggunakan modulasi digital dan sistem kompresi untuk menyiarkan sinyal video, audio,

dan data ke pesawat televisi. Perkembangan televisi digital sendiri dilatarbelakangi oleh perubahan lingkungan eksternal, yaitu pasar TV analog yang sudah jenuh dan adanya kompetisi dengan sistem penyiaran satelit dan

kabel. Selain itu juga adanya perkembangan teknologi, yaitu teknologi pemrosesan sinyal digital.

Kebutuhan teknologi ini diperlukan suatu perangkat yang dapat bekerja menjalankan fungsi komunikasi TV digital tersebut. Salah satu perangkat komunikasi yang sangat penting adalah antenna. Kualitas sebuah antenna sangat mempengaruhi kualitas informasi yang diterima, sehingga antenna sebagai salah satu perangkat telekomunikasi harus dibuat dengan dimensi yang kecil, fleksibel, praktis dan berkualitas. Salah satu jenis antenna yang berkembang saat ini adalah antenna mikrostrip. Antenna mikrostrip merupakan antenna yang tersusun atas bagian lapisan tipis konduktor berbahan metal atau logam di atas sebuah *substrat* yang dapat merambatkan gelombang elektromagnetik dan pada salah satu sisi lain dilapisi konduktor sebagai bidang pentanahan.

Bahannya yang sederhana, bentuk dan ukuran dimensi antenanya lebih kecil, harga produksinya lebih murah dan mampu memberikan unjuk kerja (*performance*) yang cukup baik. Keunggulan antenna mikrostrip tersebut yang melatarbelakangi penelitian antenna mikrostrip sebagai penangkap siaran TV digital.

2. Metode

2.1 Tahap-Tahap Pelaksanaan

Diagram alir tahapan dalam pelaksanaan tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan tugas akhir

2.2 Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor

Dalam perancangan antenna mikrostrip perlu diketahui terlebih dahulu mengenai *substrat* yang akan digunakan, bahan *substrat* yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Bahan Epoxy fiberglass – FR 4 :
 - Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,4
 - Ketebalan lapisan dielektrik (h) = 0,0016 m = 1,6 mm
- Bahan pelapis *substrat* (konduktor) tembaga :
 - Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,035 mm
- Frekuensi kerja (f_r) = 711,25 MHz
- Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

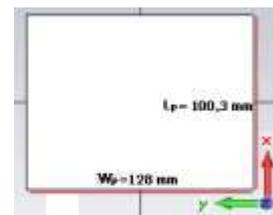
2.3 Perencanaan Dimensi Antena

Dimensi substrat dan ground yang diusulkan adalah sebagai berikut :

$$W_p = 128 \text{ mm}$$

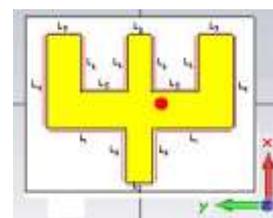
$$L_p = 100,3 \text{ mm}$$

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Dimensi antenna yang diusulkan

Sedangkan dimensi patch yang diusulkan adalah bentuk trisula. Bentuknya dapat dilihat pada Gambar 3. Ukuran dimensi trisula ditunjukkan pada Tabel 1.



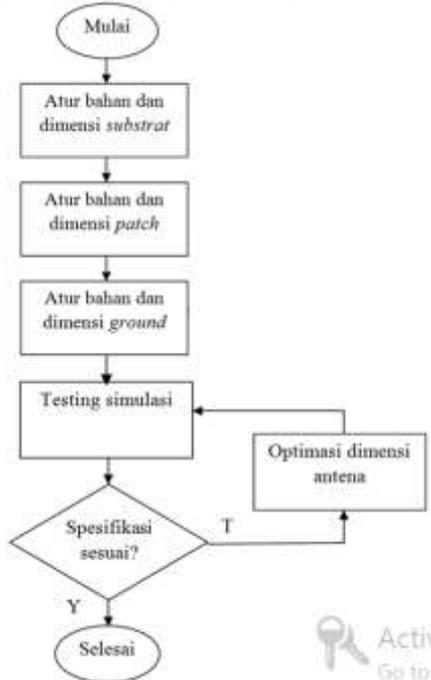
Gambar 3. Dimensi antenna yang diusulkan

Tabel 1. Dimensi antenna yang diusulkan (dalam mm)

L ₁	44
L ₂	33,4
L ₃	15
L ₄	51,9
L ₅	26
L ₆	31,23
L ₇	19
L ₈	13

2.4 Simulasi dengan Software CST Studio 2011

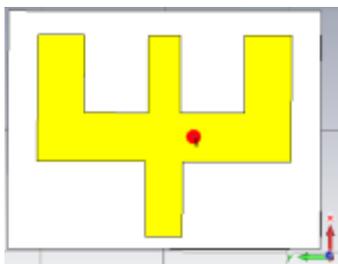
Setelah ukuran dimensi antenna didapatkan, tahapan selanjutnya adalah melakukan perancangan dan simulasi dengan *software* CST Studio 2011. Adapun langkah-langkah yang diambil dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan simulasi dengan CST Studio 2011

2.5 Optimasi Dimensi Antena

Hasil dari simulasi digunakan untuk melihat apakah hasil simulasi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Apabila dari hasil simulasi tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, maka harus dilakukan optimasi dimensi antenna. Dimensi antenna bisa diubah dengan cara mengubah ukuran *substrat*, *patch*, atau letak *port*. Hasil akhir rancangan antenna ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5. Antena hasil rancangan

2.6 Pembuatan Hardware Antena

Pada umumnya teknik pembuatan rangkaian-rangkaian mikrostrip dilakukan dengan mencetaknya di atas *substrat* tertentu. *Substrat* yang digunakan adalah FR4 yang sudah

dalam bentuk PCB *double layer* dan lapisan konduktornya dari bahan tembaga.

Bahan dan alat yang digunakan dalam pembuatan antenna mikrostrip ini adalah sebagai PCB dengan bahan substrat FR4 dengan lapisan konduktornya dari logam tembaga, Amplas *waterproof* CC – Cw, Isolasi, *Cutter*, Gergaji besi, Kikir penghalus, Konektor antenna standar BNC, Bor dan mata bor dengan diameter 1 mm, Solder dan timah. Proses pembuatan *hardware* meliputi pencetakan pola antenna pada substrat, pelarutan, dan penyolderan. Terdapat tiga antenna uji yang selanjutnya akan disebut antenna A, B, dan C.



(a)

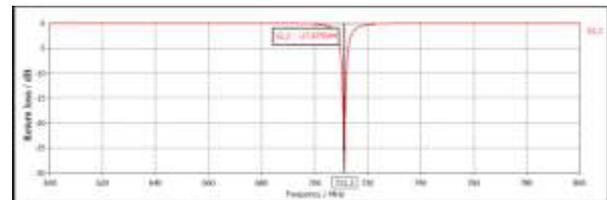
(b)

Gambar 6. Antena Hasil Fabrikasi Tampak (a) Atas; (b) Bawah

3. Hasil dan Analisa

3.1 Frekuensi Kerja Antena

Hasil simulasi pengukuran frekuensi kerja ditunjukkan oleh Gambar di bawah ini.

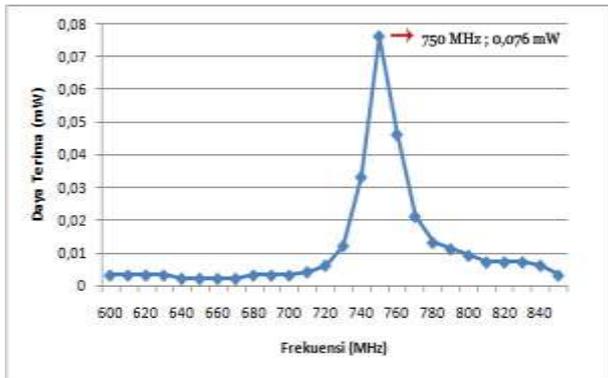


Gambar 7. Hasil simulasi pengukuran *return loss* antenna mikrostrip bentuk H

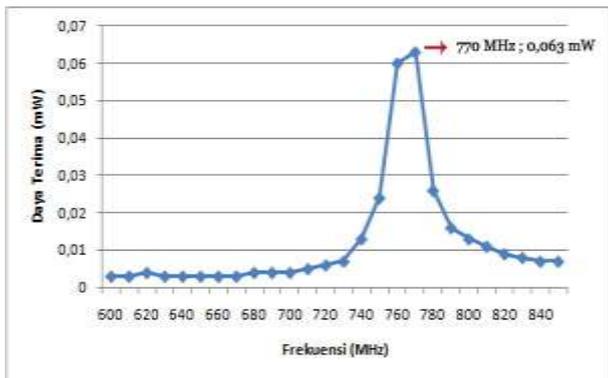
Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat pada hasil simulasi bahwa frekuensi kerja antenna mikrostrip bentuk H adalah sebesar 711,2 MHz. sedangkan untuk hasil pengujian terhadap antenna yang sudah jadi ditunjukkan pada Gambar 8.

Berdasarkan data hasil pengujian dapat dilihat bahwa antenna mikrostrip bentuk H dapat menerima dan memancarkan dengan baik walaupun dengan daya penerimaan yang kecil. Frekuensi kerja antenna mikrostrip A adalah sebesar 750 MHz. Frekuensi kerja antenna mikrostrip B adalah sebesar 770 MHz. Sedangkan frekuensi kerja antenna mikrostrip C adalah sebesar 770 MHz.

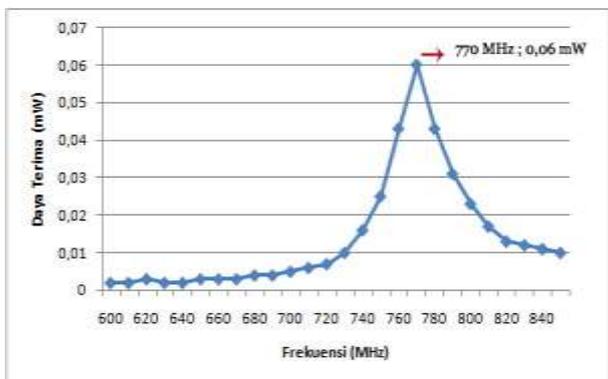
Frekuensi kerja dengan menggunakan simulasi *CST Studio* dan hasil perhitungan matematis yaitu mendekati 711,25 MHz. Setelah dilakukan pengujian ternyata frekuensi kerja ketiga antenna mikrostrip tersebut bergeser sebesar 40 hingga 60 MHz, sebagai contoh frekuensi kerja antenna mikrostrip A untuk hasil simulasi dalam *CST Studio* diperoleh 711,2 MHz dan setelah diujikan ternyata diperoleh frekuensi kerja sebesar 750 MHz.



(a)



(b)



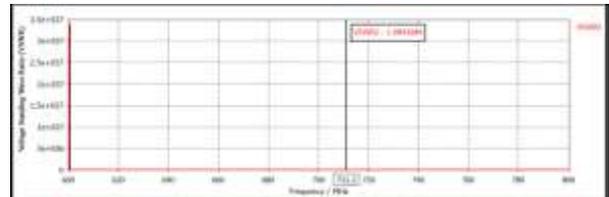
(c)

Gambar 8. Grafik pengujian daya terima antenna mikrostrip A, B, dan C

Bergesernya frekuensi kerja antenna mikrostrip disebabkan oleh kurang akuratnya dalam merealisasikan ukuran bidang mikrostrip, pengukuran nilai bahan dielektrik dan rugi-rugi dari bahan dielektrik saat rancang bangun. Pada pengujian antenna mikrostrip bentuk μ , frekuensi kerja yang terbaik adalah antenna yang memiliki daya penerimaan tertinggi pada frekuensi 711,2 MHz yang dimiliki oleh mikrostrip bentuk μ -C sebesar 0,006 mW

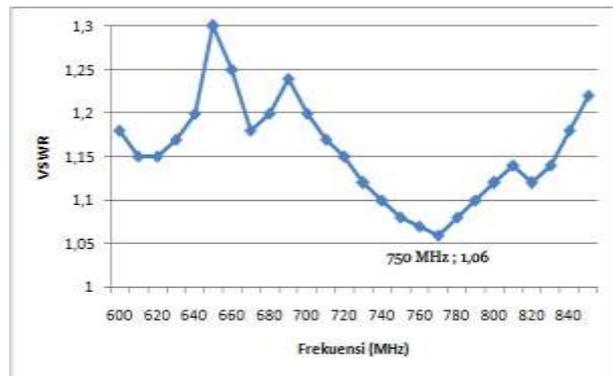
3.2 VSWR Antena

Pengujian dan analisa VSWR bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai VSWR dari antenna mikrostrip bentuk μ . Pengukuran nilai VSWR ditetapkan berdasarkan nilai VSWR terkecil dari antenna atau nilai VSWR pada frekuensi kerja antenna.

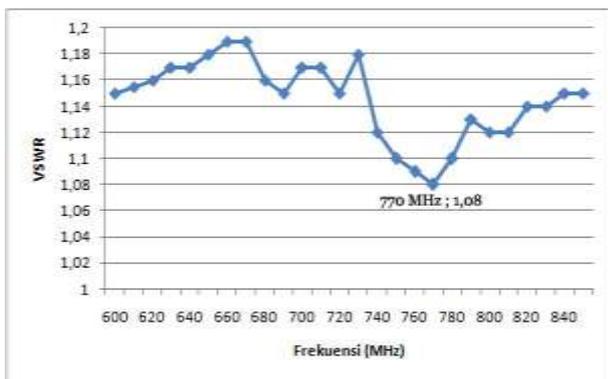


Gambar 9. Hasil simulasi pengukuran VSWR antenna mikrostrip bentuk μ

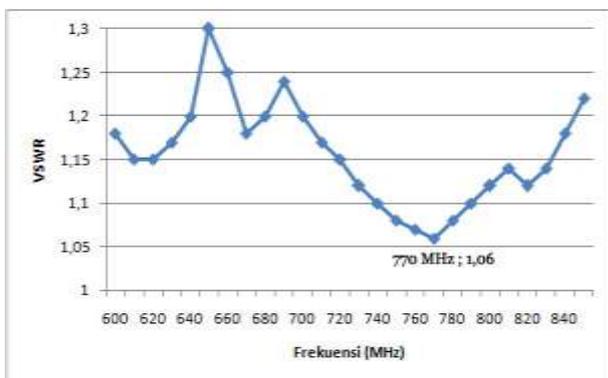
Berdasarkan Gambar 9 dapat diketahui nilai VSWR dari antenna mikrostrip bentuk μ hampir mendekati nilai ideal VSWR antenna yaitu 1. Nilai VSWR=1,08 pada suatu antenna membuktikan bahwa nilai impedansi antenna dan saluran transmisi sudah sesuai. Semakin kecil nilai VSWR berarti semakin baik kinerja dari antenna tersebut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 10. Grafik pengujian VSWR antenna mikrostrip A, B, dan C

Gambar 10 menunjukkan grafik perolehan VSWR dari ketiga antenna mikrostrip. Nilai VSWR antenna mikrostrip A adalah sebesar 1,06. antenna mikrostrip B sebesar 1,08. dan untuk antenna mikrostrip C sebesar 1,06. Pada hasil simulasi dan pengujian terjadi perbedaan nilai VSWR seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan nilai VSWR antenna mikrostrip antara simulasi dengan pengujian

VSWR Simulasi	VSWR Pengujian		
	Antena A	Antena B	Antena C
1,088	1,086	1,08	1,06

Berdasarkan hasil pengujian tersebut terlihat bahwa ketiga antenna mikrostrip bentuk \sqcap memiliki nilai VSWR yang hampir berdekatan, sehingga nilai VSWR secara umum antenna umum memiliki nilai VSWR rata-rata sebesar 1,067

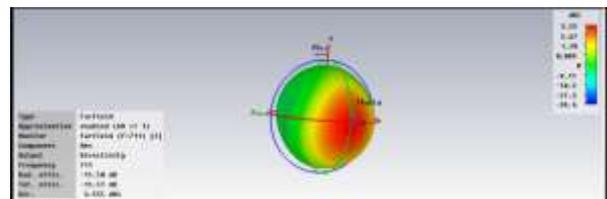
3.3 Return Loss Antena

Nilai *return loss* antenna ditetapkan berdasarkan nilai *return loss* terkecil dari antenna atau nilai *return loss* pada frekuensi kerja antenna. Pada Gambar 8 hasil simulasi

pengukuran frekuensi kerja antenna mikrostrip bentuk \sqcap menunjukkan bahwa antenna bekerja pada frekuensi 711,2 MHz dan nilai *return loss* simulasi dapat diketahui sangat kecil yaitu sebesar -27,87 dB yang berarti semakin kecil amplitudo gelombang elektromagnetik yang direfleksikan.

3.4 Gain Antena Mikrostrip

Gain dari suatu antenna merupakan perbandingan antara intensitas radiasi maksimum dari suatu antenna dengan intensitas radiasi maksimum dari suatu antenna referensi dengan daya masuk yang sama.

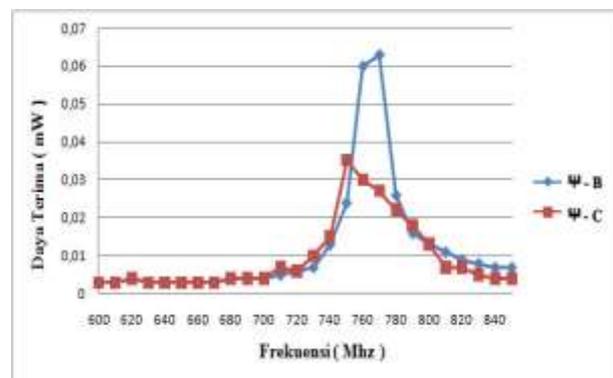


Gambar 11. Hasil simulasi pengukuran gain antenna mikrostrip bentuk \sqcap

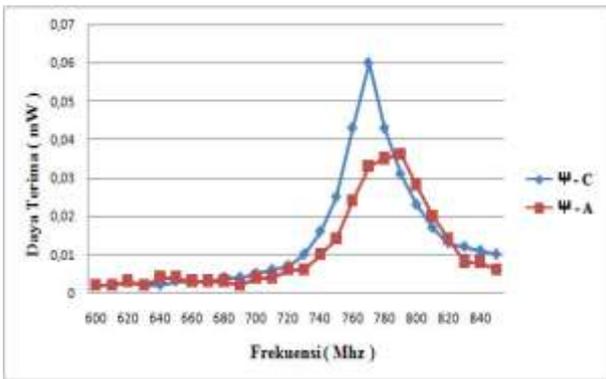
Gambar di atas dapat dilihat nilai *gain* antenna mikrostrip bentuk \sqcap sebesar 3,55 dBi.

Hasil dari pengujian daya penerimaan antenna mikrostrip ditunjukkan oleh Gambar 12. Dari Gambar diperoleh hasil pengukuran sebagai berikut:

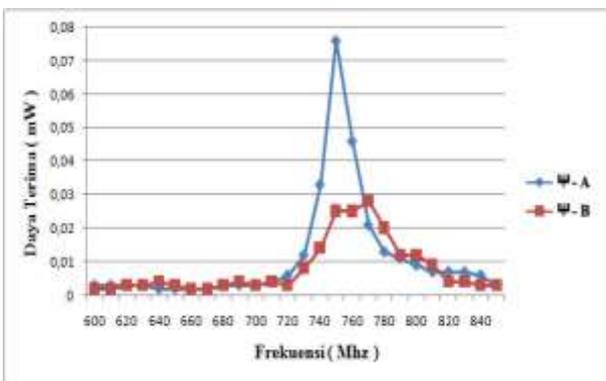
- Pada saat antenna A sebagai pemancar, daya penerimaan pada antenna B adalah sebesar 0,063 mW dan C sebesar 0,035 mW.
- Pada saat antenna B sebagai pemancar, daya penerimaan pada antenna C adalah sebesar 0,06 mW dan A sebesar 0,036 mW.
- Pada saat antenna C sebagai pemancar, daya penerimaan pada antenna A adalah sebesar 0,076 mW dan B sebesar 0,028 mW.



(a)



(b)



(c)

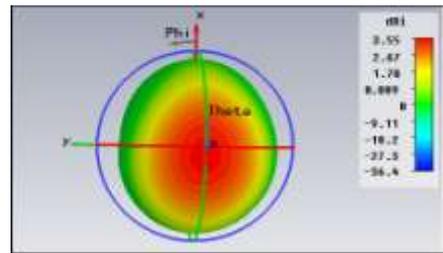
Gambar 12. Grafik pengujian daya penerimaan dengan :

- (a) antenna mikrostrip A sebagai pemancar dan antenna mikrostrip B dan C sebagai penerima,
- (b) antenna mikrostrip B sebagai pemancar dan antenna mikrostrip C dan A sebagai penerima, dan
- (c) antenna mikrostrip C sebagai pemancar dan antenna mikrostrip A dan B sebagai penerima

Kesimpulan yang didapat adalah daya penerimaan terbesar saat antenna C sebagai pemancar dan antenna A sebagai penerima sebesar 0,076 mW.

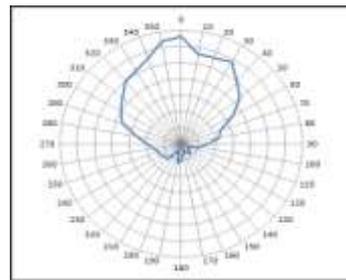
3.5 Pola Radiasi Antena Mikrostrip

Simulasi pola radiasi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah pola radiasi pada bidang elevasi $\theta = 0^\circ$ ($\phi = 0^\circ$ sampai dengan 180°).

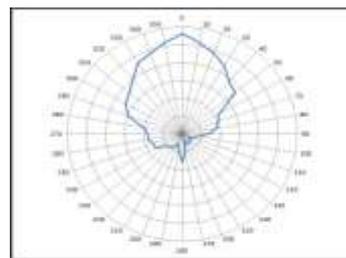


Gambar 13. Hasil simulasi pola radiasi 3D antenna mikrostrip bentuk Ψ

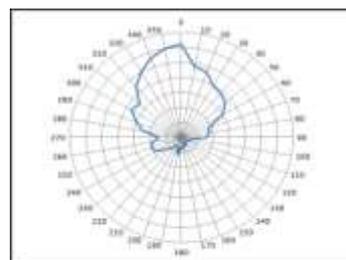
Berdasarkan hasil simulasi pola radiasi antenna pada bidang $\theta = 0^\circ$, seperti yang tertera pada Gambar 13, antenna mikrostrip bentuk Ψ memancarkan dan menerima daya secara maksimal pada posisi $\phi = 0^\circ$, serta memancarkan dan menerima secara minimal pada posisi $\phi = 180^\circ$. Dilihat dari arah pancarnya antenna mikrostrip ini termasuk antenna *directional* karena memiliki daya pancar maksimal pada salah satu sisi saja. Adapun hasil pola radiasi dari antenna mikrostrip ditunjukkan pada Gambar 14.



(a)



(b)



(c)

Gambar 14. Pola radiasi antenna mikrostrip A, B, dan C

Dari pengujian pola radiasi antenna mikrostrip bentuk A, B, dan C diperoleh bentuk pola radiasi yang hampir sama yaitu ketiga antenna mikrostrip tersebut mempunyai radiasi sinyal yang kuat pada bagian tertentu dan lebih lemah di bagian tertentu. Hal tersebut membuktikan bahwa ketiga antenna mikrostrip tersebut merupakan antenna *directional* (mempunyai arah). Pada semua antenna *directional* memiliki pola radiasi yang relatif terarah pada arah tertentu, oleh karena itu untuk menganalisa pola radiasi tersebut dilakukan pengamatan pola radiasi di sisi horizontal antenna mikrostrip.

Hasil pola radiasi antenna mikrostrip yang teruji hampir sama dengan simulasi antenna mikrostrip yang dilakukan sebelumnya, walaupun bentuk pola radiasi saat pengujian tampak kasar. Hal tersebut disebabkan pengujian dilakukan secara manual dan pendataan hasil pengukuran dilakukan setiap kelipatan 10° .

3.6 Aplikasi Antena Mikrostrip Bentuk μ Sebagai Penerima TV Digital

Antena yang telah difabrikasi diuji dengan cara dipasang pada TV. Hasilnya dibandingkan dengan antenna yang sudah biasa dipakai di pasaran. Tujuannya adalah untuk menguji keabsahan hasil pengukuran dan mengetahui kehandalan kinerja antenna mikrostrip bentuk μ dibandingkan antenna televisi pada umumnya. Alat-alat yang dibutuhkan, seperti :

1. Televisi analog
2. Set Top Box
3. Antena pembanding dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - a. Frekuensi 45 - 860MHz
 - b. Jangkauan 10 dB
 - c. Impedansi 75Ω
 - d. Rasio panjang gelombang $<1,5$
4. Antena uji

Pada gambar 15 diperlihatkan cara pemasangan antenna pada set top box.



(a)

(b)

Gambar 15. Pemasangan antenna pada set top box dengan (a) antenna pembanding, dan (b) antenna uji

Pengujian dilakukan pada tiga wilayah yang berbeda, yang terletak di Kota Semarang bagian atas. Wilayah I adalah daerah Sumur Boto, wilayah II adalah daerah

Pekunden, dan wilayah III adalah daerah Ngaliyan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sistem polling yang diberikan kepada masing - masing wilayah pengujian.



(a)

(b)



(c)

(d)

Gambar 16. Tampilan televisi dengan (a) antenna pembanding (b) antenna A (c) antenna B dan (d) antenna C

Berdasarkan hasil pengujian penerimaan siaran televisi Polines (kanal 51) yang ditunjukkan Gambar 16 dapat diketahui bahwa dengan menggunakan antenna pembanding sinyal tidak bisa diterima dengan baik. Keluaran Gambar televisi muncul peringatan "No Signal" yang menandakan sinyal tidak dapat diterima. Kualitas Gambar yang dihasilkan oleh ketiga antenna uji adalah sama baiknya. Artinya bahwa antenna ini sudah sesuai dengan karakteristik televisi digital.

Gambar 17 merupakan perbandingan tampilan TV menggunakan antenna uji "C" dan antenna pembanding. Siaran TV digital yang dapat diterima di wilayah I antara lain adalah SCTV, Indosiar, Metro TV, Global TV, RCTI, MNC TV, Trans TV, Trans7, dan Kompas TV.



(a)Indosiar-Uji

(b)Indosiar-Pembanding



(c)SCTV-Uji



(d)SCTV-Pembanding



(o)Trans7-Uji



(p)Trans7-Pembanding



(e)Metro TV-Uji



(f)Metro TV-Pembanding



(q)KompasTV-Uji



(r)KompasTV-Pembanding



(g)Global TV-U



(h)Global TV-Pembanding



(i)RCTI-Uji



(j)RCTI-Pembanding



(k)MNC TV-Uji



(l)MNC TV-Pembanding



(m)TransTV-Uji



(n)TransTV-Pembanding

Gambar 17 Hasil pengujian kualitas penerimaan siaran televisi digital di wilayah I

Gambar 17 menunjukkan bahwa pada wilayah ini hampir semua siaran TV Digital mampu diterima dengan baik, hal ini disebabkan dari ketiga wilayah, Sumur Boto memiliki letak geografis yang paling dekat dengan stasiun pemancar yaitu di daerah Gombel. Dari hasil terlihat dengan menggunakan antena uji yang telah dibuat maupun antena pembanding menghasilkan kualitas gambar yang baik.

Pengujian pada wilayah II maupun wilayah III tidak semua siaran TV digital mampu diterima yaitu hanya SCTV, Indosiar, TransTV, Trans7, dan KompasTV. Hal ini disebabkan karena letaknya yang cukup jauh dari stasiun pemancar dan adanya gangguan berupa gedung-gedung tinggi di sekitar wilayah pengujian.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu antena mikrostrip A beresonansi pada frekuensi 750 MHz, antena mikrostrip B beresonansi pada frekuensi 770 MHz, dan antena mikrostrip C beresonansi pada frekuensi 770 MHz. Hasil simulasi antena mikrostrip bentuk Ψ mempunyai nilai VSWR sebesar 1,08, sedangkan pada pengujian diperoleh nilai VSWR antena mikrostrip A sebesar 1,06, antena mikrostrip B sebesar 1,08, dan antena mikrostrip C sebesar 1,06. Hasil simulasi antena mikrostrip bentuk Ψ mempunyai nilai *return loss* sebesar -27,87 dB. Hasil simulasi mikrostrip bentuk Ψ memiliki *gain* sebesar 3,55 dBi. Daya penerimaan antena mikrostrip A dan mikrostrip B terhadap antena mikrostrip C sebesar 0,076 mW dan 0,028 mW. Daya penerimaan antena mikrostrip B dan mikrostrip C terhadap antena mikrostrip A sebesar 0.063 mW dan 0,035 mW. Sedangkan daya penerimaan antena mikrostrip C dan mikrostrip A terhadap antena mikrostrip B sebesar 0.06 mW dan 0,036 mW. Secara keseluruhan

antena mikrostrip bentuk  menghasilkan kualitas gambar yang sama baik dibandingkan dengan antenna pembanding pada aplikasi TV digital. Performa terbaik antenna dilakukan pada wilayah I yaitu di daerah Sumur Boto.

Referensi

- [1]. Alaydrus, Mudrik. 2011. *Antena Prinsip & Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [2]. Anonim. 2004. *ProCurve Networking Antenna Deployment Technical Brief*. US: Hewlett-Packard Development Company, L.P.
- [3]. Anonim. 2010. *Apakah TV Digital*. <<http://trondolojadul.wordpress.com/2010/04/22/apakah-tv-digital/>>.
- [4]. Anonim. 2013. *2nd Generation Terrestrial The World's Most Advanced Digital Terrestrial TV System*. <www.dvb.org/worldwide>.
- [5]. Balanis, Constantine A. 1997. *Antena Theory: Analysis and Design, 2nd Edition*. John Wiley and Sons, Inc.
- [6]. Fenarta, Dicky Chrisma. 2007. *Desain dan Realisasi Susunan Antena Mikrostrip 2,3 Ghz dengan Pengarahan Berkas sebagai Bagian Pengembangan Sistem Antena Cerdas untuk Aplikasi Wimax*. Bandung : ITB.
- [7]. Garg, Ramesh., Bhartia, P., Bahl, I., dan Apisak. 2001. *Microstrip Antenna Design Handbook*. USA.
- [8]. H. F. AbuTarboush, H. S. Al-Raweshidy. Tanpa tahun. *A Connected E-Shape and U-Shape Dual-Band Patch Antenna for Different Wireless Applications*. UK : School of Engineering & Design, Brunel University,
- [9]. Kraus, John Daniel. 1988. *Antennas*. New York: McGraw-Hill International.
- [10]. Liao, S Y. 1987. *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design, 2nd Edition*. New York: Souders College Publishing.
- [11]. Menteri Komunikasi dan Informatika. 2012. *PERATURAN MENTERI KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA NOMOR: 05/ PER/ M.KOMINFO/ 2/2012 TENTANG STANDAR PENYIARAN TELEVISI DIGITAL TERESTRIAL PENERIMAAN TETAP TIDAK BERBAYAR (FREE-TO-AIR)*. Jakarta.
- [12]. Nakar, Punit S. 2004. Thesis: *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices*. The Florida State University.
- [13]. Nugraha, Adhe Setya. 2011. *Perancangan dan Analisa Antena Mikrostrip dengan Frekuensi 850 Mhz untuk Aplikasi Praktikum Antena*. Semarang: Transmisi.
- [14]. Rizki, Aditya. 2012. *Sistem Kerja TV Digital - Sejarah*. <<http://www.adityarizki.net/2012/02/sistem-kerja-tv-digital-i-sejarah/>>.
- [15]. Setiawan, Denny. 2010. *Alokasi Frekuensi Kebijakan Dan Perencanaan Spektrum Indonesia*. Jakarta: Departemen Komunikasi dan Informatika.
- [16]. Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. New York: John Willey and Son, Inc.
- [17]. Wisnu. 2009. *Desain dan Realisasi Susunan Antena Mikrostrip 12,15 Ghz untuk Aplikasi Mobile Vsat pada Frekuensi Downlink Ku-Band*. Bandung : ITB.
- [18]. Yuswardi, Willy. 2011. *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Dengan Metamaterial CRLH Pada Frekuensi 3,3-3,4 GHz*. Depok: Universitas Indonesia.