

Antena Monopole Persegi Panjang *Ultra Wideband* (UWB) Sebagai Sensor Tingkat *Bending*

1st Rayhani Siti Nur Azizah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

rayhanisitinura@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Aloysius Adya Pramudita,
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id

3rd Harfan Hian Ryanu
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

harfanhr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Antena menjadi salah satu implementasi telekomunikasi sebagai alat pengirim sinyal yang dapat digunakan untuk mengirimkan informasi data. Salah satunya *bending* pada antena adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh adanya faktor penyimpangan yang akan berpengaruh pada karakteristik parameter yang akan diukur. Antena dapat dimanfaatkan sebagai pada *bending* yang memiliki fleksibilitas mekanik dan dapat melekat pada struktur benda yang menunjukkan hasil pemantauan data untuk melihat karakteristik yang dihasilkan menggunakan antena *bending*.

Tugas Akhir ini melakukan perancangan *bending* antena monopole sebagai sensor tingkat *bending*. Desain antena menggunakan *patch* persegi panjang (*rectangular*) dengan frekuensi kerja pada 4,08 GHz *Ultra Wide Band* (UWB). Adapun substrat yang digunakan yaitu *condura delinova 200*. Perancangan simulasi dilakukan menggunakan *software 3D* dan analisis pada desain antena *bending* dengan *patch* persegi panjang (*rectangular*) pada tingkat *bending* sensor.

Percobaan analisis pada desain antena *bending* dengan *patch* segi empat (*rectangular*) dapat digunakan sebagai sensor tingkat *bending*, hasil yang didapat untuk simulasi desain frekuensi kerja 4,08 GHz yaitu *return loss* -46,967003 dB dengan *fractional bandwidth* 61,98%. Percobaan hasil pengukuran untuk frekuensi kerja bergeser menjadi 3,135 GHz didapat nilai *return loss* sebesar -19,2654 dB dan *fractional bandwidth* 97%.

Kata Kunci: *bending*, *ultra wideband* (UWB), dan *fractional bandwidth*.

I. PENDAHULUAN

Antena menjadi salah satu implementasi telekomunikasi pada beberapa bidang yang dapat digunakan sebagai alat pengirim sinyal untuk mengirimkan informasi [1]. Salah satunya *bending* pada antena adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh adanya faktor penyimpangan yang akan berpengaruh pada karakteristik parameter yang akan diukur [2]. Antena dimanfaatkan pada *bending* yang memiliki fleksibilitas mekanik dan dapat melekat pada bagian atau struktur yang akan digunakan untuk menunjukkan hasil pemantauan karakteristik parameter sensitifitas [3].

Antena *bending* bekerja pada struktur papan kayu yang fleksibel dan memiliki kemampuan untuk ditekuk atau dibengkokkan dengan berbagai tingkat *bending*. Dengan kemampuan fleksibilitas tersebut, antena dapat menyesuaikan perubahan pada bentuk struktur benda [4]. Untuk pengukuran dapat dilihat dari hasil simulasi dan antena yang telah di fabrikasi sehingga mengetahui pada tingkatan

mana *bending* cenderung lebih sensitif. Untuk mengetahui tingkat sensitif pada antena ini dengan melihat hasil dari perubahan yang terjadi pada nilai *return loss*. Sebelumnya sudah ada penelitian pada tugas akhir mengenai *bending*, dengan judul “Pengaruh Penekukan Antena Mikrostrip 2,4 GHz Sebagai Perangkat *Wearable* Terhadap Karakteristiknya” [5] dan dilakukan analisis untuk pengaruh tekukan terhadap karakteristik antena *wearable*.

Tugas Akhir ini melakukan perancangan *bending* antena monopole sebagai sensor tingkat *bending*. Desain antena menggunakan *patch* berbentuk persegi panjang (*rectangular*), dan untuk frekuensi kerja yaitu sebesar 4,08 GHz. Perancangan simulasi dilakukan menggunakan *software 3D* pada desain antena *bending* dengan *patch* persegi panjang (*rectangular*) pada sensor tingkat *bending* yang digunakan untuk mengamati sensitifitas dengan analisis perubahan nilai *return loss* dan *fractional bandwidth* yang dihasilkan *bending* pada struktur papan kayu/triplek yang dipakai. Antena yang menggunakan substrat kain memiliki karakteristik yang lentur dan mudah ditekuk [4] sehingga dapat digunakan untuk parameter kinerja antena *bending*, seperti substrat kain *condura delinova 200*.

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini yaitu untuk merancang antena monopole *Ultra-Wide Band* (UWB) dan mengamati pengaruh perubahan bentuk pada penekukan antena di permukaan terhadap *return loss* dan *fractional bandwidth*.

II. KAJIAN TEORI

A. Antena

Antena adalah salah satu hal yang penting pada sebuah alat komunikasi. Antena dapat didefinisikan sebagai perangkat yang berfungsi untuk memancarkan atau yang dapat menerima gelombang radio di antara ruang bebas [1]

B. *Bending* Antena

Bending antena adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh adanya faktor penyimpangan yang akan berpengaruh pada karakteristik parameter yang akan diukur. Pada pergeseran frekuensi telah dihasilkan bertujuan kepada antena untuk berbagai perangkat yang dapat dikenakan. Pada efek pergeseran frekuensi resonansi untuk bidang E dan pembengkokkan bidang [6].

C. Antena Ultra-WideBand (UWB)

Antena *ultra-wideband* (UWB) yaitu komunikasi transmisi yang menggunakan data frekuensi *Federal Communication Commission* (FCC) 3,1-10,6 GHz. Antena UWB membutuhkan pusat fase dan rasio gelombang tegangan (VSWR) agar konstan di seluruh lebar pita operasi [7]. Setiap distorsi sinyal dalam domain frekuensi (penyaringan) menyebabkan distorsi bentuk pulsa yang ditransmisikan, sehingga meningkatkan mekanisme pendeteksian pada penerima. Ultra Wideband (UWB) secara umum sistem komunikasi yang mempunyai jarak pendek dan nilai suatu jaringan bandwidth yang lebar [8].

D. Parameter Antena

1. Pola Radiasi

Pola radiasi ditentukan di daerah medan jauh dan direpresentasikan sebagai fungsi dari koordinat arah. Sifat radiasi meliputi kerapatan fluks daya, intensitas radiasi, kekuatan medan, directivity, fase atau polarisasi.

2. Polarisasi

Polarisasi pada antena merupakan arah getaran gelombang dari antena yang dipancarkan [1]. Polarisasi berkaitan dengan arah vektor medan listrik yang dibangkitkan saat pemancaran. Macam-macam polarisasi ada tiga yaitu Polarisasi Linear $axial\ ratio \geq 40\text{ dB}$, Polarisasi Elips $3\text{ dB} \leq |AR| < 40\text{ dB}$, dan Polarisasi Sirkular $0\text{ dB} \leq |AR| < 3\text{ dB}$.

3. Gain

Gain antena (dalam arah tertentu) didefinisikan sebagai “perbandingan intensitas, dalam arah tertentu, dengan intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima oleh antena diradiasikan secara isotropic [1]. Satuan untuk *gain* yaitu dB.

4. VSWR

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah perbandingan atau ratio antara tegangan rms maksimum dan minimum yang terjadi pada saluran yang tidak *match*. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) nilai yang baik sama dengan 1 atau ≤ 2 . Rumus *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) yang dinyatakan dengan

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.1)$$

5. Return loss

Return loss adalah ukuran efektivitas pengiriman daya dari saluran transmisi ke beban, seperti antena [9] Nilai *return loss* yang bagus yaitu $\leq -10\text{ dB}$. Dengan rumus yang dinyatakan seperti

$$RL\text{ (dB)} = 20\log_{10} |\Gamma| \quad (2.2)$$

dengan, $|\Gamma|$ = koefisien pantul.

6. Bandwidth

Bandwidth pada antena yaitu rentang frekuensi di mana kinerja antena, terkait dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang ditentukan [1].

Biasanya pada frekuensi pita lebar digunakan *fractional bandwidth* dengan rumus seperti [10].

$$FBW = \left(\frac{f_2 - f_1}{f_c} \right) \times 100\% \quad (2.3)$$

untuk nilai $B_f \geq 50\%$ [11].

E. Desain Antena Monopole Ultra Wideband (UWB)

Antena monopole planar merupakan rancangan yang terbaik untuk digunakan dalam teknologi nirkabel Ultra Wide Band (UWB) karena bandwidth impedansinya yang lebar [12].

1. Patch

Patch dengan bentuk geometri planar pada satu sisi substrat dielektrik berfungsi untuk dapat meradiasikan gelombang elektromagnetik ke ruang bebas. *Patch* biasa terbuat dari bahan konduktor seperti tembaga.

2. Ground Plane

Ground plane merupakan lapisan pada *patch* paling bawah yang berfungsi sebagai refleksi untuk memantulkan hasil sinyal yang tidak diinginkan [1]. *Ground plane* terbuat dari bahan konduktor yang memiliki ketebalan seperti *patch*.

3. Subtrat

Subtrat memiliki fungsi sebagai penghantar gelombang elektromagnetik dari sistem pencatutan [1]. Karakteristik pada substrat juga dapat mempengaruhi pada parameter antena.

E. Patch Antena Monopole Segi Empat (Rectangular)

Pada rancangan antena dengan patch antenna berbentuk printed rectangular monopole antenna (PRMA2) perlu diketahui nilai konstanta dielektrik substrat (ϵ), dan tebal substrat (h). Untuk mengetahui nilai panjang W , dapat menggunakan persamaan L dan r seperti dibawah.

$$L = W, r = \frac{L}{2\pi} \quad (2.4)$$

frekuensi pita yang dinyatakan dengan.

$$fL = \frac{c}{\lambda} = \frac{7.2}{(L+r+p)}\text{ GHz} \quad (2.5)$$

Untuk menentukan dimensi lebar *ground* (W_g) dan panjang *ground* (L_g) menggunakan persamaan seperti berikut:

$$W_g = 6h + W \quad (2.6)$$

$$L_g = Lf + 2L + 6h \quad (2.7)$$

Dengan,

$$W_g = \text{Lebar Ground Plane (mm)}$$

$$L_g = \text{Panjang Ground Plane (mm)}$$

$$h = \text{Ketebalan Substrat (mm)}$$

F. Teknik Pencatutan

Teknik pencatutan berguna untuk memudahkan dalam proses analisis dan fabrikasi sehingga dapat meningkatkan

efisiensi kerja dari antenna. Untuk menghitung lebar *feed* antenna dapat digunakan persamaan seperti dibawah.

$$Wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon r - 1}{2\epsilon r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon r} \right] \right\} \quad (2.8)$$

nilai B dapat dihitung yang dinyatakan dengan persamaan.

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon r}} \quad (2.9)$$

mencari permeabilitas efektif diperoleh dengan persamaan.

$$\epsilon eff = \frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-0,5} \quad (2.10)$$

nilai panjang digunakan persamaan sebagai berikut ini:

Panjang gelombang free space

$$\lambda_0 = \frac{c}{fr} \quad (2.11)$$

Panjang gelombang antenna dari frekuensi

$$\lambda g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon r}} \quad (2.12)$$

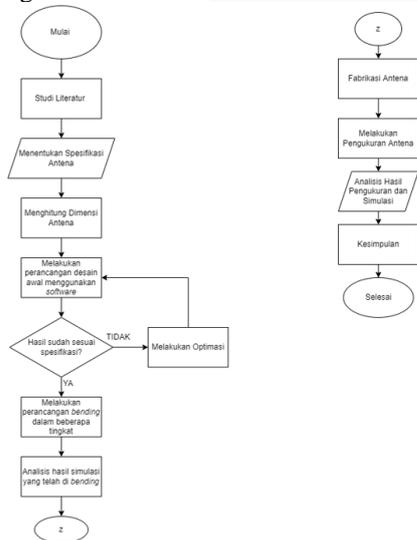
Panjang *feed* antenna

$$Lf = \frac{\lambda g}{4} \quad (2.13)$$

III. METODE

A. Desain Sistem

Pada perancangan antenna *bending* dengan *patch* persegi panjang (*rectagular*) pada sensor tingkat *bending* akan dilakukan melalui tahapan seperti proses untuk simulasi dan fabrikasi. Berikut merupakan desain sistem metode perancangan dalam bentuk diagram alir untuk antenna *bending* seperti pada gambar berikut.



Gambar 3. 1 Diagram alir perancangan antenna.

Sesuai pada diagram alir diatas untuk langkah pertama perancangan antenna *bending* dengan *patch* persegi panjang (*rectagular*) pada sensor tingkat *bending* yaitu melakukan studi literatur atau mencari referensi mengenai topik yang terkait. Selanjutnya, menentukan spesifikasi pada antenna yang akan dirancang untuk mengetahui karakteristik parameter yang dicari seperti *return loss*, dan *bandwidth*. Kemudian, melakukan perhitungan dimensi pada antenna sesuai spesifikasi yang akan digunakan sesuai dengan rumus

pada persamaan (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), dan (2.8). Setelah hasil hitungan sudah di validasi dilanjutkan dengan merancang antenna pada simulasi menggunakan *software*.

Setelah melakukan simulasi untuk membuat desain awal, kemudian dilakukan untuk optimasi yaitu merubah nilai dimensi parameter untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Optimasi bertujuan untuk membuat sesuatu yang sesuai dengan spesifikasi, dilanjutkan untuk melakukan *bending* pada desain akhir yang telah di optimasi sebelumnya. Hasil pada simulasi untuk perancangan desain telah didapat, kemudian dapat dilanjutkan pada tahap fabrikasi untuk ambil data saat pengukuran.

B. Spesifikasi Parameter Antena

Pada perancangan dan analisis *bending* menggunakan *patch* Antena Monopole Persegi Panjang (*Rectangular*) menggunakan spesifikasi parameter yang akan digunakan agar antenna dapat berjalan sesuai yang diinginkan. Spesifikasi parameter antenna dilampirkan seperti pada Tabel 3.1 dibawah.

Tabel 3. 1 Spesifikasi parameter antenna yang digunakan.

Parameter	Nilai
<i>Return Loss</i>	≤ -10 dB
<i>Fractional Bandwidth</i>	≥ 50%

C. Karakteristik Bahan Komponen Antena

Perancangan antenna untuk bahan yang digunakan pada *patch* dan *ground plane* yaitu *copper tape* dengan ketebalan (*t*)=0,1 mm, dan bahan *substrate* yaitu condura delinova 200 dengan spesifikasi pada Tabel 3.2 seperti berikut:

Tabel 3. 2 Spesifikasi bahan substrate.

Ketebalan <i>substrate</i> (<i>h</i>)	0.5 mm
Massa	0.370 kg/m ²
Konstanta dielektrik (<i>εr</i>)	1,6

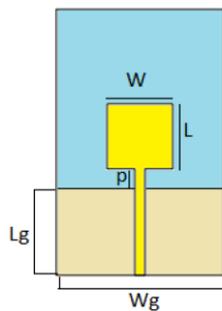
D. Perancangan Simulasi Antena Setelah di Optimasi

Pada perancangan simulasi antenna setelah di optimasi atau mengubah hasil dimensi parameter antenna pada hitungan awal untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Dalam perancangan antenna ini untuk parameter yang dilakukan optimasi yaitu nilai *p* (jarak *patch* ke *ground plane*). Untuk hasil desain nya hampir sama seperti pada desain awal, tetapi untuk hasil seperti *return loss*, *VSWR*, dan *fractional bandwidth* berbeda. Setelah dilakukan optimasi beberapa kali, didapat hasil sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Tabel 3. 3 Parameter dimensi antenna setelah di optimasi.

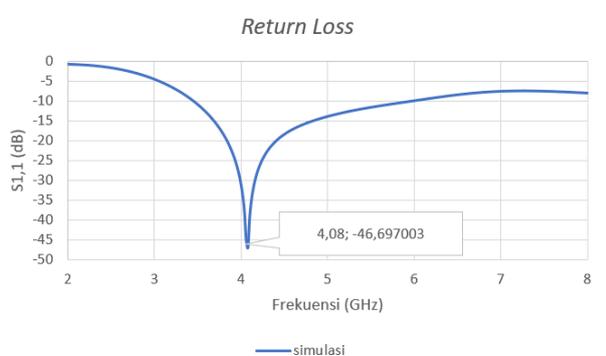
Dimensi Antena	Parameter	Nilai (mm)
Lebar <i>patch</i>	<i>W</i>	11
Panjang <i>patch</i>	<i>L</i>	11
Lebar <i>ground plane</i> dan substrat	<i>Wg</i>	14

Panjang <i>ground plane</i> dan substrat	L_g	43
Lebar <i>feedline</i>	W_f	1,7
Panjang <i>feedline</i>	L_f	18
Jarak <i>patch</i> ke <i>ground plane</i>	p	2
Tebal dielektrik	t	0,1
Tebal substrat	h	0,5
Konstanta dielektrik (condura delinova 200)	ϵ_r	1,6

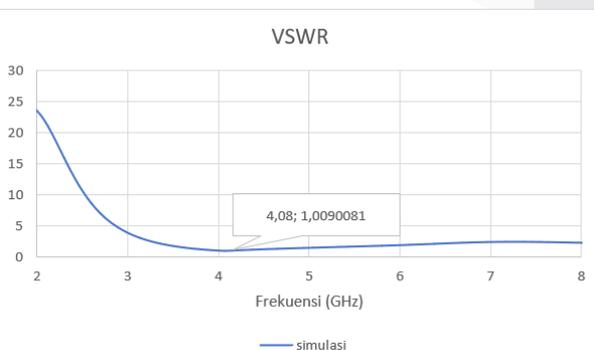


Gambar 3. 2 Desain antenna setelah optimasi.

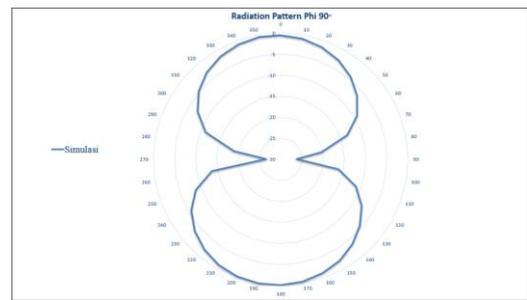
Dari hasil optimasi antenna pada Tabel 3.4 untuk desain antenna pada simulasi mendapatkan hasil seperti berikut.



Gambar 3. 3 Grafik *return loss* pada desain setelah optimasi.



Gambar 3. 4 Hasil VSWR pada desain setelah optimasi.



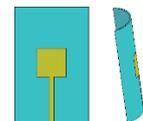
Gambar 3. 5 Pola radiasi desain antenna.

Tabel 3. 4 Hasil parameter spesifikasi antenna setelah di optimasi.

Parameter	Nilai
<i>Return Loss</i>	-46,967003 dB.
VSWR	1,0090081
<i>Fractional Bandwidth</i>	61,98%

E. Perancangan Simulasi Antena Tingkat Bending

Pada perancangan simulasi antenna tingkat *bending* dilakukan dengan melakukan penekukan pada desain antenna optimasi akhir. Setelah itu dilakukan *bending* dalam beberapa tingkat untuk mengetahui nilai sensitifitas pada antenna di setiap tekukan.

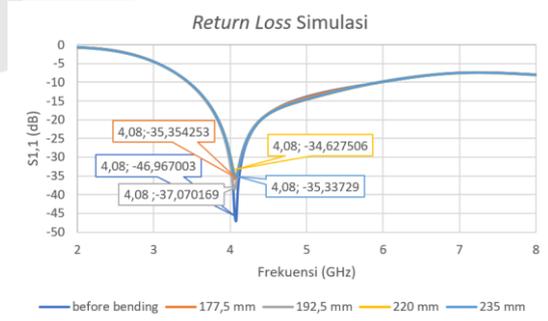


(a) Simulasi bentuk papan *bending* (b) desain antenna *bending*
 Gambar 3. 6 Contoh struktur desain *bending*, (a) Simulasi bentuk papan *bending*, dan (b) desain antenna *bending*.

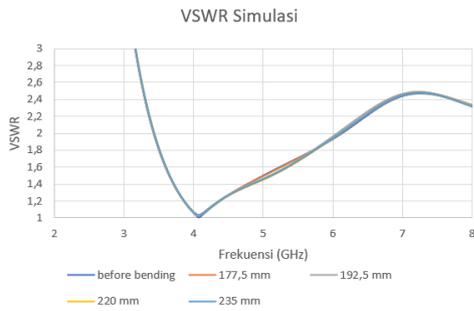
Pada simulasi *bending* ini dilakukan beberapa percobaan dalam berbagai tingkat tekukan. Percobaan pada simulasi *bending* ini dilakukan menggunakan frekuensi 4,08 GHz untuk melihat hasil spesifikasi yang didapat. Setiap tingkatan *bending* dalam simulasi berdasarkan satuan milimeter (mm), dan saat di *bending* angka yang dimasukkan ke simulasi yaitu nilai radius atau jari-jari dari panjang struktur papan tersebut.

F. Hasil Simulasi pada Bending

Pada simulasi ini dilakukan setelah hasil optimasi sesuai dengan spesifikasi pada Tugas Akhir. Pada proses *bending* ini untuk melihat tingkat nilai *return loss* tekukan yang terjadi pada antenna.



Gambar 3.7 Grafik *return loss* pada setiap desain tingkat *bending*.



Gambar 3. 8 Hasil VSWR pada desain tingkat bending.

Pada simulasi untuk nilai *bending* diubah dari cm ke mm, dan setelah itu nilai yang telah diubah menjadi satuan mm. Untuk tingkat nilai *bending* yang akan digunakan akan diubah menjadi radius atau jari-jari dari panjang *bending* tersebut. Hasil desain antenna *bending* menghasilkan spesifikasi sesuai Gambar 3.9 dan Gambar 3.10 diatas, dan untuk hasilnya sesuai dengan Tabel 3.6 seperti berikut.

Radius Tingkat Bending (mm)	Return Loss (dB)	VSWR	Fractional Bandwidth
177,5	-35,354253	1,0347373	61,72%
192,5	-37,070169	1,0284217	60,78%
220	-34,627506	1,0378261	61,31%
235	-35,337729	1,034804	61,35%

Tabel 3. 5 Hasil parameter antenna tingkat *bending*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Realisasi Antena

Setelah perancangan desain simulasi menggunakan *software* dan mendapatkan hasil sesuai dengan spesifikasi parameter, selanjutnya proses fabrikasi dan pengukuran antenna. Hasil fabrikasi antenna monopole planar *ultra wideband (uwb)* seperti berikut.



Gambar 4.1 Tampak depan antenna fabrikasi.



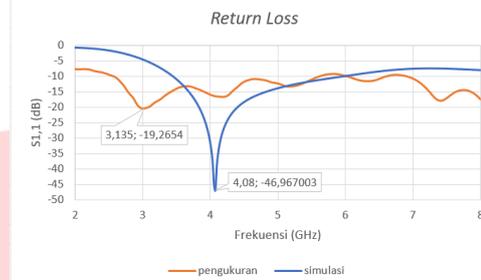
Gambar 4.2 Tampak belakang antenna fabrikasi.

B. Hasil Pengukuran Antena

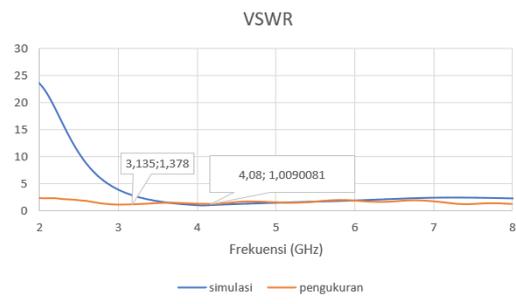
Setelah selesai melakukan pengukuran pada antenna yang telah di fabrikasi, selanjutnya bandingkan hasil pada simulasi dan data yang didapat pada pengukuran. Berikut perbandingan hasil dari simulasi dan pengukuran.

1. Hasil Pengukuran Sebelum di Bending

Hasil pengukuran antenna sebelum di *bending* berbeda dari simulasi atau bergeser frekuensi dari 4,08 GHz menjadi 3,135 GHz, dan mendapatkan nilai *return loss* sebesar -19,2654 dB, VSWR 1,378, dan nilai *fractional bandwidth* 97%.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan *return loss* sebelum *bending*.

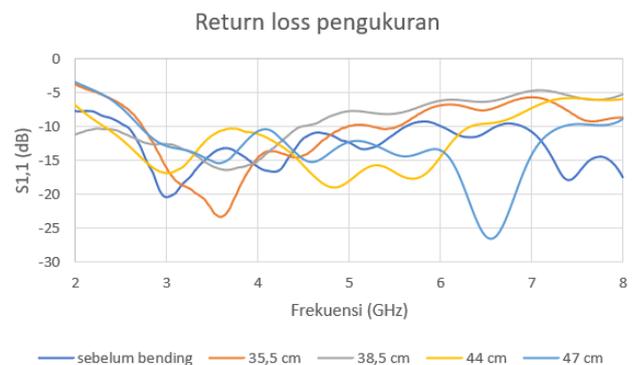


Gambar 4.4 Grafik perbandingan VSWR sebelum *bending*.

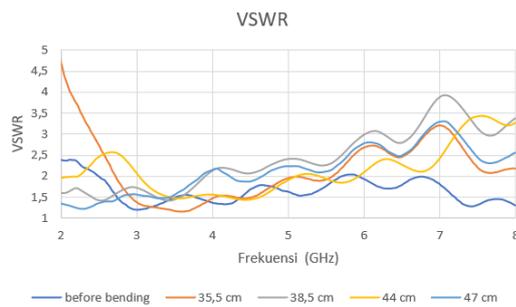
Tabel 4. 1 Hasil perbandingan sebelum di *bending*.

Spesifikasi	Nilai parameter	
	Simulasi	Pengukuran
Return Loss (dB)	-46,967003	-19,2654
VSWR	1,0090081	1,378
Fractional Bandwidth	61,98%	97%

2. Hasil perbandingan Tingkat Bending



Gambar 4.5 Grafik *return loss* pengukuran.



Gambar 4.6 Grafik VSWR pengukuran.

Dari hasil pengukuran untuk antena sebelum di *bending* dan setelah di *bending* dalam beberapa tingkatan, menghasilkan nilai atau hasil frekuensi, *return loss*, dan *fractional bandwidth* yang berbeda dari simulasi atau tidak tetap. Hal ini memperlihatkan bahwa antena monopole planar memiliki sensitifitas di struktur yang berbeda.

Tabel 4. 21 Hasil perbandingan setelah di *bending*.

Tingkat Bending (cm)	Return Loss (dB)	VSWR	Fractional Bandwidth
35,5	-23,1	1,1583	60,8%
38,5	-16,3116	1,4194	54%
44	-18,97017984	1,4640	51,95%
47	-26,52120881	1,4787	50,3%

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari perancangan desain dan fabrikasi antena menggunakan substrat condura delinova 200 yang bekerja pada rentang frekuensi *ultra wide band* (uwb) atau spesifikasinya pada frekuensi 4,08 GHz sebagai berikut:

1. Bagian struktur pada papan yang digunakan pengukuran antena fabrikasi untuk mengetahui perbandingan antena memiliki sensitifitas pada tingkat bending terlihat dari hasil *return loss* dan *fractional bandwidth* yang didapat.
2. Terjadi pergeseran frekuensi semakin besar tingkat *bending* yang digunakan, maka frekuensi akan semakin besar atau bergeser ke kanan. Sehingga frekuensi pada pengukuran terjadi di frekuensi kerja 3,135 -6,56 GHz.
3. Untuk *fractional bandwidth* pada tingkat *bending*, semakin besar tingkat *bending* akan terjadi persempitan pita *bandwidth* yang menyebabkan penurunan *fractional bandwidth*. Seperti pada simulasi tingkat *bending* 35,5 cm untuk *fractional bandwidth* 61,72% dan pengukuran 60,8%. Sedangkan, pada simulasi tingkat *bending* 47 cm didapat *fractional bandwidth* 61,35 % dan pengukuran 50,3%.
4. Saat dibandingkan hasil simulasi dan pengukuran itu tidak ditemukan hasil yang sama pada setiap *bending*. Hal itu terjadi karena, ada faktor seperti nilai permitivitas substrat itu akan berubah dari simulasi dan saat dilakukan fabrikasi, atau ada terjadi pergeseran frekuensi yang disebabkan karena panjang gelombang yang berubah.

REFERENSI

- [1] Balanis, C. A. (2015). *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons.
- [2] Li, N. Y., Zakaria, Z., Shairi, N. A., Alsariera, H., & Alahnomi, R. (2020). Design and investigation on wideband antenna based on polydimethylsiloxane (PDMS) for medical imaging application. *no*, 3, 89-92.
- [3] Zhang, J., Song, R., Zhao, X., Fang, R., Zhang, B., Qian, W., Zhang, J., Liu, C. & He, D. (2020). Flexible graphene-assembled film-based antenna for wireless wearable sensor with miniaturized size and high sensitivity. *ACS omega*, 5(22), 12937-12943
- [4] El Gharbi, M., Martinez-Estrada, M., Fernández-García, R., Ahyoud, S., & Gil, I. (2021). A novel ultra-wide band wearable antenna under different bending conditions for electronic-textile applications. *The Journal of The Textile Institute*, 112(3), 437-443.
- [5] Winalisa, S., Adya Pramudita, A., & Wijanto, H. (2019). PENGARUH PENEKUKAN ANTENA MIKROSTRIP 2,4 GHz SEBAGAI PERANGKAT WEARABLE TERHADAP KARAKTERISTIKNYA BENDING EFFECT OF MICROSTRIP ANTENNA 2.4 GHz AS A WEARABLE DEVIE TOWARD THE CHARACTERISTICS.
- [6] Song, L., & Rahmat-Samii, Y. (2018). A systematic investigation of rectangular patch antenna bending effects for wearable applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66(5), 2219-2228.
- [7] Rahman, M., Ko, D. S., & Park, J. D. (2017). A compact multiple notched ultra-wide band antenna with an analysis of the CSRR-TO-CSRR coupling for portable UWB applications. *Sensors*, 17(10), 2174.
- [8] Wardhianto, J. (2018). DESAIN ANTENA DENGAN TEKNOLOGI ULTRA WIDEBAND PADA FREKUENSI 5.6 GHZ.
- [9] Bajirao, A., & Thakur, S. S. (2017, November). U-shaped printed monopole antenna. In *2017 IEEE International Conference on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (iAIM)* (pp. 1-6). IEEE.
- [10] Sharif, S. M., & Abdalla, I. D. (2018, August). An empirical equation for predicting fractional bandwidth of PIFA antenna. In *2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEE)* (pp. 1-5). IEEE.
- [11] Pramono, S., & Hariyadi, T. (2018). Modified Ultra Wideband (UWB) Antipodal Vivaldi Antenna for 5G. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 8(5), 3067-3075.
- [12] Ray, K. P. (2008). Design aspects of printed monopole antennas for ultra-wide band applications. *International journal of antennas and propagation*, 2008.