

## Purwarupa Mode Konverter *Rectangular Waveguide* Menggunakan *Double-Trench*

M. Reza Hidayat<sup>1</sup> dan Adhitya Ari Poetra<sup>2</sup>

Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

<sup>1</sup>[mreza@lecture.unjani.ac.id](mailto:mreza@lecture.unjani.ac.id), <sup>2</sup>[4121poetra@gmail.com](mailto:4121poetra@gmail.com)

### Abstrak

*Waveguide* merupakan suatu alat yang berbentuk menyerupai selongsong persegi ataupun melingkar yang terbuat dari bahan konduktor tunggal. Alat tersebut dapat disisipi dielektrik untuk mengatur frekuensi tertentu atau konverter untuk mengubah mode dari gelombang yang digunakan. Penelitian ini melakukan implementasi konverter mode TE<sub>10</sub> ke mode TM<sub>mn</sub> pada *rectangular waveguide* dan mengamati karakteristik dari vektor gelombang konverter serta parameter S<sub>11</sub> dan S<sub>21</sub>. Proses pengujian dilakukan dengan mencoba beberapa rancangan dan membandingkan hasilnya, kemudian mengimplementasikannya pada alat. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan hasil terbaik. Berdasarkan analisis dari proses simulasi menggunakan *software* ansoft HFSS, hasil terbaik didapatkan pada konverter mode TM<sub>mn</sub> parameter dengan rancangan *double-trench* belah ketupat dan frekuensi *cut off* 6.4 GHz. Nilai *return loss* sebesar -14.289 dB dan *insertion loss* sebesar -0.281 dB. Sedangkan pada rancangan konverter *double-trench* kembar didapatkan hasil frekuensi *cut off* sebesar 9.2 GHz dengan nilai *return loss* -12.878 dB dan nilai *insertion loss* -0.467 dB. Pada saat pengujian alat yang dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), frekuensi *cut-off* yang diperoleh adalah sebesar 7.03 GHz dengan *return loss* -12.68 dB, dan *insertion loss* -6.80 dB.

Kata kunci: konverter, Frekuensi, *Insertion Loss*, *Waveguide*, *Return Loss*.

### Abstract

A waveguide is a device shaped like a square or circular sleeve made of a single conductor. This tool can be inserted dielectric to regulate a particular frequency or converter to change the mode of the wave used. This study implemented a TE<sub>10</sub> mode converter to TM<sub>mn</sub> mode in a rectangular waveguide and observed the characteristics of the converter wave vector as well as parameters S<sub>11</sub> and S<sub>21</sub>. The testing process is performed by trying several designs and comparing the results, then implementing them on the device. Simulation is conducted to get the best results. Based on the analysis of the simulation process using ansoft HFSS software, the best results was obtained in the TE<sub>10</sub> mode converter with a rhombic double-trench design and a cut-off frequency of 6.4 GHz. The return loss value was -14,289 dB and an insertion loss of -0,281 dB. While in the twin double-trench converter design, cut-off frequency was 9.2 GHz with a return loss value of -12,878 dB and an insertion loss value of -0,467 dB. When the testing was done by using the Vector Network Analyzer (VNA), the measured cut-off frequency was 7.03 GHz with a return loss of -12.68 dB, and an insertion loss of -6.80 dB.

Keywords: converter, frequency, Insertion Loss, Rectangular Waveguide, Return Loss.

### 1. Pendahuluan

Saluran transmisi merupakan salah satu media yang digunakan untuk mengirim energi listrik dari satu titik ke titik lain dalam suatu rangkaian listrik (Shani, dkk, 1991). Ada beberapa saluran transmisi yang digunakan secara umum pada saat ini, seperti *two wire line*, kabel koaksial, *balanced shielded line*, mikrostrip dan *waveguides* (bubungan gelombang) (Yang, dkk, 1995). *Waveguide* merupakan suatu alat yang berbentuk menyerupai selongsong persegi ataupun melingkar yang terbuat dari bahan konduktor tunggal yang dapat disisipi dielektrik untuk mengatur frekuensi tertentu atau konverter untuk mengubah mode dari gelombang yang digunakan (Kim, dkk 2009; Holmes, dkk, 2006). Salah satu kelemahan dari *waveguide* yaitu mode yang digunakan tidak dapat diubah tanpa mengatur ulang rancangan. Oleh karena itu dibutuhkan konverter untuk mengubah mode dari *waveguide* tanpa harus mengubah rancangannya (Tzolov, dkk, 1996).

Telah diusulkan beberapa jenis mode konverter pada beberapa penelitian sebelumnya seperti *multisectional load converter*, *angled-facet waveguide mode converters*, *sloped slots converter* dan *asymmetrical angled-facet waveguide mode converters* (Rahman, dkk, 2001; Fajardo, dkk, 2018; Kanani, dkk, 2013). Beberapa contoh

#### Info Makalah:

Dikirim : 03-17-20;

Revisi 1 : 04-28-20;

Revisi 2 : 05-01-20;

Diterima : 05-01-20.

#### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-822-1524-4637

e-mail : [mreza@lecture.unjani.ac.id](mailto:mreza@lecture.unjani.ac.id)

penelitian tersebut belum menerapkan teknik *trench* (pencabangan) jalur propagasi dalam mendesain konverter. Oleh karena itu pada penelitian ditargetkan penggunaan *trench* guna dapat mencapai keluaran *return loss* dari konverter yang dibuat memiliki nilai >10 desibel.

Pada penelitian ini melakukan implementasi konverter mode TE<sub>10</sub> ke mode TM<sub>mn</sub> pada *rectangular waveguide* dan mengamati karakteristik dari vektor gelombang konverter maupun parameter S<sub>11</sub> dan S<sub>21</sub>. Proses pengujian

dilakukan dengan mencoba beberapa rancangan dan membandingkan hasilnya dan mengimplementasikannya pada alat dengan mengambil dari hasil simulasi yang menunjukkan hasil paling baik.

## 2. Metode

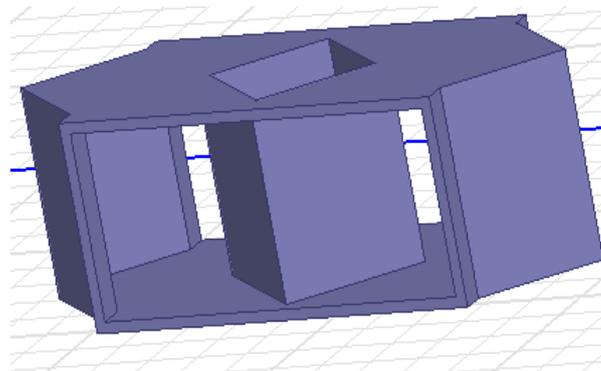
Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu merancang dan mensimulasikan mode konverter untuk *rectangular waveguide* dari mode  $TE_{10}$  menjadi mode  $TM_{mn}$ , lalu dilakukan pembuatan dan pengujian (realisasi alat). Proses perancangan dan simulasinya mode konverter *rectangular waveguide* dilakukan dengan menggunakan *software* Ansoft HSFF dan pengujian alat yang telah dibuat yaitu pada VNA (*Vector Network Analyzer*). Besaran dimensi inisial dari *converter* ditentukan dengan menggunakan  $\frac{1}{2}$  dari besar jalur *waveguide* untuk masing-masing cabang (*double trench*) sebelum dilanjutkan dengan uji coba simulasi.

### Perancangan Mode Konverter *Rectangular Waveguide*

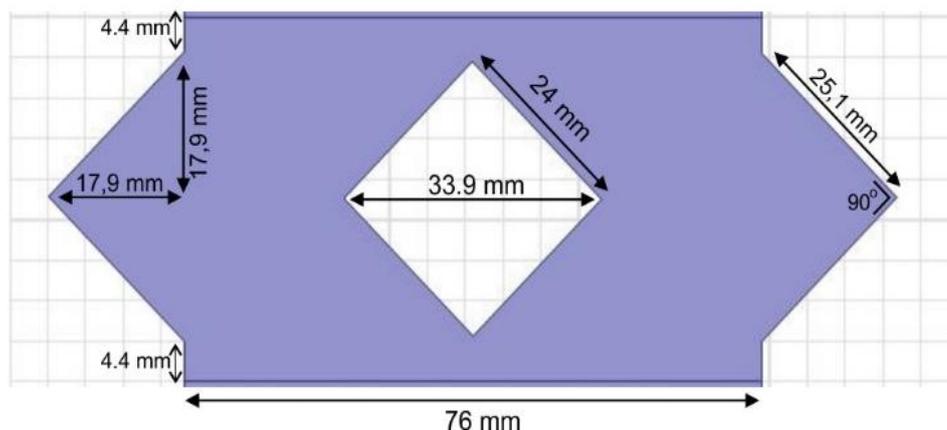
Sebelum membuat rancangan, ditentukan terlebih dahulu bentuk yang akan digunakan dan ukuran dimensi konverter yang akan dirancang dan dianalisa dengan memperhitungkan ukuran, panjang, jarak antar *trench* dan lebar *trench*, dll. Dilakukan beberapa percobaan untuk menentukan bentuk dan ukuran dari mode konverter yang akan digunakan.

### Rancangan Mode Konverter *Double-trench* Belah Ketupat

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapat rancangan konverter yang sesuai yaitu dengan bentuk *double trench* berbentuk segitiga pada kedua sisi dengan lubang belah ketupat pada bagian tengah konverter dengan ukuran panjang 45 mm, lebar 76 mm, tinggi 38 mm dan bagian panjang segitiga 24 mm sama untuk setiap sisi, sudut segitiga  $90^\circ$  dengan ketebalan konverter sama seperti *waveguide* yaitu 2 mm. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2 berikut



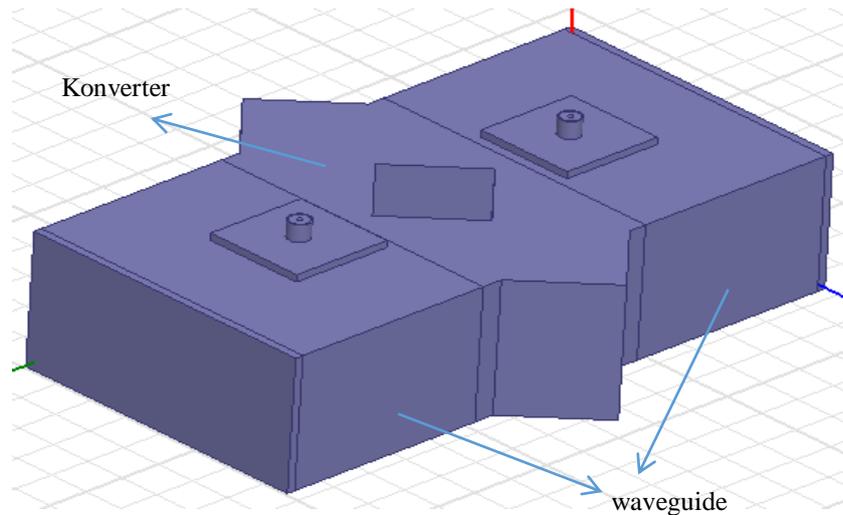
Gambar 1 Rancangan Konverter Belah Ketupat



Gambar 2. Rancangan Konverter Belah Ketupat (Tampak Atas)

### Penyisipan Konverter Pada *Rectangular Waveguide*

Pada Gambar 3 konverter yang telah dirancang sesuai rancangan dan disisipkan pada *waveguide* dengan harapan dapat mengubah arah vektor gelombang dan mengubah mode pada *waveguide* dari  $TE_{10}$  menjadi  $TM_{mn}$ .



Gambar 3 Desain *Conveter* yang Telah Disisipkan pada *Waveguide*

### Merealisasi *Rectangular Waveguide* dan Mode Konverter yang Telah Dirancang

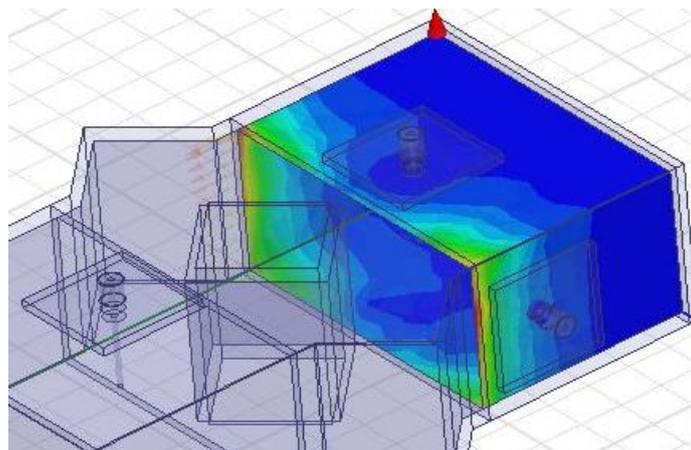
Melakukan realisasi alat yang telah dirancang dalam bentuk fisik dari hasil proses perancangan dengan hasil rancangan yang mendapatkan hasil yang paling baik menggunakan *software* Ansoft HFSS, melakukan pengujian dan melakukan analisis dari hasil pengujian tersebut.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh untuk simulasi diambil dari hasil percobaan menggunakan *software* Ansoft HFSS untuk membuat konverter mode  $TE_{10}$  menjadi mode  $TM_{mn}$ . Dimensi *rectangular waveguide* sebagai berikut, panjang 100 mm (50 mm untuk setiap bagian), lebar 76 mm, tinggi 38 mm dengan ketebalan aluminium 2 mm. Untuk mode konverter dengan dimensi panjang 45 mm, lebar 76 mm, tinggi 38 mm dan tebal 2 mm untuk bagian panjang segitiga 24 mm sama untuk setiap sisi.

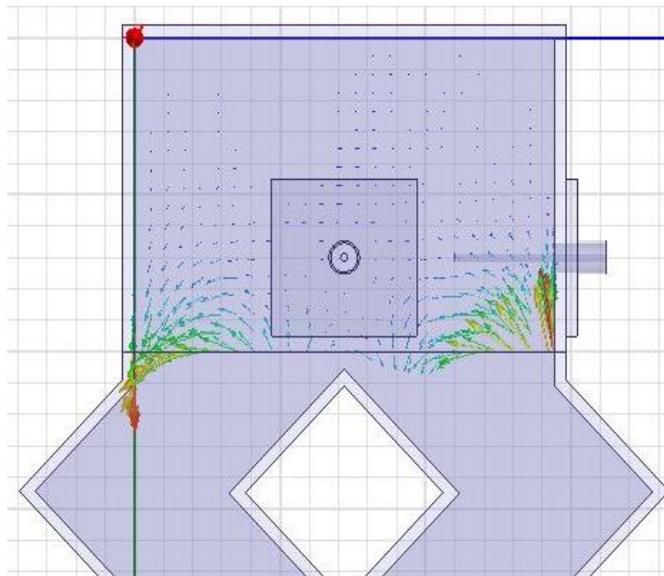
### Simulasi Konverter

Gambar 4 menunjukkan besar *magnitude* pada bagian *waveguide* mana yang menerima *magnitude* dengan nilai yang tinggi dan rendah. Warna merah menunjukkan bahwa bagian tersebut memiliki nilai paling tinggi diantara bagian lainnya sedangkan biru menunjukkan bahwa bagian tersebut menerima nilai paling kecil.

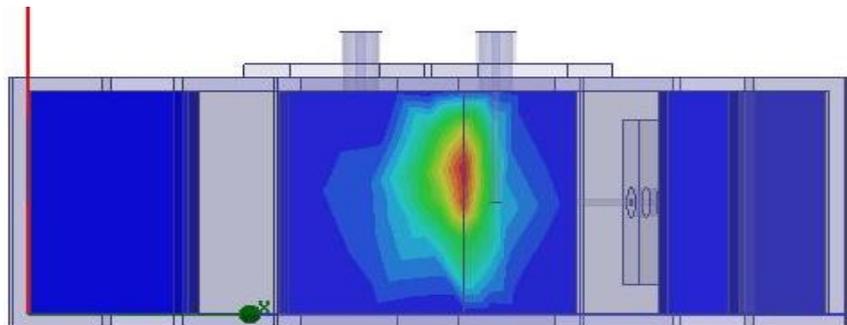


Gambar 4. Gelombang *Magnitude* pada Bagian *Waveguide*

Gambar 5 menunjukkan arah vektor medan listrik dari *waveguide*. Tampak adanya lengkungan medan listrik yang diakibatkan oleh konverter yang mengubah mode gelombang dari *waveguide* menjadi  $TM_{mn}$ . Perubahan tersebut terjadi karena arah dari vektor medan listrik yang bergerak menuju arah samping.



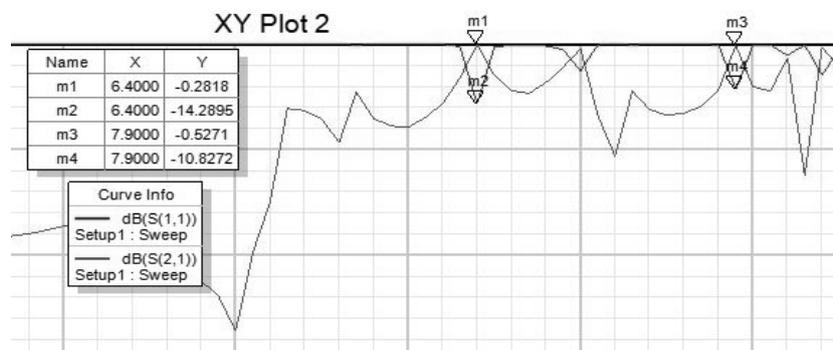
Gambar 5. Vektor Medan Magnet pada Bagian Waveguide



Gambar 6. Gelombang Magnitude pada Bagian Konverter

Gambar 6 menunjukkan besaran *magnitude* pada bagian konverter yang terpusat pada bagian tengah dari konverter. Pada bagian tersebut telah menjadi pusat patul gelombang agar arah dari medan gelombang yang dikirim dapat berubah menjadi mode  $TM_{mn}$ .

Gambar 7 menunjukkan hasil frekuensi setelah menggunakan konverter didapat dua respon *filter* yaitu pada respon *filter* pertama berada pada frekuensi *cut off* 6.4 GHz dengan nilai *return loss* -14.289 dB dan nilai *insertion loss* -0.281 dB dan respon *filter* kedua berada pada frekuensi *cut off* 7.9 GHz dengan nilai *return loss* -10.827 dB dan nilai *insertion loss* -0.527 dB dengan demikian hasil dapat diambil dari *cut-off* yang lebih baik yaitu pada *filter* pertama dengan frekuensi *cut-off* 6.4 GHz.



Gambar 7. Frekuensi Konverter Rancangan Belah Ketupat

### Realisasi Mode Konverter

Proses yang dilakukan dalam realisasi alat yaitu menggunakan aluminium sebagai bahan converter, lalu melakukan manufaktur alat dengan memotong plat aluminium dengan ukuran sama seperti pada rancangan yang

digunakan saat simulasi setelah itu dilakukan melakukan perangkaian alat dengan mengelas bagian bagian yang telah dipotong hingga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

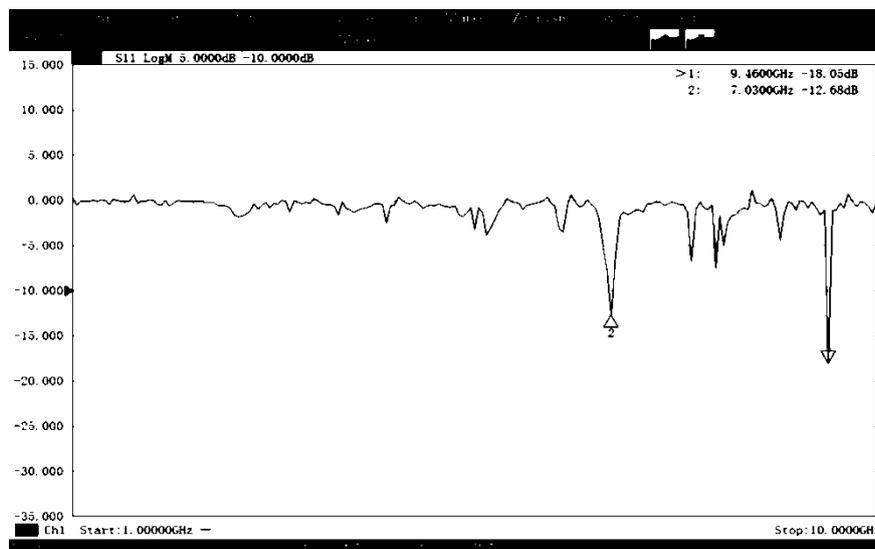


Gambar 8. Realisasi Konverter dalam Bentuk Alat

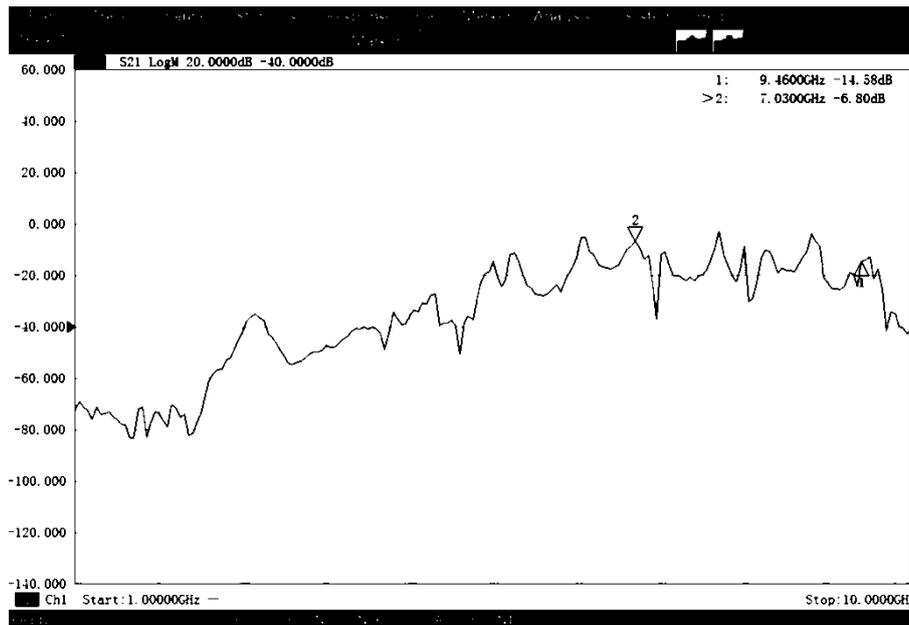
### Pengukuran Mode Konverter

Pengukuran dilakukan menggunakan VNA yang dilakukan dengan harapan hasil dari pengukuran tidak jauh berbeda dengan hasil dari simulasi. Pengukuran pada VNA dilakukan dengan mengukur frekuensi dan respon S11 dan S21.

Gambar 9 menunjukkan hasil pengukuran respon kerja S11 dengan dua respon *filter* yang baik, *filter* pertama dengan frekuensi *cut-off* sebesar 7.03 dan *return loss* -12.68 dB, dan respon *filter* kedua dengan dengan frekuensi *cut-off* sebesar 9.46 dan *return loss* -18.05 dB. Pada gambar 10 menunjukkan hasil pengukuran respon kerja S21 dengan hasil *insertion loss* pada filter pertama -6.80 dB dan filter kedua -14.58 dB.



Gambar 9. Hasil Pengukuran Respon Kerja S11 Konverter



Gambar 10. Hasil Pengukuran Respon Kerja S21 Konverter

Dengan hasil yang didapat dapat diambil hasil untuk menentukan mode yang digunakan pada mode konverter yang telah dirancang. Untuk menentukan mode yang digunakan pada mode konverter digunakan rumus dan Tabel 1.

Tabel 1. Mode dari  $(fc)_{mn} / fc$  untuk  $a \geq b$

Modes	TE10	TE01	TE11	TE20	TE02	TE21	TE12	TE22
			TM11			TM21	TM12	TM22
1 GHz	1 GHz	1 GHz	1,414 GHz	2 GHz	2 GHz	2,236 GHz	2,236 GHz	2,828 GHz
1.5 GHz	1 GHz	1,5 GHz	1,803 GHz	2 GHz	3 GHz	2,5 GHz	3,162 GHz	3,606 GHz
2 GHz	1 GHz	2 GHz	2,236 GHz	2 GHz	4 GHz	2,828 GHz	4,123 GHz	4,472 GHz
3 GHz	1 GHz	3 GHz	3,162 GHz	2 GHz	6 GHz	3,606 GHz	6,083 GHz	6,325 GHz
$\infty$	1 GHz	$\infty$	$\infty$	2 GHz	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$

Tabel 1 menunjukkan respon frekuensi *cut-off* yang digunakan untuk menentukan mode dari *waveguide* yang digunakan dengan membandingkan hasil dari simulasi dan pengukuran dengan nilai frekuensi pada tabel diatas atau dengan menggunakan rumus berikut (Kita, dkk, 2018)

$$fc(mn) = \frac{3 \times 10^8}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (1)$$

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi rancangan konverter *double-trench* belah ketupat telah berhasil mengubah arah medan vektor dari mode TE<sub>10</sub> berubah menjadi TM<sub>mn</sub>.

Hasil dari simulasi frekuensi *cut off* 6.4 GHz dengan nilai *return loss* -14.289 dB dan nilai *insertion loss* -0.281 dB pada hasil pengukuran frekuensi *cutoff* sebesar 7.03 GHz dengan *return loss* -12.68 dB, dan *insertion loss* -6.80 dB. Frekuensi *cutoff* terjadi pergeseran sebesar 0.63 Hz dari dari simulasi, *return loss* memiliki nilai perbedaan 1.609 dB dan *insertion loss* 6.519 dB dimana hasil simulasi mendapatkan hasil lebih baik. Hal ini dapat diakibatkan karena kesalahan saat proses *manufacturing* konverter maupun *waveguide* yang digunakan.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas organisasi Jurusan Teknik Elektro UNJANI Cimahi atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada pada Laboratorium Teknik yang membantu proses pengukuran dari realisasi konverter yang telah difabrikasi.

### Daftar Notasi

- Fc = Frekuensi *cut-off*  
m = orde pertama mode *waveguide*  
n = orde kedua mode *waveguide*  
a = lebar *waveguide*  
b = tinggi *waveguide*

### Daftar Pustaka

- Fajardo, S., García-Galvan, Barranco, F. R., Galvan, V., J. C., Batlle, S. (2016). *Waveguide Mode Converters*, Intech, vol. i, no. tourism, p. 13.
- Holmes, D. C., Hutchin, B. M. (2006). *Realization of novel low-loss monolithically integrated passive waveguide mode converters*. IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 18, no. 1, pp. 43–45.
- Kanani, P.D., Unadkat, V. M., Dave, S. P. (2013) *Analysis on a Waveguide Mode Converter*. vol. 1, no. 9, pp. 741–745.
- Kim, S., Takei, R., Shoji, Y., Mizumoto, T. (2009). *Single-trench waveguide TE-TM mode converter*. vol. 17, no. 14, pp. 11267–11273.
- Kita, D. M., Michon, J., Johnson, S. G., Hu, J.(2018) *Are slot and sub-wavelength grating waveguides better than strip waveguides for sensing?*. Optica, vol. 5, no. 9, p. 1046. doi: 10.1364/optica.5.001046.
- Rahman, A., Obayya, S. S. A., Somasiri, N., Rajarajan, Grattan, M., K. T. V. (2001). *Design and characterization of compact single-section passive polarization rotator*. pp. 512– 519.
- Shani, M. G. Y. Y., Alferness, R., Koch T., Koren U., Oron M., Miller, B. I. (1991). *Polarization rotation in asymmetric periodic loaded waveguides*. pp. 1278–1288.
- Tzolov, V. P., Fontaine M. (1996). *A passive polarization converter free of longitudinally-periodic structure*. Optics Communications. 1996. <https://www.researchgate.net/publication/238909186/>
- Yang S., Li, H. (1995). *Numerical modelling of 8mm TM<sub>01</sub>-TE<sub>11</sub> mode converter*. Int. J. Infrared Millimeter Waves, vol. 16, no. 11, pp. 1935–1943. doi: 10.1007/BF02072549.