

OPTIMASI PARAMETER ANTENA DIPOLE SEBAGAI SENSOR DALAM MENDETEKSI PARTIAL DISCHARGE PADA ISOLASI GIS

Farradita Nugraha^{1*}, Umar Khayam², Taufik Rhamdhani³

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi; farraditanugraha@unsil.ac.id

²Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung; umar@hv.ee.itb.ac.id

³ACE Energy Service; ³Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung; taufikrhamdhani1996@gmail.com

Received: 17 Januari 2024

Accepted: 29 Maret 2025

Published: 14 April 2025

Keywords:

Bandwidth;
Dipole antenna;
Partial Discharge;
Return loss; VSWR.

Correspondent Email:

farraditanugraha@unsil.ac.id

Abstrak. Antena merupakan suatu sensor yang dapat digunakan sebagai alat mendeteksi adanya partial discharge pada GIS (Gas Insulated Switchgear). Deteksi partial discharge pada GIS dilakukan untuk mengetahui kondisi dari isolasi pada peralatan tegangan tinggi tersebut. Sensor antenna diatur pada range 300 MHz-3 GHz atau pada Ultra High Frekuensi (UHF), agar sesuai dengan sinyal gelombang elektromagnetik pada GIS. Dalam pembuatan antenna sebagai sensor, hal pertama yang perlu dilakukan adalah melakukan simulasi pada antenna menggunakan aplikasi gambar 3 dimensi, sehingga didapatkan ukuran antenna terbaik dengan bandwidth yang lebar serta nilai return loss yang kecil. Setelah dilakukan perubahan pada parameter panjang maupun lebar antenna dipole, maka didapatkan hasil simulasi terbaik pada bandwidth dan return loss, yaitu ketika dilakukan pengaturan pada perubahan panjang antenna tersebut dengan ukuran 35 x 40 mm dengan bandwidth sebesar 956 MHz dan return loss sebesar -22,41 dB.

Abstract. An antenna is a type of sensor that can be utilized to detect the presence of partial discharge in Gas Insulated Switchgear (GIS). The detection of partial discharge in GIS is carried out to assess the condition of insulation within high-voltage equipment. The antenna sensor is configured within the frequency range of 300 MHz to 3 GHz, or in the Ultra High Frequency (UHF) range, to align with the electromagnetic wave signals, present in GIS. In the development of the antenna as a sensor, the initial step involves conducting simulations using a three-dimensional modeling application to determine the optimal antenna dimensions that yield a wide bandwidth and low return loss. After modifying the parameters of the dipole antenna's length and width, the best simulation results in terms of bandwidth and return loss were obtained by adjusting the antenna dimensions to 35 x 40 mm, achieving a bandwidth of 956 MHz and a return loss of -22,41 dB.

1. PENDAHULUAN

Kondisi isolasi pada suatu peralatan tegangan tinggi dapat diketahui dengan cara menggunakan pengukuran partial discharge. Sensor dalam hal ini antenna, dapat mendeteksi

gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari aktivitas partial discharge. Sensor antenna digunakan dalam teknik gas isolasi switchgear [1-3,11]. Frekuensi dari 300 MHz sampai dengan 3 GHz yang merupakan ultra high

frekuensi (UHF) merupakan rentang sinyal gelombang elektromagnetik pada GIS [7,9]. Gelombang elektromagnetik dapat diukur dengan menggunakan antenna UHF [10]. Jika dibandingkan dengan penggunaan sensor gas, penggunaan sensor UHF di GIS bisa merespons dengan cepat serta memiliki sensitivitas yang tinggi [3].

Antena UHF yang digunakan sebagai sensor dalam mendeteksi partial discharge (PD) harus memenuhi persyaratan yaitu memiliki sensitivitas serta broadband yang baik. Selain itu, diperlukan ukuran yang spesifik agar sesuai dengan jendela bukaan yang berada pada GIS [4]. Optimasi antenna dapat dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter yang dibutuhkan oleh sensor PD [6].

Hal yang perlu diperhatikan pada antenna yang digunakan sebagai sensor adalah bandwidth serta return loss [1]. Antena merupakan alat yang dapat menerima serta mengirim sinyal dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Antena dipole merupakan antenna yang memiliki bentuk yang sama pada kedua bagian. Antena dipole memiliki panjang dan lebar yang bisa diatur.

Dalam pembuatan suatu antenna, hal yang pertama yang dilakukan adalah melakukan pembuatan antenna tersebut pada suatu software yang menghasilkan gambar 3 dimensi. Lalu dilanjutkan dengan testing menggunakan VNA, serta pengukuran antenna pada GIS. Pada penulisan ini, berfokus pada pembuatan antenna dipole menggunakan software 3 dimensi.

Antena dipole adalah salah satu jenis antenna yang dapat digunakan untuk mendeteksi adanya partial discharge [8]. Antena dipole dengan ukuran 66mm x 15mm telah digunakan dalam mendeteksi adanya partial discharge pada model GIS 66 kV [4]. Namun sampai saat ini, masih belum dilakukan pembuatan antenna dipole menggunakan aplikasi gambar 3 dimensi, dengan melakukan perubahan pada ukuran antenna, sehingga menghasilkan karakteristik antenna yang terbaik. Pembuatan antenna dipole menggunakan aplikasi gambar 3 dimensi, dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik pada bandwidth, return loss serta frekuensi resonansi. Hal ini sangat berkaitan dengan kemampuan antenna dalam mendeteksi adanya partial discharge. Adapun parameter yang digunakan untuk mengetahui kemampuan

antena tersebut, maka dilakukan perubahan pada panjang serta lebar dari antenna dipole tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Antena

Antena berdasarkan yang dikeluarkan dari IEEE merupakan bagian dalam sistem transmisi atau penerima yang dirancang untuk meradiasikan atau menerima gelombang elektromagnetik [12]. Suatu antena dapat berfungsi sebagai antena pemancar dan antena penerima. Antena dengan panjang gelombang elektromagnetik (λ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan hasil bagi kecepatan (asumsi kecepatan cahaya) dengan frekuensi (f) dari gelombang elektromagnetik. Berdasarkan standar IEEE, rentang frekuensi gelombang elektromagnetik dibagi menjadi beberapa kelompok. Perancangan antena akan mengacu pada UHF (ultra high frequency). Dengan rentang panjang gelombang elektromagnetik dari 300 MHz sampai dengan 3000 MHz atau 3 GHz.

2.2. Return Loss

Return loss merupakan parameter yang memiliki hubungan dengan daya sinyal yang dipantulkan pada sambungan sistem transmisi. Parameter ini dinyatakan sebagai perbandingan dalam satuan desibel (dB) dalam tanda negatif. Adapun return loss ini dapat dinyatakan sebagai negatif dari magnitude koefisien pantul. Return loss memiliki hubungan dengan standing wave ratio (SWR) dan koefisien refleksi. Adanya peningkatan return loss dapat menyebabkan menurunnya nilai SWR. Dalam aplikasi modern, return loss digunakan sebagai acuan untuk SWR karena mempunyai resolusi yang lebih baik untuk nilai kecil dari sinyal yang dipantulkan [11]. Return loss dapat dinyatakan sebagai negative dari magnitude koefisien refleksi (Γ). Hubungan koefisien refleksi dengan return loss dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\Gamma = \frac{v_r}{v_i}; RL(dB) = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (1)$$

2.3. SWR (Standing Wave Ratio)

SWR dapat dinyatakan dalam power standing wave ratio (PSWR) atau voltage

standing wave ratio (VSWR). Dalam aplikasi, yang paling banyak digunakan adalah VSWR. Dari tegangan yang datang dan tegangan yang dipantulkan, akan terdapat timbul tegangan akibat adanya ketidaksesuaian impedansi. Kedua gelombang ini saling mengganggu satu sama lain. VSWR merupakan perbandingan dari nilai maksimum (V_{max}) dengan nilai minimum (V_{min}) dari dua gelombang tersebut

2.4. Impedansi Input

Impedansi input merupakan impedansi yang dihasilkan antenna pada terminal atau perbandingan antara tegangan dan arus pada pasangan terminal. Impedansi antenna (Z_A) terdiri dari komponen real (R_A) dan komponen imajiner (X_A). Komponen real dari impedansi antenna merupakan komponen resistif sedangkan komponen imajiner merupakan komponen reaktif. Impedansi antenna merupakan fungsi dari komponen frekuensi. Nilainya bergantung pada frekuensi kerja antenna. Frekuensi resonansi terjadi ketika komponen reaktif saling meniadakan.

2.5. Bandwidth

Bandwidth atau lebar band frekuensi antenna adalah range frekuensi kerja dimana antenna tersebut masih dapat bekerja dengan efektif. Adapun perhitungan bandwidth dapat dilihat seperti persamaan berikut:

$$\text{Bandwidth} = \frac{f_u + f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2)$$

f_u merupakan frekuensi tertinggi, f_l merupakan frekuensi terendah dan f_c merupakan frekuensi tengah.

2.6. Antena Dipole

Antena dipole merupakan antenna yang berbentuk dua lempeng persegi, yang diletakkan sejajar. Antena dipole memiliki ukuran yang sama pada keduanya, serta diletakkan dengan jarak tertentu, sesuai kebutuhan.

3. METODE PENELITIAN

Pada pembuatan antenna dipole menggunakan aplikasi gambar 3 dimensi, maka dilakukan pembuatan model konfigurasi.

3.1. Konfigurasi antenna dipole

Antena dipole merupakan antenna yang berbentuk dua lempeng persegi yang diletakkan sejajar. Antena dipole memiliki ukuran yang sama pada keduanya, serta diletakkan dengan

jarak tertentu, sesuai kebutuhan. Antena Dipole memiliki bentuk persegi dengan ukuran panjang (L) maupun lebar (W). Dengan mengatur parameter tersebut, dapat mempengaruhi hasil dari frekuensi resonansi, bandwidth serta return loss.

Antena dipole memiliki respon frekuensi UHF yang ditentukan dengan persamaan seperti yang ditunjukkan berikut ini [5].

$$f_r = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \frac{c}{l} \quad (3)$$

Keterangan:

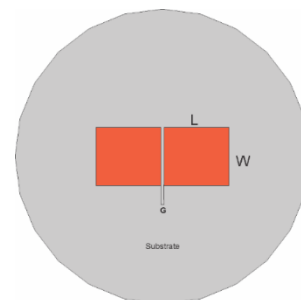
f_r = frekuensi resonansi dari antenna

k = konstanta 0,95

c = kecepatan cahaya 3×10^8 m/s

l = panjang antenna

Pembuatan antenna dipole dilakukan dengan menggunakan software gambar 3 dimensi. Gambar 1 berikut ini merupakan hasil simulasi antenna dipole.



Gambar 1. Konfigurasi Antena Dipole

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi antenna dipole. Pada antenna dipole, performanya sangat dipengaruhi oleh panjang dan lebar dari antenna tersebut. Terdapat gap distance atau jarak diantara kedua bagian antenna tersebut. Serta terdapat substrat yang merupakan material yang dipakai untuk menempatkan patch antenna. Parameter yang digunakan pada perancangan ini adalah perubahan lebar dan perubahan panjang pada antenna dipole.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pada perubahan panjang maupun perubahan lebar antenna dipole, dijelaskan seperti berikut ini.

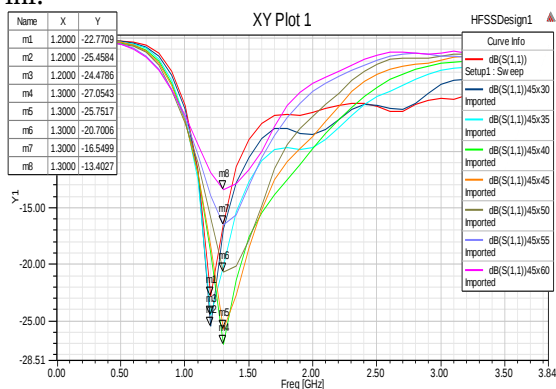
Pada perubahan lebar antenna, terdapat 8 ukuran yang disimulasikan, diantaranya ($P \times L$): 45x25mm, 45x30mm, 45x35mm, 45x40mm, 45x45mm, 45x50mm, 45x55mm, dan 45x60mm. Pada simulasi perubahan lebar ini, terdapat parameter tetap, dimana material

substrat FR4-epoxy dengan ketebalan 1,6 mm serta radius substrat 102 mm, gap distance 2 mm, serta panjang 45 mm.

Pada simulasi, dilakukan perubahan lebar terhadap return loss, frekuensi resonansi, VSWR maupun impedansi.

- Return Loss

Adapun hasil simulasi perubahan lebar terhadap return loss maupun frekuensi resonansi, ditunjukkan seperti Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Hasil Simulasi perubahan lebar terhadap return loss antenna dipole

Hasil simulasi perubahan lebar terhadap karakteristik antenna dipole ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

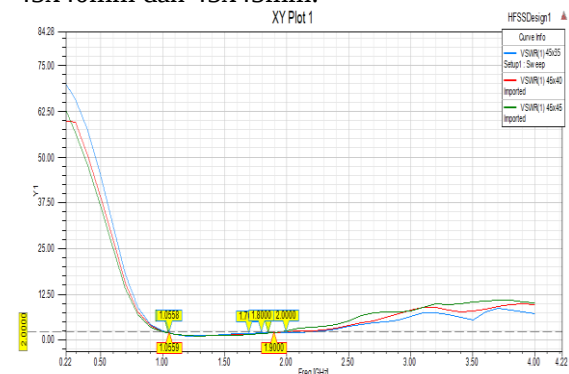
Ukuran Panjang x Lebar (mm)	Karakteristik Antena		
	Return Loss (dB)	Frekuensi Resonansi (GHz)	Bandwidth (MHz)
45x25	-22.77	1.2	383
45x30	-25.45	1.2	465
45x35	-24.47	1.2	610
45x40	-27.05	1.3	936
45x45	-25.75	1.3	830
45x50	-20.70	1.3	686
45x55	-16.54	1.3	511
45x60	-13.40	1.3	471

Pada simulasi perubahan lebar antenna dipole didapatkan bahwa yang memiliki bandwidth paling lebar adalah sebesar 936 MHz pada ukuran 45 x 40 mm, dengan nilai return loss -27,05 dB.

- VSWR

Pada simulasi VSWR, diambil tiga terbaik dari hasil return loss maupun

bandwidth. Ukurannya adalah 45x35mm, 45x40mm dan 45x45mm.

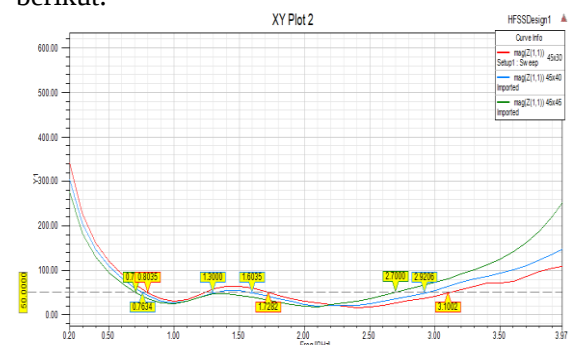


Gambar 3. Hasil simulasi VSWR, 3 terbaik dipole antenna perubahan lebar

Pada Gambar 3, menunjukkan bahwa pada hasil simulasi VSWR, nilai VSWR < 2 pada ukuran 45x35mm adalah pada frekuensi 1.05-1.85 GHz. Sementara ukuran 45x40mm adalah pada frekuensi 1.05-1.9 GHz. Sedangkan ukuran 45x45mm adalah pada frekuensi 1.05-2 GHz.

- Impedansi

Pada simulasi impedansi, 3 terbaik antenna dipole perubahan lebar ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 4 Hasil simulasi impedansi 3 terbaik antenna dipole perubahan lebar

Gambar 4 menunjukkan bahwa impedansi yang memiliki nilai 50 Ohm merupakan antenna dipol dengan ukuran 45x30mm, pada tiga frekuensi resonansi yaitu 0,803 GHz, 1,7 GHz, dan 3,1 GHz. Ukuran 45x40mm juga memiliki nilai impedansi mendekati 50 ohm, yaitu pada frekuensi 1,3 GHz, 1,6 GHz, dan 2,9 GHz. Sedangkan pada ukuran 45x45mm, nilai impedansi sebesar 50 Ohm berada pada frekuensi 0,7 GHz, 0,76 GHz, dan 2,7 GHz.

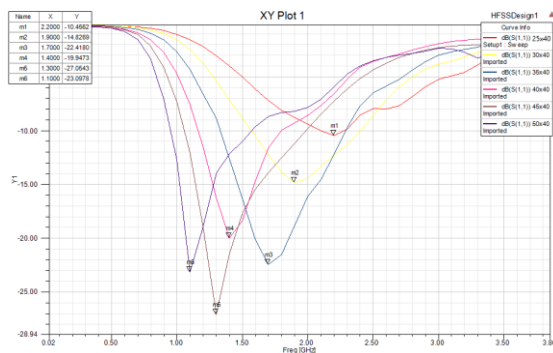
Pada perubahan panjang terdapat 6 ukuran yang disimulasikan, diantaranya (P x L):

25x40mm, 30x40mm, 35x40mm, 40x40mm, 45x40mm, and 50x40mm. Pada simulasi perubahan panjang ini, terdapat parameter tetap, dimana material substrat FR4-epoxy dengan ketebalan 1,6 mm serta radius substrat 102mm, gap distance 2 mm, serta lebar 40 mm.

Pada simulasi, dilakukan perubahan lebar terhadap return loss, frekuensi resonansi, VSWR maupun impedansi.

- Return Loss

Hasil simulasi perubahan panjang terhadap return loss maupun frekuensi resonansi, ditunjukkan seperti Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5 Hasil simulasi perubahan panjang terhadap return loss antenna dipole

Hasil simulasi perubahan panjang terhadap karakteristik antenna dipole ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

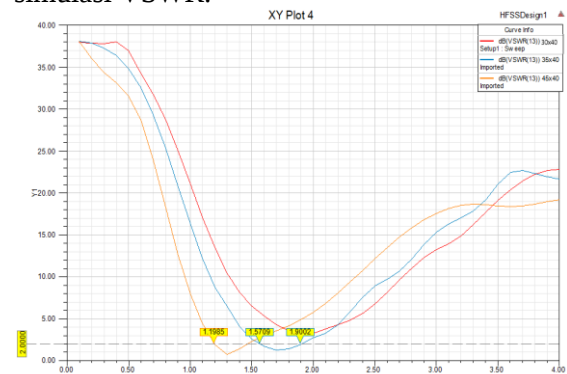
Tabel 2. Perubahan Lebar terhadap Karakteristik Antena

Ukuran Panjang x Lebar (mm)	Karakteristik Antena		
	Return Loss (dB)	Frekuensi Resonansi (GHz)	Bandwidth (MHz)
25x40	-10.45	2.2	180
30x40	-14.82	1.9	830
35x40	-22.41	1.7	956
40x40	-19.94	1.4	628
45x40	-27.05	1.3	936
50x40	-23.09	1.1	611

Pada simulasi perubahan panjang antenna dipole, didapatkan bandwidth paling besar adalah pada ukuran 35x40 mm yaitu sebesar 956 MHz, dengan nilai return loss minimum sebesar -22.41 dB, pada frekuensi resonansi 1,7 GHz.

- VSWR

Berikut ini merupakan grafik hasil simulasi VSWR.

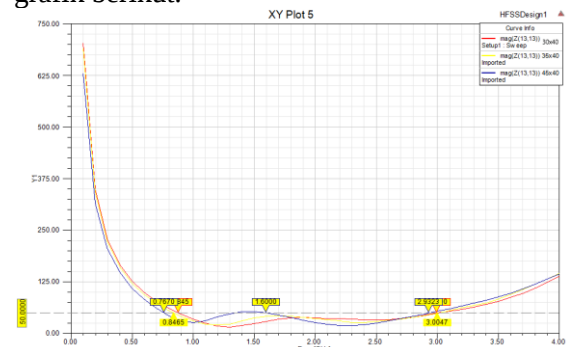


Gambar 6 Hasil simulasi VSWR, 3 terbaik antenna dipole perubahan panjang

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai VSWR kurang dari ($<$) 2 terdapat pada antenna dipole dengan ukuran 35x40mm yaitu pada frekuensi 1,57-1,9 GHz, serta pada ukuran 45x40mm dengan rentang frekuensi 1,19-1,4 GHz.

- Impedansi

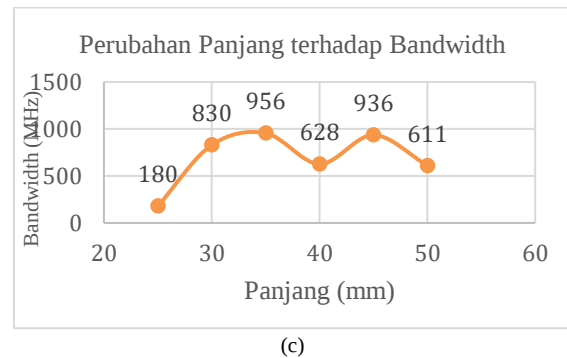
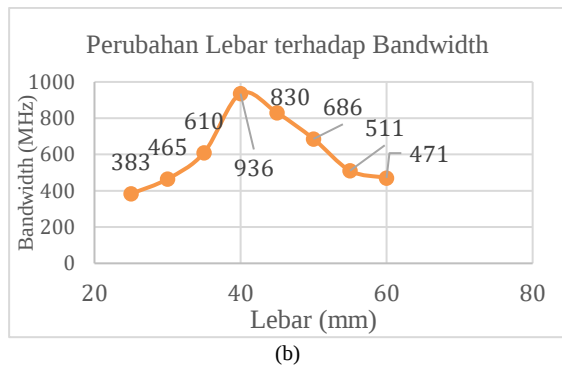
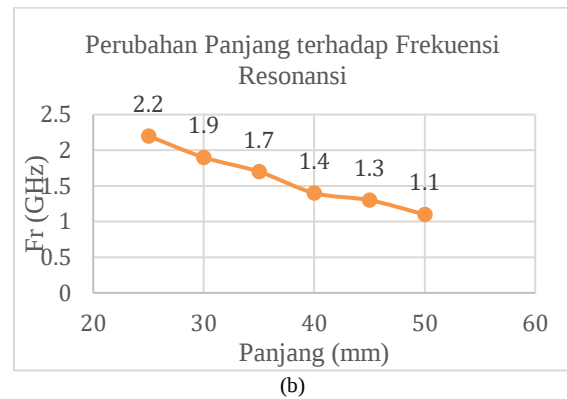
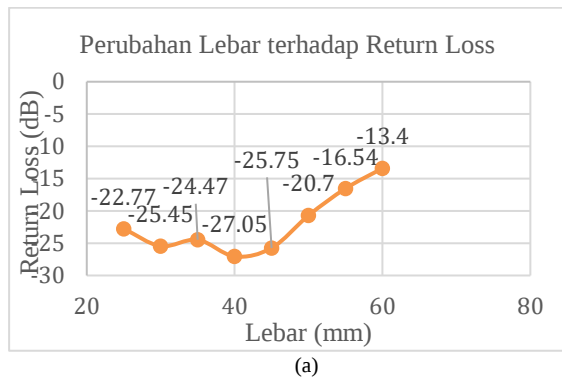
Pada simulasi impedansi, 3 terbaik antenna dipole perubahan lebar ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 7 Hasil simulasi impedansi 3 terbaik antenna dipole perubahan panjang

Pada grafik tersebut, didapatkan bahwa antenna dipole dengan ukuran 30x40mm memiliki nilai impedansi 50 ohm pada frekuensi 0,845 GHz. Pada antenna dipole dengan ukuran 35x40mm, impedansi 50 Ohm berada pada frekuensi 0,846 GHz dan 3 GHz. Sedangkan pada ukuran 45x40mm nilai impedansi 50 Ohm berada pada frekuensi 0,767 GHz, 1,6 GHz, dan 2,932 GHz.

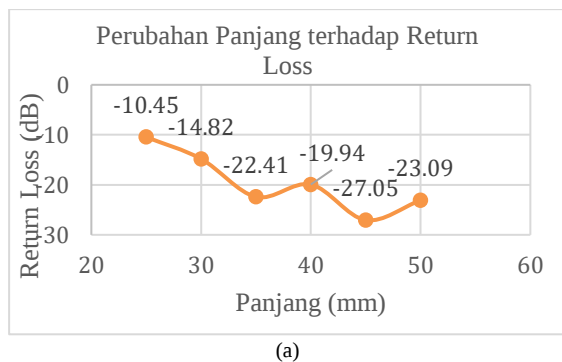
Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, maka perbandingan perubahan lebar terhadap return loss dan bandwidth ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 8 Perbandingan perubahan lebar terhadap (a) return loss (b) bandwidth

Pada perubahan lebar antenna dipole, semakin besar ukuran dari antenna tersebut, maka nilai return loss minimum akan semakin membesar. Sementara, pada perubahan lebar terhadap bandwidth, berdasarkan grafik yang dihasilkan, bahwa akan terjadi kenaikan bandwidth serta penurunan bandwidth pada ukuran tertentu atau dapat dikatakan terdapat fluktuasi pada hasil grafik bandwidth. Adapun nilai bandwidth serta return loss terbaik, adalah pada ukuran 45 mm x 40 mm.

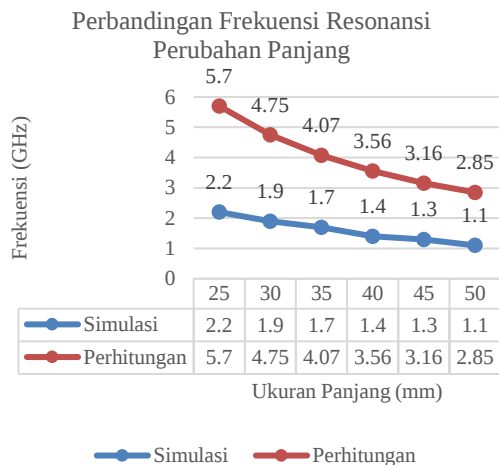
Pada antenna dipole, perbandingan perubahan panjang terhadap return loss, frekuensi resonansi dan bandwidth ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 9 Perbandingan perubahan panjang terhadap (a) return loss, (b) frekuensi resonansi dan (c) bandwidth

Pada perubahan panjang antenna dipole, semakin panjang ukuran tersebut, maka frekuensi resonansi yang dihasilkan akan semakin kecil. Sementara pada return loss yang dihasilkan, semakin besar ukuran panjang, maka nilai minimum return loss akan semakin baik. Sedangkan pada bandwidth, semakin panjang ukuran tersebut, maka didapatkan hasil yang fluktuatif, dimana ada ukuran yang memiliki bandwidth yang besar, begitu juga sebaliknya.

Pada persamaan (1), menunjukkan persamaan respon frekuensi UHF. Jika dimasukkan panjang antenna sebesar 25 mm sampai 45 mm pada persamaan, maka perbedaan hasil simulasi dan hasil perhitungan frekuensi resonansi ditunjukkan pada grafik berikut ini.



Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar panjang antenna dipole, maka semakin kecil frekuensi resonansinya. Walaupun antara hasil simulasi dan hasil perhitungan nilainya berbeda, namun secara teori sesuai.

Frekuensi partial discharge pada GIS adalah 300 MHz - 3 GHz [1-3]. Pada simulasi yang dilakukan, didapatkan frekuensi resonansi berada pada range 1.1-2.2 GHz. Hal ini menunjukkan bahwa antenna dipole bisa digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi partial discharge pada GIS, karena sudah memenuhi ketentuan frekuensi pada GIS.

5. KESIMPULAN

- Untuk mendapatkan hasil yang optimal pada pembuatan antenna, maka untuk mendapatkan performansi terbaik pada frekuensi resonansi, perlu dilakukan pengaturan pada ukuran panjang antenna. Semakin besar ukuran panjang antenna maka akan semakin kecil frekuensi resonansi yang dihasilkan.
- Untuk mendapatkan performansi terbaik dari bandwidth, tidak ada pengaturan khusus untuk mendapatkan hasil bandwidth terbaik.
- Untuk mendapatkan nilai return loss minimum terbaik adalah dengan cara mengatur perubahan ukuran panjang pada antenna. Semakin panjang antenna maka semakin baik return loss yang dihasilkan.

- Hasil dari bandwidth, return loss serta frekuensi resonansi yang baik lebih dipengaruhi oleh perubahan panjang dibandingkan perubahan lebar pada antenna dipole
- Didapatkan bahwa ukuran terbaik dari simulasi yang dilakukan adalah perubahan panjang dengan ukuran 35 x 40 mm dengan bandwidth sebesar 956 MHz dan return loss sebesar -22,41 dB.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Robles, G., Sanchez-Fernandez, M., Albarracin Sanchez, R., Rojas-Moreno, M. V., Rajo-Iglesias, E., & Martinez-Tarifa, J. M. (2013). Antenna parametrization for the detection of partial discharges. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 62(5), 932–941. <https://doi.org/10.1109/TIM.2012.2223332>
- [2] Li, T., Rong, M., Zheng, C., & Wang, X. (2012). Development simulation and experiment study on UHF partial discharge sensor in GIS. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19(4), 1421–1430. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2012.6260019>
- [3] Hoshino, T., Maruyama, S., Ohtsuka, S., Hikita, M., Wada, J., & Okabe, S. (2012). Sensitivity comparison of disc- and loop-type sensors using the UHF method to detect partial discharges in GIS. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19(3), 910–916. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2012.6215094>
- [4] Khotimah, K., Khayam, U., Suwarno, Tai, Y., Kozako, M., & Hikita, M. (2015). Design of dipole antenna model for partial discharge detection in GIS. *Proceedings - 5th International Conference on Electrical Engineering and Informatics: Bridging the Knowledge between Academic, Industry, and Community, ICEEI 2015*, 186–191. <https://doi.org/10.1109/ICEEI.2015.7352493>
- [5] Meijer, S., Gulski, E., & Smit, J. J. (1998). Pattern analysis of partial discharges in SF6 GIS. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 5(6), 830–842. <https://doi.org/10.1109/94.740764>
- [6] Andre, H., & Khayam, U. (2013). Design of new shape printed bowtie antenna for ultra high

- frequency partial discharge sensor in gas-insulated substations. Proceedings - 2013 International Conference on Information Technology and Electrical Engineering: "Intelligent and Green Technologies for Sustainable Development", ICITEE 2013, 355–359.
<https://doi.org/10.1109/ICITEED.2013.6676267>
- [7] T. Rhamdhani, U. Khayam and A. Zaeni, "Improving Antenna Performance by Combining Dipole and Bowtie Antenna for Partial Discharge Measurement in Gas Insulated Switchgear," 2022 IEEE International Conference in Power Engineering Application (ICPEA), Shah Alam, Malaysia, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICPEA53519.2022.9744679
- [8] T. Wahyuningsih, A. Harsoyo and U. Khayam, "Design Modification of Dipole Antena for Partial Discharge Detection in Power Apparatus," 2024 6th International Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE), Bandung, Indonesia, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPERE63447.2024.10845269
- [9] Andre, H., U. Khayam," Design of Butterfly Antenna as Ultra High Frequency (UHF) sensor to detect Partial Discharge (PD) on Gas Insulated Substation (GIS)", Jurnal Nasional Teknik Elektro Vol.II No.2, Sep. 2013.
- [10] M. Anung Darmawan., U. Khayam, "Design Simulation and Fabrication of Second Third and Fourth Order Hilbert Antenna as Ultra High Frequency Partial Discharge Sensor", Joint International 177 Conference on Electric Vehicular Technology and Industrial Mechanical Electrical and Chemical Engineering (ICEVT & IMECE), 2015.
- [11]G. Robles, M. Sánchez-Fernández, R. Albarracín Sánchez, M.V Rojas-Moreno, E. Rajo-Iglesias, J.M Martínez-Tarifa, "Antena parametrization for the detection of partial discharges", IEEE Transactions on instrumentation and measurement, vol. 62, no. 5, pp. 932-940, may 2013
- [12]IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, 1993