

Antena Mikrostrip *Double E-Shaped* dengan Frekuensi 3,3 GHz untuk Aplikasi *WiMax*

MUTMAINNAH¹, CHOIRINA RACHMA NUR OCTAVINA¹, LUTFI ROHMAN¹
ROHIM AMINULLAH FIRDAUS²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember, Indonesia

²Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

Email: mutmainnah@unej.ac.id

Received 7 Februari 2022 | *Revised* 30 Februari 2022 | *Accepted* 6 Maret 2022

ABSTRAK

Antena mikrostrip double E-shaped untuk aplikasi WiMax melalui proses simulasi dan fabrikasi telah berhasil dirancang. Perancangan desain antena mikrostrip ini menggunakan bahan substrat FR-4 lossy dengan ketebalan 1,6 mm dan konstanta dielektrik 4,6. Dimensi substrat yang dirancang yaitu 45 mm x 52 mm x 1,6 mm. Hasil simulasi yang diperoleh yaitu antena mikrostrip bekerja di frekuensi 3,3 GHz, return loss -21 dB, VSWR 1,23, bandwidth 342 MHz, dan gain sebesar 3,5 dBi. Hasil pengukuran diperoleh antena mikrostrip bekerja di frekuensi 3,35 GHz, return Loss -22 dB, VSWR 1,26, bandwidth 265 MHz, dan gain sebesar 3,2 dBi. Baik hasil simulasi dan pengukuran pola radiasi yang dihasilkan membentuk pola bidirectional. Antena mikrostrip ini dapat diaplikasikan pada frekuensi WiMax.

Kata kunci: Antena Mikrostrip, Double E-shaped, Frekuensi 3,3 GHz, WiMax, Return Loss

ABSTRACT

The double E-shaped microstrip antenna for WiMax application through simulation and fabrication process has been successfully designed. The design of this microstrip antenna using a lossy FR-4 substrate material with a thickness of 1.6 mm and a dielectric constant of 4.6. The dimensions of the designed substrate are 45 mm x 52 mm x 1.6 mm. The simulation results obtained that microstrip antenna works at a frequency of 3.3 GHz, return loss -21 dB, VSWR 1.23, bandwidth 342 MHz, and gain of 3.5 dBi. The measurement results obtained that the microstrip antenna works at a frequency of 3.35 GHz, return loss of -22 dB, VSWR of 1.26, bandwidth of 265 MHz, and gain of 3.2 dBi. Both the simulation results and the resulting radiation pattern measurements form a bidirectional pattern. This microstrip antenna can be applied at WiMax frequency.

Keywords: Microstrip Antenna, Double E-shaped, Frequency 3.3 GHz, WiMax, Return Loss

1. PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi sekarang ini mengalami perkembangan seiring dengan kebutuhan masyarakat yang membutuhkan layanan komunikasi untuk mengakses informasi secara global. Perkembangan teknologi telekomunikasi hingga saat ini membutuhkan perangkat yang lebih efektif dan efisien dalam hal ukuran maupun kinerjanya. Salah satu komponen yang utama dan hingga saat ini terus dikembangkan dalam teknologi telekomunikasi yaitu antena mikrostrip.

Antena mikrostrip merupakan komponen penting dalam sistem aplikasi *wireless* yang saat ini terus dikembangkan. Antena mikrostrip sering digunakan pada aplikasi *wireless* yaitu WLAN (**Sastry & Sankar, 2014**). Antena mikrostrip dibuat pada satu atau lebih dielektrik substrat, yang terdiri dari tiga bagian yaitu saluran transmisi, elemen peradiasi atau *patch antena*, dan elemen *ground*. Antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan antara lain ukuran kecil, dapat dirancang sesuai permukaan secara sederhana dengan biaya murah, dan kuat secara mekanis (**Singh, dkk, 2014**). Antena mikrostrip memiliki bentuk yang sederhana, ekonomis, dan efisien. Hal ini menjadikan antena mikrostrip menjadi topik yang menarik dalam berbagai aplikasi gelombang mikro, baik di bidang industri, akademisi, maupun penelitian. Antena ini dapat didesain dalam berbagai macam variasi bentuk, sehingga pengaplikasian antena mikrostrip dapat digunakan pada komunikasi satelit, *WiFi*, radar, dan *WiMax* (**Surjati, 2010**).

WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) adalah salah satu sistem komunikasi yang banyak digunakan. *WiMax* telah diatur dalam standar IEEE 802.16 yang dibentuk pada tahun 1998. *WiMax* memiliki kelebihan diantaranya yaitu akses cepat seperti *boardband*, area jangkauan lebih luas daripada *WiFi*, tingkat keamanan *WiMax* lebih tinggi (**Nasir, 2013**). Teknologi *WiMax* mencakup standar IEEE 802.16d untuk pengguna nomaden yang menggunakan frekuensi 2,3-2,4 GHz dan IEEE 802.16e untuk pengguna ponsel menggunakan pita frekuensi 3,3-3,7 GHz (**Kurniawan, dkk, 2010**).

Pengembangan antena mikrostrip telah dilakukan dengan berbagai macam struktur, seperti *open loop*, *array*, dan lainnya. Beberapa pengembangan antena mikrostrip yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya meliputi bentuk seperti *U-shaped* dengan struktur *open loop* (**Mutmainnah & Pramono, 2017**) yaitu pada frekuensi 2,4 GHz untuk aplikasi *WiFi*. Antena mikrostrip dengan penambahan *U-shaped* pada elemen mikrostrip dapat meningkatkan kapasitansi. Peningkatan kapasitansi dapat meningkatkan jumlah energi, sehingga *gain* dapat meningkat. Pengembangan lain mengenai antena mikrostrip *E-shaped* telah dilakukan yaitu *E-shaped* untuk aplikasi *Wide-Band*. Antena mikrostrip yang dihasilkan menunjukkan pita lebar dengan *bandwidth* 16-30 GHz (**Gunawan & Pramono, 2013**).

Penelitian antena mikrostrip desain *E-shaped* dan analisisnya telah dilakukan untuk komunikasi nirkabel di frekuensi operasi 3,1 GHz dan 3,45 GHz (**Yadav, dkk, 2012**). Penelitian mikrostrip *array* pita lebar *E-shaped* telah dilakukan untuk sistem komunikasi nirkabel di frekuensi kerja 2,5 GHz (**Pal, dkk, 2014**). Penelitian *E-shaped* mengenai MPA (*Microstrip Patch Antena*) *double E-shaped* telah dirancang dengan banyak resonansi dan peningkatan *bandwidth* yang memenuhi persyaratan standar IEEE 802.11 yaitu pada frekuensi kerja pada 5,21 GHz, 5,5 GHz, 5,85 GHz dan 6,3 GHz (**Hota, dkk, 2018**).

Antena mikrostrip *E-shaped* juga dapat diaplikasikan pada bidang telemedis dan termasuk dalam mengembangkan perangkat medis (**Nalam, dkk, 2014**). Penelitian lain juga telah dilakukan yaitu antena mikrostrip dengan *patch E-shaped* yang dirancang untuk aplikasi

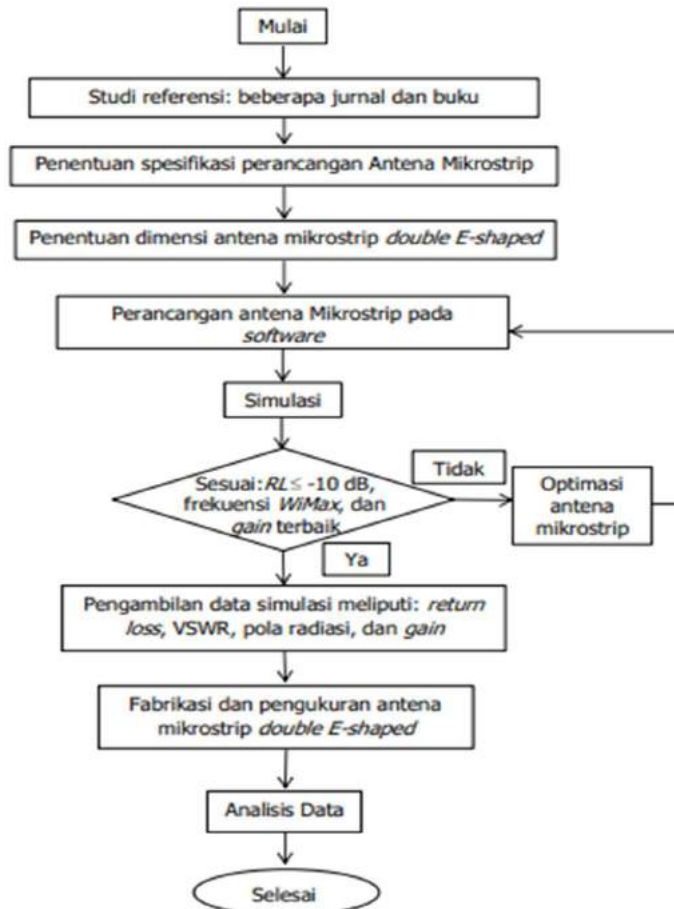
biomedis pada jaringan manusia di frekuensi 405 MHz. Dari pengamatan yang dilakukan dapat dikatakan bahwa radiasi antena tidak akan berbahaya untuk aplikasi tubuh (**Hasan, dkk, 2019**),

Penelitian yang dilakukan dalam penulisan ini yaitu perancangan dan fabrikasi antena mikrostrip *double E-shaped* untuk aplikasi *WiMax*. Penelitian sebelumnya *E-shaped* dan *double E-shaped* tidak dalam satu desain, hal ini kurang efektif dalam desain *double E-shaped* untuk aplikasi *WiMax*. Propos yang diajukan dalam penelitian ini *double E-shaped* satu desain dalam bentuk *array* dengan frekuensi kerja 3.3 GHz yang diaplikasikan untuk *WiMax*. Mikrostrip tersebut pada penelitian ini bekerja pada frekuensi kerja 3,3 GHz, nilai *return loss* dibawah -10 dB, VSWR lebih kecil dari 2. Desain antena mikrostrip ini menggunakan konfigurasi *patch* dengan struktur *double E-shaped*. Desain antena mikrostrip *double E-shaped* yang dilakukan pada penelitian ini adalah dalam bentuk *compact* atau tidak menggunakan *ground plane*, sehingga memiliki struktur yang lebih sederhana. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu substrat berupa FR-4 *lossy* dengan tebal 1,6 mm dan *patch* berupa *copper annealed* (tembaga). Antena yang diusulkan menggunakan metode variasi gab pada desain *E-shaped*. Metode ini salah satu metode yang efektif dalam menggeser frekuensi kerja yang lebih baik berdasarkan hasil optimasi. Metode ini memungkinkan membuat kinerja dan efektifitas dalam pembuatan antena menjadi lebih baik

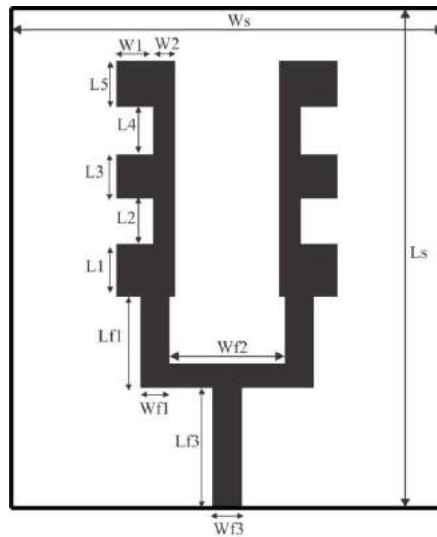
2. METODE

Beberapa tahapan proses dilakukan dalam penelitian ini, diantaranya yaitu penentuan spesifikasi perancangan antena mikrostrip, penentuan dimensi antena mikrostrip *double E-shaped*, dan simulasi. FR-4 *lossy* digunakan sebagai bahan substrat memiliki ketebalan 1,6 mm dan nilai permitivitas relatif 4,6. Antena mikrostrip yang diharapkan untuk aplikasi *WiMax* dengan spesifikasi bekerja di frekuensi 3,3 GHz, *return loss* ≤ -10 dB, VSWR ≤ 2 . Permasalahan pada penelitian ini diselesaikan melalui beberapa tahapan yang harus dilakukan secara sistematis. Langkah pertama dalam merancang desain antena mikrostrip *double E-shaped* adalah menentukan dimensi antena mikrostrip. Selanjutnya, antena mikrostrip *double E-shaped* didesain dan disimulasi. Hasil simulasi jika belum sesuai dengan yang diharapkan maka dilakukan optimasi menggunakan metode PSO terhadap panjang (L1, L2, L3, L4, L5) dan lebar (W1, W2) dengan target bekerja di frekuensi 3,3 GHz, *return loss* ≤ -10 dB, VSWR ≤ 2 , dan *gain* terbaik. Besar *gain* dari suatu antena menentukan kemampuan antena tersebut untuk memfokuskan energi yang dipancarkannya kesuatu arah. *Gain* (*directive gain*) adalah karakter antena yang terkait dengan kemampuan antena mengarahkan radiasi sinyalnya, atau penerimaan sinyal dari arah tertentu. *Gain* bukanlah kuantitas yang dapat diukur dalam satuan fisis pada umumnya seperti watt, ohm, atau lainnya, melainkan suatu bentuk perbandingan. Oleh karena itu, satuan yang digunakan untuk *gain* adalah desibel. *Gain* antena terbaik adalah *gain* yang mampu mengoptimalkan kinerja antena berdasarkan daya yang ditransmisikan.

Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat diilustrasikan dengan diagram alir pada Gambar 1.

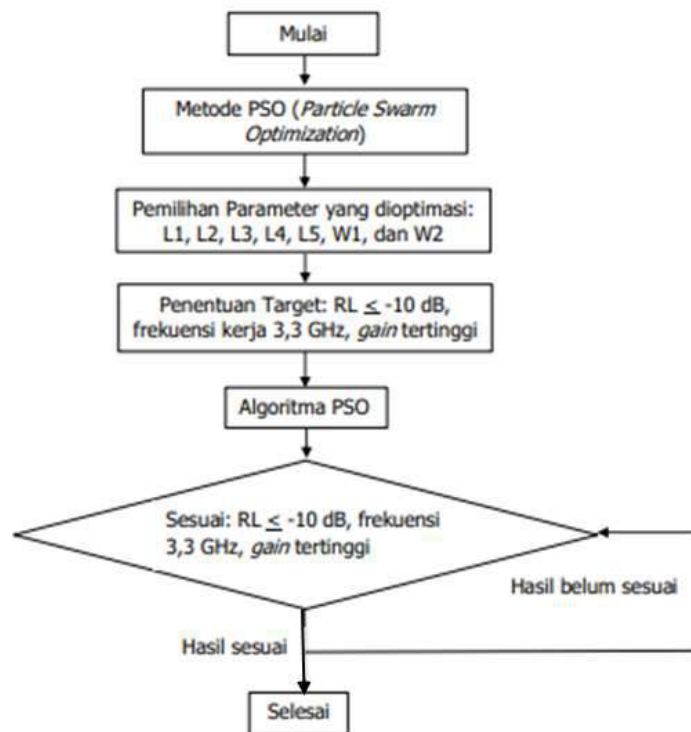


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Desain Mikrostrip Double E-Shaped

Dimensi antena mikrostrip *double E-shaped* yang dirancang memiliki ukuran *patch* 20,98 x 24,5 mm dengan rancangan antena seperti pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 antena mikrostrip yang dirancang memiliki ukuran $L_1= 5,45$ mm, $L_2= 4,76$ mm, $L_3= 4,56$ mm, $L_4= 5,03$ mm, $L_5= 4,7$ mm, $L_s= 52$ mm, $L_{f1}= 7$ mm, $L_{f2}= 2,5$ mm, $L_{f3}= 12,5$ mm, $W_1= 2,79$ mm, $W_2= 4,43$ mm, $W_s= 45$ mm, $W_{f1}= 3$ mm, $W_{f2}= 9$ mm (dengan W_{f2} awal =10,5 mm) , $W_{f3}= 3$ mm,dan tebal tembaga 0,035 mm.



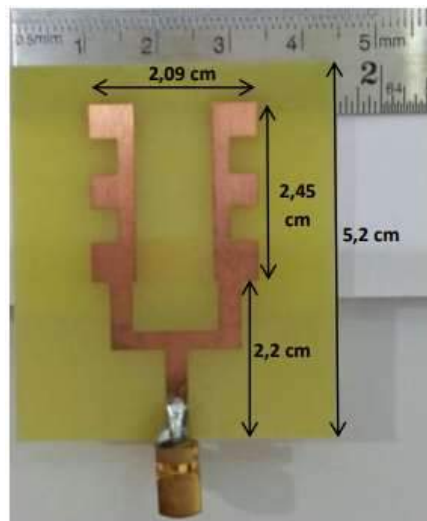
Gambar 3. Diagram Alir Optimasi Antena Mikrostrip

Desain *double E-shaped* pada antena mikrostrip yang telah dirancang selanjutnya disimulasikan, sehingga menghasilkan parameter-parameter antena mikrostrip. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan spesifikasi kerja antena mikrostrip yang telah ditentukan sebelumnya. Jika hasil dari simulasi tidak sesuai maka akan dilakukan pengoptimasian pada dimensi panjang *patch* (L_1, L_2, L_3, L_4, L_5) dan lebar *patch* (W_1, W_2). Selain dilakukan optimasi juga dilakukan variasi *gap* atau jarak antar *E-shaped* (W_{f2}). Langkah optimasi PSO ditunjukkan pada Gambar 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dan fabrikasi antena mikrostrip *double E-shaped* untuk aplikasi *WiMax* yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz dilakukan dalam penelitian ini. Untuk memperoleh hasil simulasi yang baik maka dilakukan proses optimasi metode PSO (*Particle Swarm Optimization*). Metode PSO digunakan untuk mendapatkan parameter *return loss* bernilai ≤ -10 dB dan $VSWR \leq 2$, yaitu spesifikasi target antena yang diinginkan (Guan, dkk, 2011). Selanjutnya dilakukan fabrikasi dengan menggunakan bahan susbtrat FR4 *lossy* dengan ketebalan 1,6 mm. Hasil fabrikasi antena mikrostrip *double E-shaped* ditunjukkan oleh Gambar 4. Hasil

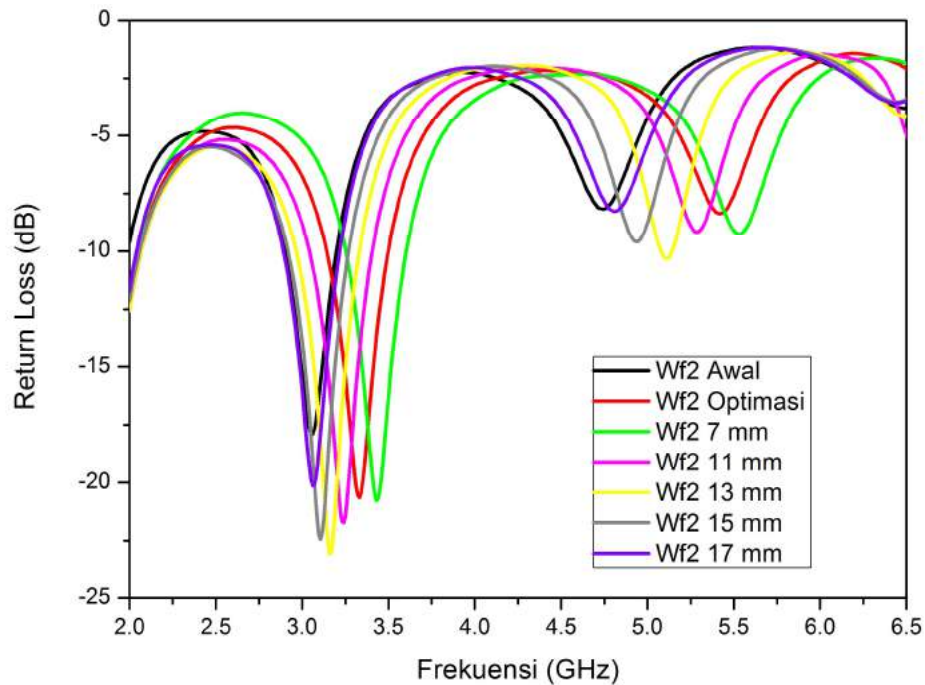
nilai *return loss* dan *VSWR* yang dilakukan baik simulasi maupun pengukuran mikrostrip *double E-shaped* ditunjukkan dalam Tabel 1.



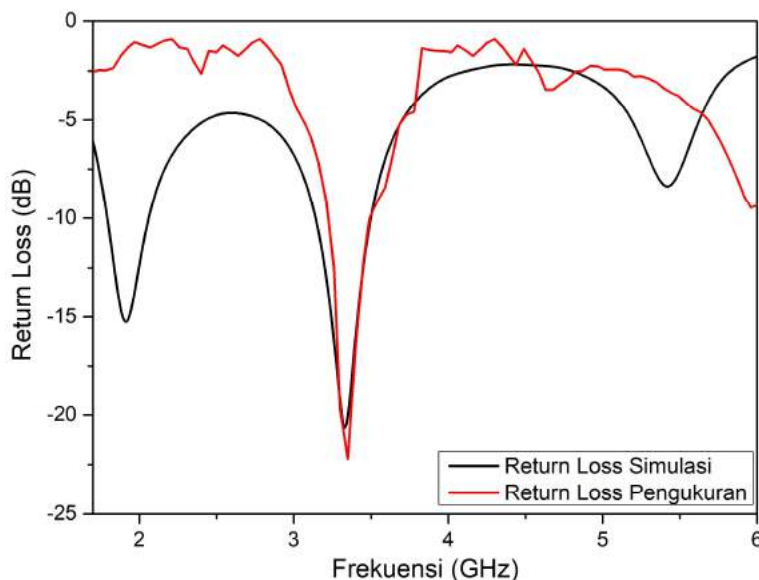
Gambar 4. Antena Mikrostrip *Double E-Shaped* Hasil Fabrikasi

Tabel 1. Hasil Simulasi dan Pengukuran

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi Kerja	3,3 GHz	3,35GHz
<i>Return loss</i>	-21 dB	-22 dB
<i>Bandwidth</i>	342 MHz	265 MHz
VSWR	1,23	1,26
<i>Gain</i>	3,5 dBi	3,2 dBi



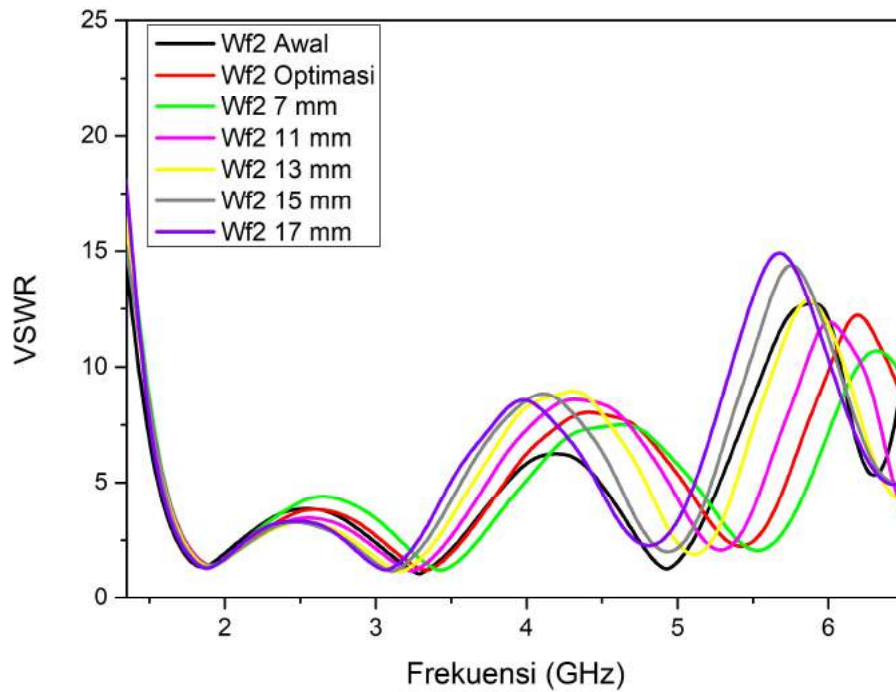
Gambar 5. Grafik *Return Loss* Simulasi Variasi Lebar Gap



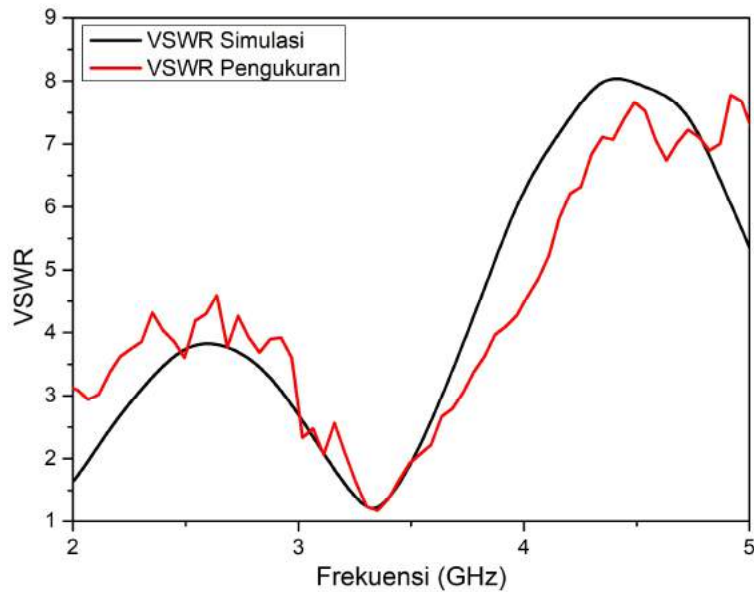
Gambar 6. Grafik *Return Loss* Hasil Simulasi Dan Pengukuran

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa hasil iterasi yang dilakukan terhadap jarak antar *E-shaped* atau Wf_2 pada simulasi didapatkan nilai *return loss* yang kecil adalah pada Wf_2 sebesar 13 mm dengan nilai -22,95 dB, namun frekuensi kerja berada di frekuensi 3,16 GHz. Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa hasil simulasi didapatkan frekuensi kerja di 3,3 GHz dan hasil pengukuran didapatkan frekuensi kerja di 3,35 GHz. Pada realitanya sangat sulit ditemukan hasil yang sama antara simulasi dan pengukuran, seperti pada penelitian yang dilakukan di tahun 2015 oleh (**Permatasari, 2015**), terjadi perubahan frekuensi kerja hasil simulasi yaitu 6,785 GHz menjadi 6,288 GHz pada hasil pengukuran. Perubahan frekuensi kerja pada antena mikrostrip hasil simulasi dan pengukuran juga terjadi pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2015 oleh (**Wibowo, 2015**), yaitu perubahan frekuensi kerja hasil simulasi 2,43 GHz menjadi 2,55 GHz pada hasil pengukuran.

Perubahan frekuensi kerja antena mikrostrip pada penelitian ini juga mengakibatkan besar nilai *return loss* juga berubah yaitu dari -21 dB menjadi -22 dB. *Return loss* hasil simulasi menunjukkan besar daya yang direfleksikan sebesar 0,79 % dan daya yang ditransmisikan sebesar 99,21%. *Return loss* hasil pengukuran menunjukkan prosentase daya yang direfleksikan sebesar 0,63% dan daya yang ditransmisikan 99,37 %. Hasil simulasi nilai *return loss* yang didapatkan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan hasil simulasi dari Mathew dan Mohan pada tahun 2014 (**Mathew & Mohan, 2014**) desain *E-shaped* untuk aplikasi multiband. Nilai *return loss* yang didapatkan oleh Mathew dan Mohan, antena mikrostrip *double E-shaped* untuk aplikasi *WiMax* pada frekuensi 5,76 GHz yaitu sebesar -12,1 dB. Kinerja antena yang lebih baik yaitu ketika nilai *return loss* semakin kecil, atau dengan kata lain saluran transmisi mendekati *matching*, karena nilai gelombang yang diterima lebih besar daripada nilai gelombang yang dipantulkan.



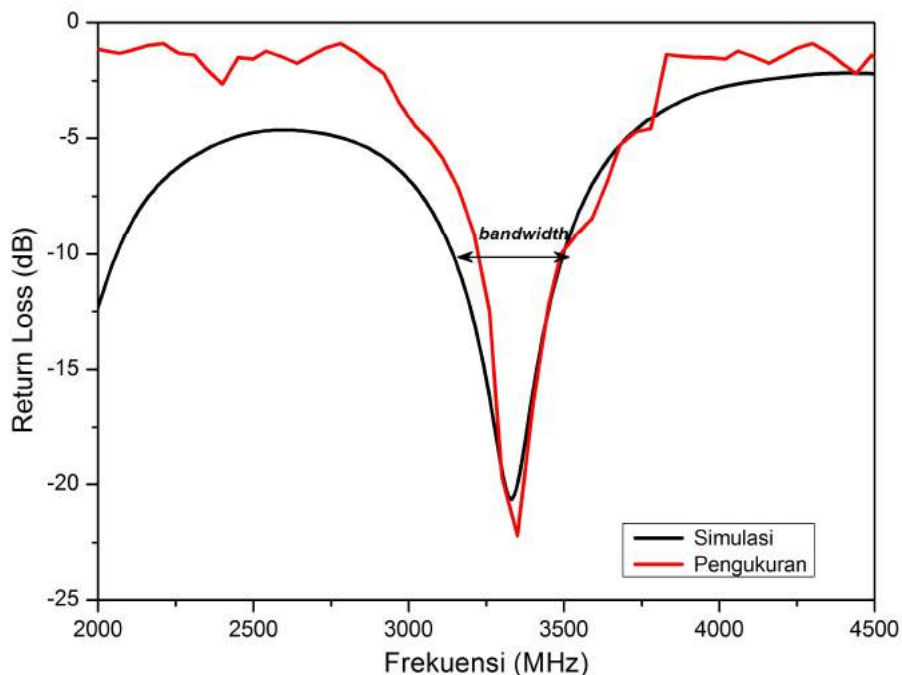
Gambar 7. Grafik VSWR Simulasi Variasi Gap (Wf2)



Gambar 8. Grafik VSWR Hasil Simulasi dan Pengukuran

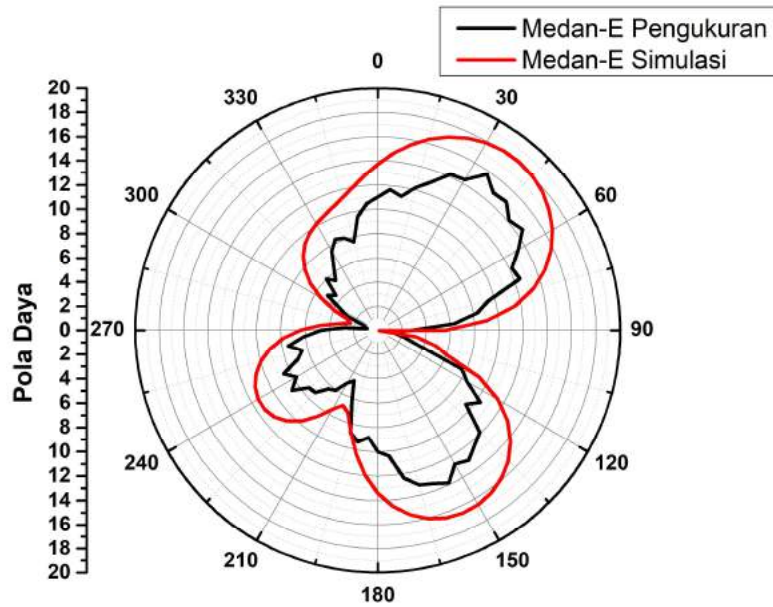
Berdasarkan Gambar 7 variasi gap yang dilakukan terhadap jarak antar *E-shaped* juga ditunjukkan pada hasil iterasi Wf_2 13 mm yaitu dengan nilai VSWR sebesar 1,15, namun frekuensi kerja masih berada di frekuensi 3,16 GHz sehingga belum memenuhi target. Hasil pengukuran nilai VSWR 1,26 ditunjukkan pada Gambar 8 berbeda sedikit dengan hasil simulasi 1,23. Nilai VSWR hasil simulasi ini menunjukkan yang lebih baik dibanding dengan simulasi yang dilakukan oleh Pal dkk pada tahun 2014 (**Pal, dkk, 2014**), yang melakukan simulasi antenna mikrostrip *E-shaped* dengan empat buah *sub array*. Dari penelitian tersebut

juga didapatkan nilai *VSWR* yang sama, yaitu sebesar 1,2. Desain antena mikrostrip yang dirancang dalam penelitian ini menunjukkan efektivitas dan efisiensi yang lebih baik dalam hal desain yang lebih simple dengan nilai *VSWR* yang tetap memenuhi standar maksimum *VSWR*. Meskipun terjadi pergeseran nilai *VSWR*, hasil yang diperoleh baik simulasi maupun pengukuran masih memenuhi spesifikasi kerja yang diharapkan, yaitu $VSWR \leq 2$. Artinya gelombang yang dipantulkan tidak lebih besar dari gelombang yang diterima, sehingga antena mikrostrip *double E-shaped* dalam keadaan mendekati *matching*.

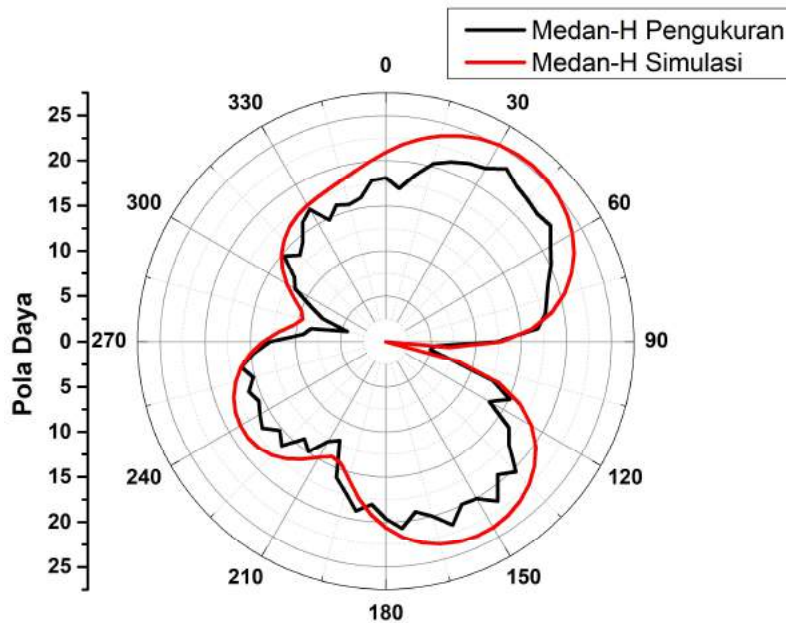


Gambar 9. Grafik *Bandwidth* Hasil Simulasi dan Pengukuran

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan nilai *bandwidth* hasil simulasi dan hasil pengukuran. Perbedaan nilai *bandwidth* yang terjadi dapat diidentifikasi dari grafik *return loss*. Nilai *bandwidth* yang diperoleh dari hasil simulasi lebih besar daripada hasil pengukuran, masing-masing nilainya yaitu 342 MHz dan 265 MHz. *Bandwidth* pada penelitian ini lebih besar daripada *bandwidth* hasil penelitian Mubarakah dkk pada tahun 2017 (**Mubarakah, dkk, 2017**), yaitu sebesar 67,52 MHz di frekuensi 3,39 GHz dengan desain antena mikrostrip *double E-shaped*.



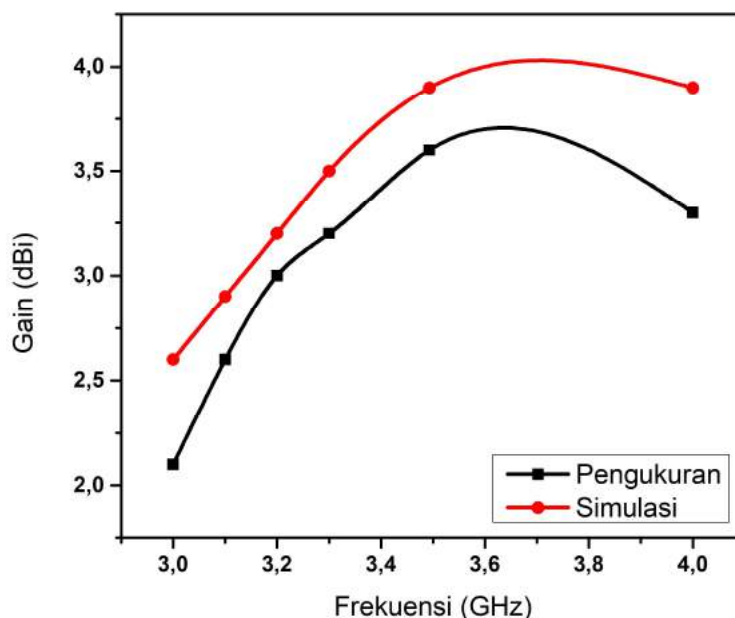
Gambar 10. Pola Radiasi Medan E Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 3,3 GHz



Gambar 11. Pola Radiasi Medan H Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 3,3 GHz

Gambar 10 menunjukkan grafik pola radiasi medan-E hasil simulasi dan pengukuran antenna mikrostrip *double E-shaped* pada frekuensi 3,3 GHz masing-masing didapatkan *main lobe* mengarah pada sudut 39° dengan nilai daya sebesar 18,1 dB, dan mengarah pada sudut 35° dengan nilai daya sebesar 15,7 dB. Pada Gambar 11 menunjukkan grafik pola radiasi medan-H hasil simulasi dan pengukuran pada frekuensi 3,3 GHz masing-masing didapatkan *main lobe* mengarah pada sudut 39° dengan nilai daya sebesar 25,36 dB, dan mengarah pada sudut 35° dengan nilai daya sebesar 23,31 dB. Pola radiasi medan-E dan medan-H hasil simulasi maupun pengukuran memiliki pola *bidirectional*. Berdasarkan pola radiasi yang diperoleh dapat ditentukan nilai HPBW yaitu sekitar 60° untuk hasil simulasi dan sekitar 50° untuk hasil pengukuran. HPBW merupakan suatu peristiwa yang menunjukkan terjadinya

penurunan daya hampir 50% atau setengah dari daya maksimum (**Alaydrus, 2011**). Hal tersebut menunjukkan daerah dimana antena mikrostrip masih dapat bekerja secara maksimal, sedangkan diluar daerah HPBW antena mikrostrip bekerja kurang baik. Perbedaan hasil simulasi dengan pengukuran pada pola radiasi dapat terjadi karena pada realita pengukuran sering tidak sama dengan simulasi, pengukuran dapat dipengaruhi oleh interferensi gelombang di lingkungan sekitar.



Gambar 12. Grafik Variasi Gain

Parameter yang menunjukkan penguatan antena mikrostrip adalah *gain*. *Gain* atau penguatan antena diukur di ruang *Annechoic chamber* dengan menggunakan *Spectrum Analyzer*, untuk bisa mengetahui nilai daya yang diterima oleh antena mikrostrip. Berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa nilai *gain* hasil simulasi mengalami kenaikan. Desain antena mikrostrip *double E-shaped* yang dirancang mampu menghasilkan rentang nilai *gain* antara 3,5 dBi sampai 3,9 dBi pada rentang frekuensi 3,3 GHz – 4 GHz untuk hasil simulasi. Nilai *gain* hasil simulasi ini menunjukkan nilai lebih baik dibandingkan dengan simulasi yang dilakukan oleh Devi (**Devi, dkk, 2019**) dan timnya pada tahun 2019, yaitu nilai *gain* sebesar 2,05 dBi pada frekuensi 3,6 GHz dengan menggunakan desain antena mikrostrip *E-shaped* tunggal. Besar nilai *gain* yang diperoleh ditentukan oleh daya intensitas yang dapat dipancarkan oleh antena, dimana hal tersebut salah satunya dipengaruhi oleh keberadaan *array* di dalam desain antena mikrostrip yang dirancang. Struktur *array* pada antena mikrostrip yang dirancang mengakibatkan adanya celah yang dapat bersifat kapasitif. Hal ini mengakibatkan adanya kemungkinan untuk antena dapat menyimpan energi yang lebih banyak, sehingga mampu menghasilkan *gain* yang lebih besar. antena mikrostrip dengan *gain* lebih dari 3 dBi dapat dikatakan antena mikrostrip dalam keadaan mendekati *matching impedansi*. Hal tersebut terjadi karena pada keadaan *matching impedansi* daya yang ditransmisikan lebih besar daripada daya yang dipantulkan, sehingga memiliki energi yang cukup besar (**Harahap, dkk, 2015**).

4. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini, hasil simulasi diperoleh antenna bekerja di frekuensi 3,3 GHz, *return loss* -21 dB, *VSWR* 1,23, *bandwidth* 342 MHz, dan gain 3,5 dBi. Sedangkan hasil pengukuran antenna didapat frekuensi kerja 3,35 GHz dengan *return loss* -22 dB, *bandwidth* 265 MHz, *VSWR* 1,26 dan *gain* 3,2 dBi. Mikrostrip dengan desain *double E-shaped* yang berstruktur *array* mengakibatkan adanya celah yang dapat bersifat kapasitif sehingga dapat meningkatkan *gain*. Antena mikrostrip ini dapat diaplikasikan pada *WiMax*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada PPET LIPI Bandung yang telah banyak membantu dalam pengukuran antenna mikrostrip.

DAFTAR RUJUKAN

- Alaydrus, M. (2011). *Antena Prinsip dan Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Devi, M., Adhikari, D. M., dan R., P. (2019). A Compact Triband E-Shaped Antenna for WLAN and LTE Applications. *International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (VITECoN)*. <https://research.vit.ac.in/publication/a-compact-triband-e-shaped-antenna-for-wlan>
- Guan, N., Zhou, Y., Tian, L., Sun, G., dan Shi, J. (2011). QoS Guaranteed Resource Block Allocation Algorithm for LTE Systems. *IEEE 7th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 307-312.
- Gunawan, W. H., dan Pramono, Y. H. (2013). Design of E-Shaped Structure and Low-Cost for Wide-Band Antenna Application. *2nd Asia-Pacific Conference on Antenna and Propagation*, (pp. 171-172).
- Harahap, A. R., Riza, T. A., dan Wahyu, Y. (2015). Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip E-Shaped Fraktal Tripleband untuk Sistem Komunikasi Seluler. *e-Proceeding of Engineering*, (pp. 2783-2789).
- Hasan, R. R., Tusher, R. T. H., Howlader, S., dan Jahan, S. (2019). On Body E-shaped Patch Antenna for Biomedical Application. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI)*, 7(1), 152-157.
- Hota, P. K., Panda, M. K., dan Mishra, D. (2018). Double E-Shaped Wideband Microstrip Patch Antenna for Wireless Applications. *IEEE: International Conference on Recent Innovation in Electrical Electronics & Communication Engineering (ICRIEECE)*, (pp. 1066-1069).
- Kurniawan, A., Iskandar, dan Mukti, P. H. (2010). A 2,3/3,3 GHz Dual Band Antenna Design for WiMax Applications. *Journal of ICT Research and Applications*, 4(2), 67-78.

- Mathew, P. K., dan Mohan, S. (2014). A Double E Shaped Microstrip Patch Antenna for Multiband Applications. *ICTACT journal on communication technology: special issue on advances in wireless sensor networks*, 5(2), 941-946.
- Mubarokah, H., Wijanto, H., dan Wahyu, Y. (2017). Antena Mikrostrip E-Ganda dengan Celah T-Ganda untuk Multi-Pita 2,4-3,4-5,8 GHz. *e-Proceeding of Engineering*, 4(2), (pp. 2075-2083).
- Mutmainnah, dan Pramono, Y. H. (2017). Open-loop Dipole Microstrip Antenna with U-shape Insertion for 2,45 GHz Wireless Application. *International Journal of Microwave and Optical Technology*, 12(5), 399-405.
- Nalam, M., Rani, N., dan Mohan, A. (2014). Biomedical Application of Microstrip Patch Antenna. *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering (IJISME)*, 2(6), 6-8.
- Nasir, M. (2013). Perbandingan Teknologi WiMax dengan Wi-Fi. *Jurnal Ilmiah Matrik*, 15(1), 43-52.
- Pal, S., Roy, K., Nag, A., dan Tiwary, A. K. (2014). E-Shape Wide Band Microstrip Array Antenna for Wireless Communication Systems. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology (IJIRSET)*, 3(6), 27-31.
- Permatasari, P. D. (2015). Pelebaran Bandwidth Antena Mikrostrip dengan Struktur Pentanahan Tiruan. *Skripsi*. Surabaya, Fakultas Teknologi Industri ITS. <http://repository.its.ac.id/59360/1/2212106066-Undergraduate%20Theses.pdf>.
- Sastry, I. V. S. R., dan Sankar, D. K. J. (2014). Proximity Coupled Rectangular Microstrip Antenna with X-Slot for WLAN Application. *Global Journal of Research in Engineering: F Electrical and Electronics Engineering*, 14(1), 15-18.
- Singh, J., Tiwari, M., dan Patel, N. (2014). Design and Simulation of Microstrip E-shaped Patch Antenna for Improved Bandwidth and Directive Gain. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 9(9), 446-450.
- Surjati, I. (2010). *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Wibowo, R. (2015). Simulasi dan Fabrikasi Antena Mikrostrip Dipole dengan *Length Shifter* sebagai Pengubah Frekuensi. *Tesis*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITS. <http://repository.its.ac.id/59924/1/1111201902-Master%20Thesis.pdf>.
- Yadav, A., Chauhan, B., dan Jain, A. (2012). Microstrip Symmetrical E-Shape Patch Antenna for the Wireless Communication Systems. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (IJETAE)*, 2(12), 241-244.