

ANTENA MIMO-UWB 4x4 DUAL BANDS NOTCHED DENGAN MENGGUNAKAN METODE EBG DAN SLITS

4x4 DUAL BANDS NOTCHED MIMO-UWB ANTENNA USING EBG AND SLITS METHOD

Wahdina Jamil^{1a*}, Firdaus Nursal^{2b}, Yulindon^{3b}

^aPoliteknik Negeri Padang, Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Kampus Limau Manis, Padang, 25163

^bPoliteknik Negeri Padang, Jurusan Teknik Elektro, Kampus Limau Manis, Padang, 25163

e-mail: dinajamil919@gmail.com, firdaus@pnp.ac.id, yulindon@pnp.ac.id

ABSTRACT

In this paper, a Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) antenna that can work in Ultra-Wideband (UWB) technology is presented. The antenna can work in frequencies of 3.1-10.6 GHz, has dual bands notched, and in small dimensions at once. The antenna is made in size 34 x 34 x 1.6 mm using a 4-element planar monopole antenna with L-shape and C-shape slits on the radiator. This antenna research was designed and simulated using CST Studio Suite 2019. The ground plane on the rhombic slot-shaped antenna by utilizing the slot on the antenna radiator produces notched bands from simulations at 3.39-3.64 GHz (WiMAX) and 4.57-5.82 GHz (WLAN). The fabricated antenna has a bandwidth impedance value through $S_{11} < -10$ dB in the range of 2.7-12 GHz, including the frequencies of the generated notched bands. With the resulting bandwidth impedance reaching -50 dB at a frequency of 3.05 GHz. This UWB MIMO antenna produces Envelope Correlation Coefficient (ECC) < 0.4 , forms an omni-directional radiation pattern, has a gain of 2.6 times at a frequency of 7.01 GHz, a consistent VSWR value of 1.6 at a frequency of 5.6-12 GHz outside of the resulting notched bands, and a Total Active Reflection Coefficient (TARC) that reaches -24 dB at a frequency of 7.2 GHz. The results of this paper can be an illustration in making UWB MIMO antennas that have dual bands notched with small dimensions and complex antenna performance that works well in UWB applications.

Keywords: UWB MIMO Antenna; Dual Bands Notched; 4 Elements; Small Dimension.

I. PENDAHULUAN

Teknologi Ultrawideband (UWB) menjadi bidang penelitian yang menarik dalam beberapa tahun kebelakang ini [1]. Teknologi UWB menghasilkan banyak keunggulan diantaranya kapasitas yang besar, data rate tinggi, konsumsi daya rendah, kebal terhadap gangguan sinyal, serta pemanfaatan kanal yang luas dan harga yang terjangkau [2]–[4]. Keunggulan lain dari teknologi UWB juga dapat mengurangi efek multipath fading antar elemen dan teknologi UWB mengirimkan data melalui sinyal pulsa tanpa frekuensi pembawa sehingga tidak diperlukannya modulasi dan menghasilkan durasi yang pendek serta bandwidth yang lebar [3], [5]–[9]. Pengembangan dari teknologi UWB adalah penggabungan dengan teknologi lain yang sehingga kerja dari UWB semakin optimal.

Teknologi Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) salah satu teknologi yang dapat

digabungkan dengan UWB. MIMO menghasilkan isolasi yang tinggi antar elemen antenna [1]. Teknologi MIMO membawa keuntungan lain diantaranya meningkatkan kapasitas kanal dan menghasilkan data rate yang tinggi dari antenna, dan juga efektif dalam menurunkan efek radiasi dari mutual coupling antar elemen antenna [3], [4], [6], [10].

Tantangan yang utama dan juga menjadi daya tarik dalam melakukan penelitian MIMO-UWB yaitu menghasilkan ukuran antenna yang kecil, nilai mutual coupling rendah dan juga menghasilkan notched band dalam frekuensi UWB [4], [8].

Dalam artikel [1], [3], [7], [11]–[14] telah dibuat antenna dengan ukuran tertentu. Antenna 4 port dalam ukuran 80x80 x1,6 mm [1], antenna 4 port dengan ukuran 56x67x0,2 mm [14], antenna 2 port dibuat dengan ukuran 26x31x0,8 mm [3], antenna 4 port dengan ukuran 42x25x1,6 mm [7]

antena 4 port dengan ukuran 39x39x1,6 mm [11] antenna 2 port ukuran 23x26x0,8 mm [12], antenna 2 port ukuran 35x35x1 mm [13].

Dalam artikel lainnya, pembuatan anten dengan mutual coupling rendah didapatkan dengan teknik yang berbeda-beda [3], [7], [11], [12], [15]–[17]. Pembuatan ground stub(3,1-11GHz) [3], menjadikan antenna 4x4 (3,1-12 GHz) [7], penempatan antenna secara orthogonal (3-12GHz)[11], modifikasi ground plane dengan slot bentuk-T dan penggunaan slot persegi vertical di tengah ground plane menghasilkan mutual coupling rendah(3,1-10.6 GHz) [12], metal strip pada ground (3,1-11 GHz [15], parasitic strip bentuk-L pada ground(3,1-10,6 GHz [16], strips huruf-L pada ground (2,93-20 Ghz) [17], penempatann antenna secara orthogonal (3-12Ghz)[12].

Dalam penelitian lainnya, terdapat beberapa teknik yang digunakan untuk menghasilkan bands notched [12], [15], [17]. Open slot pada radiator menghasilkan bands notched pada WiMAX (5,15-5,85 GHz) dan WLAN (3,3-3,7 Ghz) [15], penambahan double etching slit dengan huruf-L pada radiator menghasilkan bands notched WLAN (5,09-5,8 GHz) dan IEEE INSAT/Super-Extended C-Band(6,3-7,27 GHz [17] menambahkan etching slot berbentuk huruf-Z pada ground menghasilkan band notched WLAN (5,1 -5,9 GHz) [12].

Berdasarkan referensi diatas didapatkan dua desain dengan ukuran kecil dan komponen yang nyaris sama. Pada penelitian ini, diajukan sebuah antenna MIMO UWB yang merujuk pada jurnal [18] dengan melakukan miniaturisasi antenna MIMO agar mencapai karakteristik *dual band notched*. Antena dengan substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik 4,4 dalam dimensi antenna 34x34x1,6 mm. Antena tersusun dengan *groundplane* berupa *rhombic slot* yang menggabungkan *ground* dari setiap antenna. Dan menambahkan struktur *Electromagnetic BnadGap Structure* (EBG) agar menghasilkan impedansi *bandwidth* yang lebih baik.

II. METODE DAN BAHAN

Pada pembahasan ini terkait dengan tahapan yang dilakukan dalam membuat antenna UWB-MIMO dari yang dimulai dengan memodifikasi antenna patch. Kemudian penjelasan antenna MIMO dan dilanjutkan dengan antenna UWB, serta penggabungan antenna UWB-MIMO.

A. Desain Antena Patch

Antena patch terdiri dari 3 bagian penting yaitu substrat, patch, dan ground [9], [19]. Dengan dimensi antenna memiliki Panjang(L) dan lebar (W) patch. Dimensi tersebut dapat dikalkulasikan

melalui rumusan antenna yang memiliki ketebalan (h) dan konstanta dielektrik (ϵ_r) serta frekuensi resonansi (fr) sebagai berikut [19].

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r+1)}{2}}} \tag{1}$$

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r+1}{2}\right)\left(\frac{\epsilon_r-1}{2}\right)\left(1 + 12\frac{h}{W}\right)^{-1/2} \tag{2}$$

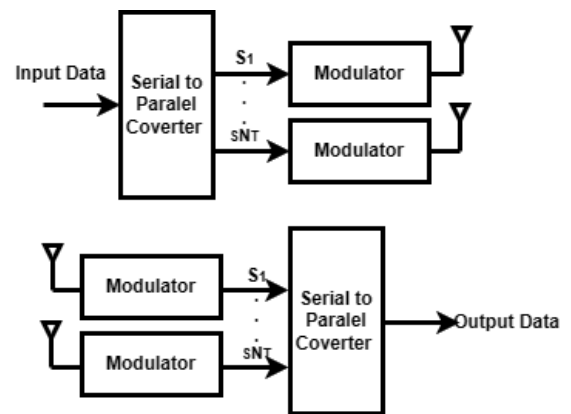
Dimana

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{re}}} \tag{3}$$

$$\frac{\Delta L}{h} = \frac{0,412(\epsilon_{re}+0,3)\left(\frac{W}{h}\right)^{0,264}}{(\epsilon_{re}-0,258)\left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} \tag{4}$$

B. Sistem MIMO

Sistem MIMO memiliki lebih dari 1 antenna/multiple antenna penerima dan pengirim sehingga menghasilkan kecepatan lebih baik dalam mengirimkan data [19]. Gambar 1. Diagram yang menjelaskan sistem komunikasi MIMO. Data input yang dikirimkan akan diparalelkan dengan menghasilkan S1 sampai SNt dilanjutkan dengan data yang di modulator sebelum dipancarkan melalui antenna pengirim (NT) kemudian akan diterima oleh antenna penerima (NR) dengan proses yang sama sehingga menjadi data output [19].



Gambar 1 Sistem pengirim dan penerima dalam MIMO

Kemudian Gambar 2. Melihatkan diagram multiple antenna dalam bentuk matriks. Dapat dituliskan dalam matriks melalui persamaan [20]:

$$y = Hs + n \tag{5}$$

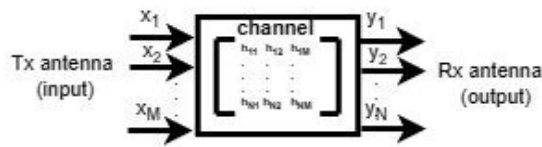
Dimana

$$y = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_{N_R}]^t,$$

$$s = [s_1, s_2, s_3, \dots, s_{N_T}]^t,$$

$$n = [n_1, n_2, n_3, \dots, n_{N_R}]^t$$

dengan H hasil perkalian matriks antara $N_R \times N_T$ [20].



Gambar 2 Diagram pembagian matriks channel antenna

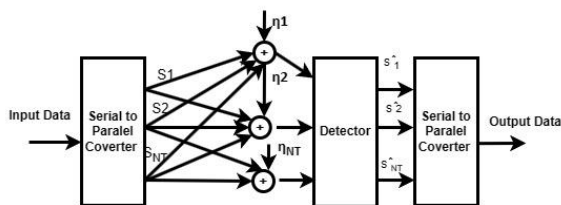
Prinsip dari multiple pada antenna penerima dan pengirim dapat dibuatkan pada Gambar 3. Dimana diagram tersebut menjelaskan prinsip multiple antenna dalam mengirimkan menerima data. Dengan sinyal yang diterima dikombinasikan secara linear. Dengan $N_T = N_R$ dan $W^H = H^{-1}$ sehingga W yang merupakan *weight matriks* jadi *interchannel interference* dapat dieliminasi yang secara rumusan berikut [20]:

$$\hat{s} = H^{-1}y \tag{6}$$

$$\hat{s} = s + H^{-1}n \tag{7}$$

Jika $N_R > N_T$, maka weight matrix W dipilih sebagai pseudo inverse dari channel matriks melalui persamaan (8):

$$W^H = (H^H H)^{-1} H^H \tag{8}$$



Gambar 3 Diagram MIMO antenna dengan multiple antenna pengirim dan penerima

C. Sistem Ultrawide-Band

UWB dengan mengirimkan data melalui sinyal pulsa tanpa frekuensi pembawa sehingga menghasilkan durasi yang pendek (picosecond – nanosecond atau siklus kerja <0,5%) sehingga sinyal informasi dapat dikirim dan diterima. Konsep ini berbeda dengan narrowband atau wideband, yang mana narrowband dan wideband akan memodulasi sinyal informasi RF continuous-waveform dengan frekuensi pembawa tertentu sehingga informasi bisa dikirimkan dan diterima. Sinyal informasi continuous-waveform ini mempunyai kekurangan yaitu mudah mengalami deteksi dan intersepsi [5], [19].

Kelebihan lain dari UWB di bandingkan dengan narrowband dan wideband adalah kapasitas saluran atau data rate yang dapat digunakan sangat lebar dari antenna UWB.

Menurut Hartley-Shannon kapasitas dari UWB dapat dituliskan dalam persamaan (9):

$$C = B \log_2(1 + SNR) \tag{9}$$

Keterangan:

C = kapasitas channel

B = bandwidth

SNR = *signal noise to ratio*

Dari persamaan tersebut kapasitas saluran dari UWB berbanding lurus dengan bandwidthnya. Dengan UWB yang menggunakan sinyal pulsa sehingga bandwidth dari UWB akan menghasilkan Gigabits per second (Gbps) dalam melakukan transfer data [19].

Dengan UWB yang menggunakan sinyal pulsa dalam mengirimkan sinyal informasi maka mempengaruhi dalam pembuatan desain dan arsitektur dari antenna UWB yang menjadi lebih simple dan lebih murah harganya karena tidak memerlukan amplifier dalam mengirimkan sinyal informasi yang tanpa sinyal pembawa karena UWB yang bekerja dengan daya pancar yang rendah [19].

Pemanfaatan dari bandwidth lebar dari UWB dalam berbagai pengaplikasian diantaranya WiMAX dalam 3,3 -3,7 GHz, C-Band ASEAN dalam 3,3 -3,8 GHz, Aplikasi 5G berada pada 4,5 – 5,5 GHz, WLAN dalam 5,15 – 5,875 GHz, Downlink Satelit ITU pada 7,2 – 7,7 GHz, dan X-Band pada 7,3 – 8,5 GHz [9], [20].

Dari banyak keunggulan yang dijabarkan diatas membuat UWB juga memiliki tantangan yang kompleks karena sinyal UWB dengan daya pancar yang rendah ini akan mudah mengalami distorsi dalam mengirimkan sinyal. Kemudian membuat UWB yang bekerja dalam multiple akses [19].

D. Struktur antenna UWB-MIMO

Ada beberapa parameter yang dapat melihat kinerja dari MIMO-UWB antenna, diantaranya:

1. Mutual coupling, yang merupakan penurunan dari performa antenna pengaruh dari tegangan yang dihasilkan dari elemen yang berdekatan, sehingga nilai mutual dapat dilihat dalam $S12/S13$ dengan nilai <-20dB [6]. Dari antenna MIMO-UWB return loss juga parameter yang dapat dilihat dari S-Parameters, $S11$ dengan nilai $S11 < -10$ dB[8].
2. *Envelope Correlation Coefficient (ECC)*
ECC dikalkulasikan dengan tujuan melihat korelasi antar elemen antenna. Dengan nilai ECC semakin rendah semakin baik yang artinya setiap antenna menerima sinyal yang berbeda dengan antenna yang lain. Dan nilai ECC lebih rendah dari 0,5 [8].
Nilai ECC dapat dihitung melalui S-parameter dengan persamaan dengan dara S-

Paramter dari data real dan imajiner dari kedua desain [8]:

$$ECC = \frac{|S_{ii}^* S_{ij} + S_{ji}^* S_{jj}|^2}{(1 - |S_{ii}|^2 - |S_{jj}|^2)(1 - |S_{jj}|^2 - |S_{ij}|^2)} \quad (9)$$

3. Diversity Gain

Parameter yang dapat juga dibandingkan dalam melihat kinerja MIMO-UWB adalah Diversity Gain. Yang dapat diambil dari data ECC antenna yang sebelumnya diketahui. Sehingga diversity gain dapat dikalkulasikan melalui persamaan berikut [1], [11]:

$$DG = 10\sqrt{1 - ECC^2} \quad (10)$$

4. Total Active reflection correlation (TARC)

Hasil simulasi dari kedua desain dapat juga diperoleh grafik TARC yang memperlihatkan bandwidth efektif yang bekerja antar elemen antenna MIMO [1]. TARC sendiri merupakan nilai rasio akar kuadrat dari total daya yang dipantulkan dibagi dengan akar kuadrat dari daya insiden [8], [11].

TARC juga dipengaruhi oleh banyaknya elemen dari antenna yang dibuat dapat dihitung secara matematika TARC melalui rumusan (12) berikut [8].

$$TARC = \frac{\sqrt{|a|^2 + |b|^2 + |c|^2 + |d|^2}}{2} \quad (12)$$

Dengan:

$$a = S_{11} + S_{12}e^{j\theta} + S_{13}e^{j\theta'} + S_{14}e^{j\theta''}$$

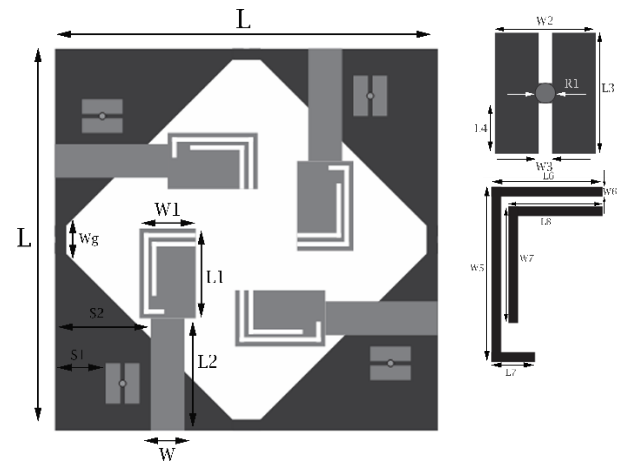
$$b = S_{21} + S_{22}e^{j\theta} + S_{23}e^{j\theta'} + S_{24}e^{j\theta''}$$

$$c = S_{31} + S_{32}e^{j\theta} + S_{33}e^{j\theta'} + S_{34}e^{j\theta''}$$

$$d = S_{41} + S_{42}e^{j\theta} + S_{43}e^{j\theta'} + S_{44}e^{j\theta''}$$

III. DESAIN ANTENA

Pada bagian ini pembuatan antenna yang menggunakan 4 elemen yang dibuatkan dalam dalam ukuran yang sangat kecil yang bertujuan melihat performa dari antenna dalam aplikasi MIMO-UWB. Desain yang diteliti merupakan desain MIMO-UWB yang terbaru. Dengan dimensi dari desain 34x34x1,6 mm yang ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4 Dimensi antenna yang dibuat

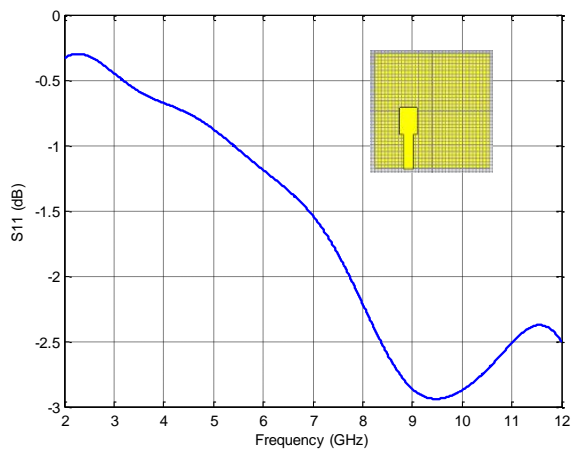
Desain memiliki *constant dielectric* (ϵ_r) 4.4. Desain membentuk feedline yang disusun saling tegak lurus dan bentuk radiator yang berupa patch dan memiliki dua *etching slits*. Bentuk ground berupa rhombic slot dengan CST Suite Studio yang digunakan dalam melakukan simulasi dari desain antenna. Dan ukuran dari desain ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Ukuran Desain Antena

Label	Dimensi (mm)	Label	Dimensi (mm)
L	34	Wg	2,5
L1	8	W	3
L2	7	W1	5
L3	4,6	W2	3
L4	0,8	W3	0,4
L6	4,6	W5	7,2
L7	1,8	W6	0,4
L8	3,9	W7	4,8
R1	0,3	S2	8,5
S1	4,5		

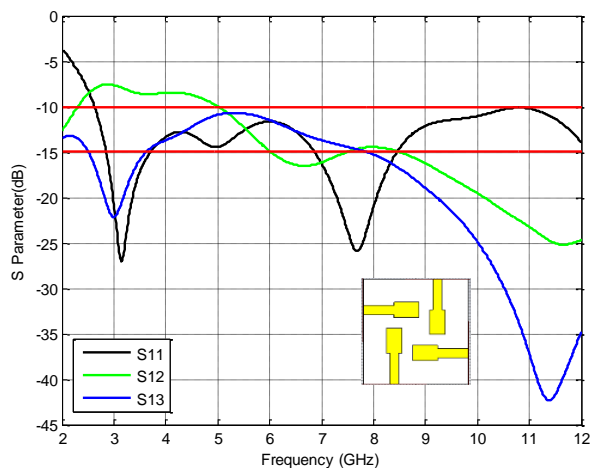
A. Desain MIMO-UWB 4 -Elemen

Tahapan pembuatan desain MIMO-UWB yang dibandingkan dimulai dengan pembuatan antenna monopole dengan ground penuh. Hasil return loss dari kedua desain dilihat dengan S11 pada Gambar 5 yang menghasilkan S11 yang tidak masuk kedalam kategori UWB yang memiliki return loss dibawah -10dB.



Gambar 5 Simulasi antenna konvensional

Perubahan desain selanjutnya pada Gambar 6, desain menghasilkan bandwidth impedansi pada frekuensi 3,8 dan 6,35 Ghz. Dan desain A antenna b ini sudah termasuk ke dalam antenna UWB dengan return loss yang bagus dalam rentangan frekuensi 3,27-9,24 GHz. Tahapan menjadikan antenna MIMO-UWB dapat dilakukan pada Desain A dengan melakukan penggantian elemen patch tanpa merubah ukurannya dengan posisi yang saling tegak lurus.



Gambar 6 Step perubahan antenna menjadi UWB dan MIMO dilihat dari S11 dan S12/S13

B. Desain untuk Multiple Band Notched

Membandingkan dua desain yang menghasilkan band Notched dalam frekuensi kerja UWB dengan menambahkan double etching slits pada radioator kedua desain antenna. Double etching slits ini menghasilkan dual band notched dalam frekuensi UWB.

Desain antenna yang menghasilkan *bands notched* berada pada Gambar 7. Penambahan dua etching slits pada radiator antenna menghasilkan bands notched pada rentangan 3,39-3,64 GHz dan 4,57 – 5,82 GHz. Melalui dimensi dari slits dalam mendesain maka dapat dihitung frekuensi resonansinya melalui [8]:

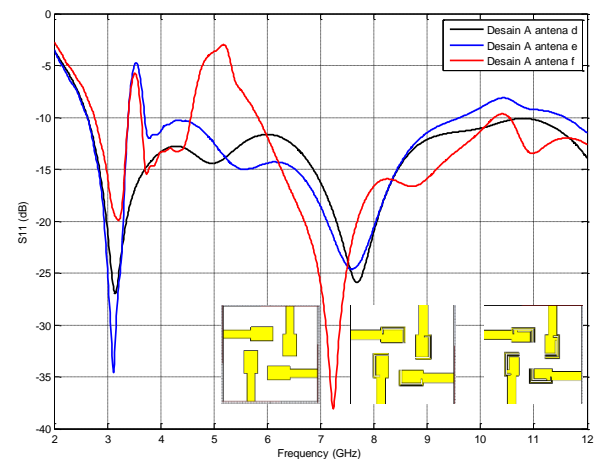
$$L_S = L_6 + L_7 + W_5 \tag{11}$$

$$L_S = L_8 + W_7 \tag{12}$$

$$f_{S1} = \frac{c}{4L_S\sqrt{\epsilon_{reff}}} \tag{13}$$

Dimana f_{S1} adalah frekuensi resonansi yang dicari dari 2 slits yang desain. Kemudian ϵ_{reff} adalah setengah dari ϵ_r dari substrat 4,4 FR-4 dan c adalah kecepatan rambat Cahaya. L_S total Panjang dari setiap slit pada radiator. Dengan perhitungan masing-masing slits didapat frekuensi resonansi pada slits huruf -C pada 3,7 GHz dan dibandingkan dengan simulasi menghasilkan 3,51 Ghz. Kemudian slits huruf-L secara perhitungan menghasilkan pada 5,7 GHz dan dari simulasi menghasilkan frekuensi 5,16 GHz.

Hasil yang didapat memperlihatkan data perhitungan dengansimulasi yang mendekati.

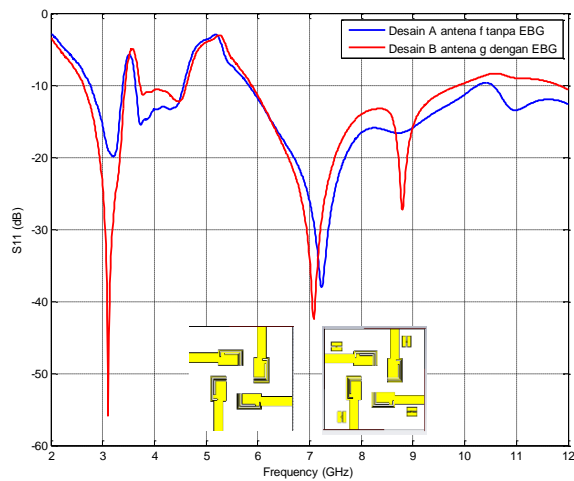


Gambar 7 perubahan Desain Antena dalam mencapai bands notched a) Tanpa slit b) slit huruf- C c) Double slit huruf-C dan huruf-L

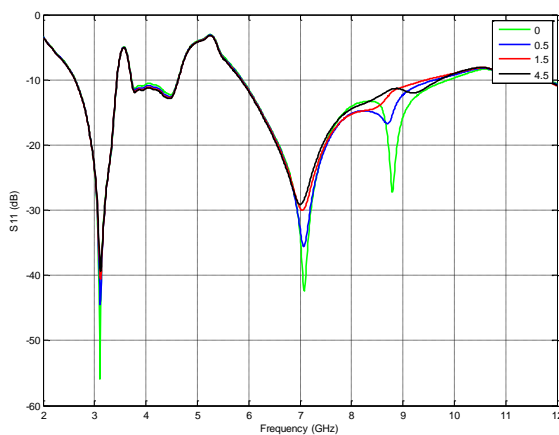
C. Desain untuk Elektromagnetik Band-Gab (EBG)

EBG yang ditambahkan pada Desain A dengan bentuk huruf-H dengan bahan metallic dan terdapat VIA yang terhubung dari patch hingga ground yang menembus substrat dari antenna dengan bahan metal pada tengah EBG.

Gambar 11 a) membandingkan S11 desain tanpa dan dengan menggunakan EBG. Dengan penambahan EBG pada Desain A berpengaruh dalam menghasilkan impedansi bandwidth atau return loss yang semakin baik. Dan Gambar 12 pengaruh perubahan letak dari EBG pada patch dengan semakin besar nilai yang menandakan letak EBG semakin jauh dari setiap feedline. Sehingga didapat nilai terbaik dalam meletakkan EBG pada Desain A.



Gambar 8 Pengaruh penambahan EBG melalui S11 pada Desain A

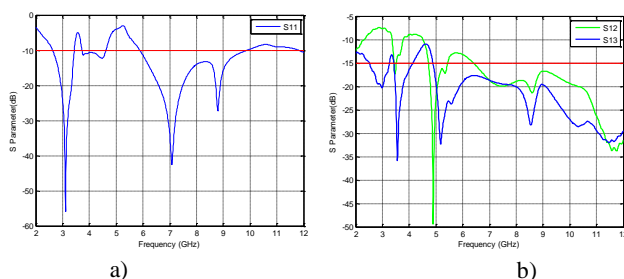


Gambar 9 Hasil dari S11 terhadap posisi EBG

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. S-Parameters

Desain dengan ukuran $34 \times 34 \times 1,6 \text{ mm}$ menggunakan jenis substrat FR-4. Perbandingan yang dilakukan dari hasil simulasi dan pengukuran untuk kedua desain melalui S11 sebagai nilai return loss dan nilai isolasi antena melalui S12/S13 seperti yang ditampilkan pada Gambar 13. Dari Gambar 13 a) nilai dari return loss dari antena pada 2,6-9,88 GHz nilai yang berada di bawah -10dB dan rentangan tersebut bands notched yang dihasilkan.



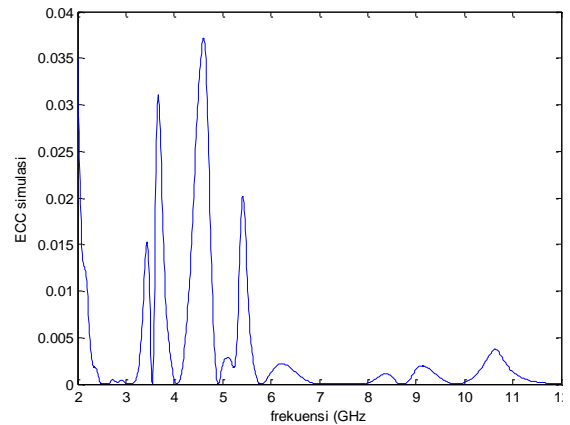
Gambar 10. Hasil akhir dari S-parameter final desain a) S11 b) nilai S12/S13

Dari Gambar 10 b) dapat dilihat nilai isolasi antar elemen antena dan juga isolasi antara

diagonal elemen antena. Selanjutnya hasil simulasi dari desain antena bands notched pada rentangan 3,39-3,64 GHz dan 4,57 – 5,82 GHz yang termasuk kedalam frekuensi UWB WiMAX dan WLAN.

B. Envelope Correlation Coefficient (ECC)

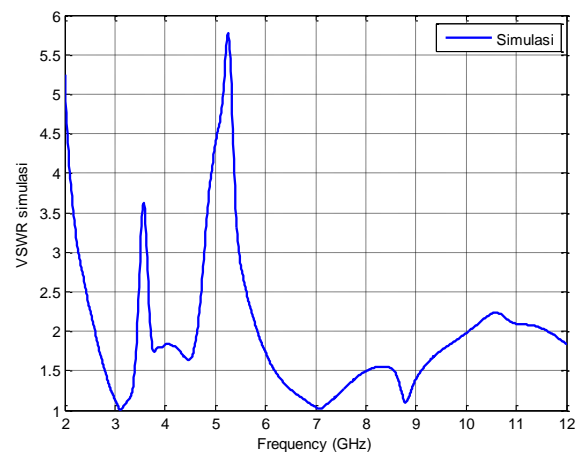
Perbandingan ECC dari kedua antena ini dapat dilihat dari hasil simulasi dan pengukuran pada Gambar 11. Gambar 11 Desain antena menghasilkan ECC kurang dari 0,04. Nilai ECC dari simulasi desain ini memiliki nilai ECC yang bagus $< 0,5$.



Gambar 11 Grafik ECC

C. VSWR

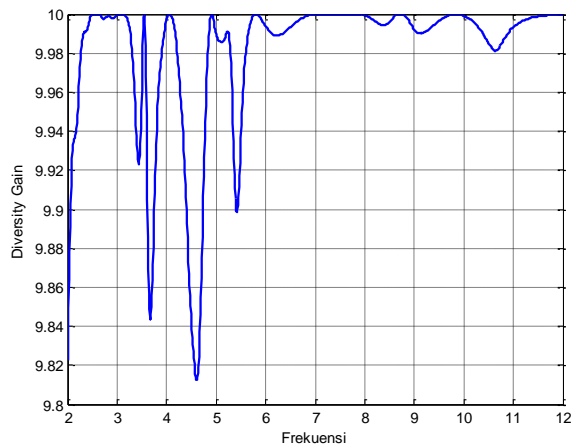
Nilai VSWR dari simulasi dari desain dapat dilihat pada Gambar 15 dengan nilai VSWR yang baik < 2 . Kecuali pada rentangan bands notched yang dihasilkan karena harus menolak sinyal pada frekuensi tersebut.



Gambar 12 Grafik VSWR

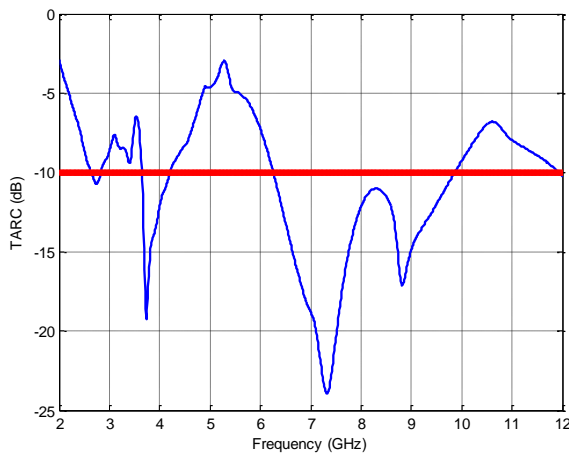
D. Diversity Gain

Hasil dari Diversity Gain dari desain melalui simulasi dapat dilihat pada Gambar 16. Dengan nilai DG yang $< 9.9 \text{ dBi}$ kecuali pada frekuensi bands notched.



Gambar 13 Diversity Gain

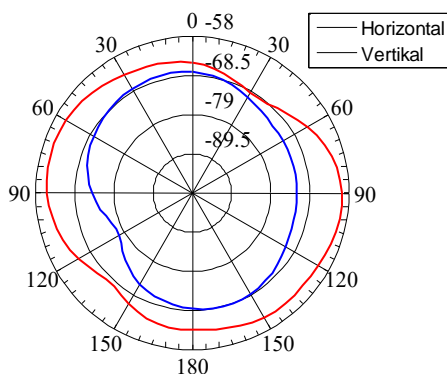
E. Total Active Reflection Coefficient (TARC)
 Pada Gambar 14 a) dan b) TARC dari Desain A dan B yang menghasilkan TARC < 0 dB dalam rentangan frekuensi UWB dan bandwidth efektif memperlihatkan kedua desain MIMO-UWB baik dalam sistem MIMO.



Gambar 14 TARC

F. Pola Radiasi

Hasil pada Gambar 15 memperlihatkan pola radiasi dari ke 2 desain dengan mengambil salah satu port dari 4 port yang ada pada desain. Pola radiasi yang di ambil berupa bentuk horizontal dan vertikal.



Gambar 15 Nilai pola radiasi kedua desain simulasi Desain A (Biru = horizontal; Merah = Vertikal)

G. Perbandingan Kinerja Desain MIMO-UWB

Perbandingan pembuatan desain antenna dari beberapa referensi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel.2 perbandingan dengan jurnal penelitian sebelumnya.

Ref	Dimensi (mm)	Bands Nocthed	Range Bandwidth (GHz)	Frekuensi kerja (GHz)	Mutual coupling (dB)
[1]	80x80x1,6	WiMAX,B and untuk Military/ radar	3,3-3,7 8,2-8,6	2,1-20	<-25
Ref [6]	34x34x1,6	WiMAX WLAN X-Band	3,3-3,9 5-6 7,4-8,5	2,6-9,6	<-12,5
[11]	39x39x1,6	WiMAX WLAN X-Band	3,25-3,75 5,08-5,90 7,06-7,95	2,3-13,75	<-22
[15]	27x30x0,8	WiMAX WLAN	3,30-3,70 5,15-5,85	3-11	<-20
[16]	30x40x 0,8	WiMAX WLAN	3,4-3,7 5,15-5,825 5,725-5,83	3,1-10,6	<-15
[17]	18x34x 1,6	WLAN X-Band	5,1-5,8 6,7-7,1	2,9-20	<-22
[21]	26x26x0,762	WLAN X-Band	5,3-5,8 7,85-8,55	2,9-11,6	<-16
Desain yang dibuat	34x34x1,6	WLAN C-Baand	3,45- 4,45 4,75-6,25	2,7-12 GHz	<-16, 51

V. KESIMPULAN

Hasil dari membandingkan dua desain terbaru MIMO-UWB dengan 4 elemen antenna yang disusun dalam ukuran yang nyaris sama didapatkan return loss < -10dB yang bagus dan saling menghasilkan dual bands notched pada frekuensi UWB yaitu pada WiMAX, WLAN, dan Downlink satelit untuk ITU. Hasil ECC dari setiap desain < 0.04. dari hasil simulasi dapat dijadikan dan dikembangkan untuk desain antenna karena menghasilkan performa yang baik dalam MIMO-UWB.

ACKNOWLEDGEMENT

Terimakasih kepada kampus Politeknik Negeri Padang yang telah memfasilitasi dan meng-support penelitian ini.

REFERENCES

[1] V. S. D. Rekha, P. Pardhasaradhi, B. T. P. Madhav, and Y. U. Devi, "Dual Band Notched Orthogonal 4-Element MIMO Antenna with Isolation for UWB Applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 145871–145880, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3015020.

[2] S. Saleh, M. H. Jamaluddin, F. Razzaz, S. M. Saeed, N. Timmons, and J. Morrison, "Compactness and performance enhancement techniques of ultra-wideband tapered slot antenna: A comprehensive

- review,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 74. Elsevier B.V., pp. 195–229, Jul. 01, 2023. doi: 10.1016/j.aej.2023.05.020.
- [3] A. Khan, S. Bashir, S. Ghafoor, and K. K. Qureshi, “Mutual Coupling Reduction Using Ground Stub and EBG in a Compact Wideband MIMO-Antenna,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 40972–40979, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3065441.
- [4] S. Jayant and G. Srivastava, “Close-Packed Quad-Element Triple-Band-Notched UWB MIMO Antenna with Upgrading Capability,” *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 71, no. 1, pp. 353–360, Jan. 2023, doi: 10.1109/TAP.2022.3222768.
- [5] “Introduction to Ultra-Wideband Communications,” Nekoogar book, 2005, pp. 1–44.
- [6] J. Zhu, S. Li, B. Feng, L. Deng, and S. Yin, “Compact Dual-Polarized UWB Quasi-Self-Complementary MIMO/Diversity Antenna with Band-Rejection Capability,” *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 15, pp. 905–908, 2016, doi: 10.1109/LAWP.2015.2479622.
- [7] G. Srivastava and A. Mohan, “Compact MIMO Slot Antenna for UWB Applications,” *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 15, pp. 1057–1060, 2016, doi: 10.1109/LAWP.2015.2491968.
- [8] Z. Chen, W. Zhou, and J. Hong, “A Miniaturized MIMO Antenna with Triple Band-Notched Characteristics for UWB Applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63646–63655, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3074511.
- [9] A. Arfianto, Nurhayati, L. Anifah, and I Gusti PutuAsto Buditjahjanto, “Optimasi Kinerja Antena Mikrostrip dengan Modifikasi Patch dan Ground Plane Untuk Aplikasi Ultra-wideband (UWB),” *Jurnal Tekni Elektor*, vol. 11 Nomor 1, pp. 155–162, 2022.
- [10] C. R. Medeiros, E. B. Lima, J. R. Costa, and C. A. Fernandes, “Wideband slot antenna for WLAN access points,” *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 9, pp. 79–82, 2010, doi: 10.1109/LAWP.2010.2043332.
- [11] Z. Tang, X. Wu, J. Zhan, S. Hu, Z. Xi, and Y. Liu, “Compact UWB-MIMO Antenna with High Isolation and Triple Band-Notched Characteristics,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 19856–19865, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2897170.
- [12] H. T. Chattha, F. Latif, F. A. Tahir, M. U. Khan, and X. Yang, “Small-Sized UWB MIMO Antenna with Band Rejection Capability,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 121816–121824, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2937322.
- [13] A. S. Abd El-Hameed, M. G. Wahab, A. Elboushi, and M. S. Elpeltagy, “Miniaturized triple band-notched quasi-self complementary fractal antenna with improved characteristics for UWB applications,” *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 108, pp. 163–171, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.aeue.2019.06.016.
- [14] A. Desai, J. Kulkarni, M. M. Kamruzzaman, S. Hubalovsky, H. T. Hsu, and A. A. Ibrahim, “Interconnected CPW Fed Flexible 4-Port MIMO Antenna for UWB, X, and Ku Band Applications,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 57641–57654, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3179005.
- [15] J. F. Li, Q. X. Chu, Z. H. Li, and X. X. Xia, “Compact dual band-notched UWB MIMO antenna with high isolation,” *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 61, no. 9, pp. 4759–4766, 2013, doi: 10.1109/TAP.2013.2267653.
- [16] J. Y. Deng, L. X. Guo, and X. L. Liu, “An Ultrawideband MIMO Antenna with a High Isolation,” *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 15, pp. 182–185, 2016, doi: 10.1109/LAWP.2015.2437713.
- [17] R. Chandel, A. K. Gautam, and K. Rambabu, “Tapered Fed Compact UWB MIMO-Diversity Antenna with Dual Band-Notched Characteristics,” *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 66, no. 4, pp. 1677–1684, Apr. 2018, doi: 10.1109/TAP.2018.2803134.
- [18] A. S. Abd El-Hameed, M. G. Wahab, A. Elboushi, and M. S. Elpeltagy, “Miniaturized triple band-notched quasi-self complementary fractal antenna with improved characteristics for UWB applications,” *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 108, pp. 163–171, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.aeue.2019.06.016.
- [19] A. Yuhaneef, D. Meidelfi, and M. Silvana, “The Small UWB Monopole Antenna with Stable Omnidirectional Radiation Pattern,” *INTERNATIONAL JOURNAL ON INFOMATICS VISUALIZATION*, vol. 6, no. 4, pp. 815–820, Dec. 2022, [Online]. Available: www.joiv.org/index.php/joiv

- [20] F. Nursal, R. Kurnia, and I. Elfitri, "Ultra Wideband (UWB) Multiple Input and Multiple Output (MIMO) Antenna Design: A Review," *Andalas Journal of Electrical and Electronic Engineering Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 35–43, May 2023, doi: 10.25077/ajeeet.v3i1.33.
- [21] Z. Li, C. Yin, and X. Zhu, "Compact UWB MIMO Vivaldi Antenna with Dual Band-Notched Characteristics," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 38696–38701, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2906338.