

Efek Jumlah *Ridge* terhadap Performansi Antena *Horn* untuk Aplikasi Tomografi

FOLIN OKTAFIANI¹, SULISTYANINGSIH¹, ACHMAD MUNIR²

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

²Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Email: foli001@brin.go.id

Received 1 November 2023 | Revised 12 Januari 2024 | Accepted 25 Januari 2024

ABSTRAK

Paper ini membahas pengaruh jumlah profil ridge terhadap performansi antena horn untuk aplikasi tomografi. Penelitian ini mengobservasi dua variasi jumlah ridge, yaitu dua ridge dan empat ridge. Untuk mengevaluasi pengaruh jumlah ridge terhadap kinerja antena horn, maka didesain tiga jenis antena horn yang berbeda: antena horn tanpa ridge (horn konvensional), antena horn dengan penambahan dua ridge (DRHA), dan antena horn dengan penambahan empat ridge (QRHA). Ketiga jenis antena difabrikasi dengan menggunakan teknik CNC milling dengan bahan dasar aluminium. Kinerja antena kemudian dikarakterisasi melalui eksperimen yang bertujuan untuk mengamati pengaruh jumlah ridge terhadap parameter-parameter antena, yaitu koefisien refleksi, gain, dan pola radiasi. Hasil dari karakterisasi eksperimen menunjukkan bahwa QRHA, yaitu antena horn dengan penambahan empat ridge, memberikan kinerja terbaik dalam hal bandwidth, beamwidth, dan gain.

Kata kunci: antena horn; frekuensi cut-off; tomografi; double-ridge, quad-ridge.

ABSTRACT

This paper discusses the effect of ridge number on the horn antenna performance for tomography application. The study observes two variations in the number of ridges: two ridges and four ridges. To evaluate the impact of the number of ridges on the horn antenna's performance, three different types of horn antennas were designed: horn antenna without ridge (conventional horn antenna); horn antenna with two addition ridges (DRHA); horn antenna with four addition ridges (QRHA). The antennas were fabricated using CNC milling technique with aluminum as the base material. The antenna performance was then characterized through experiments aimed at observing the influence of the number of ridges on antenna parameters in term of reflection coefficient, gain, and radiation pattern. The results of the experimental characterization indicated that QRHA, the horn antenna with the addition of four ridges, exhibited the best performance in terms of bandwidth, beamwidth, and gain.

Keywords: horn antenna, cut-off frequency, tomography, double-ridge, quad-ridge.

1. PENDAHULUAN

Antena *horn* merupakan salah satu antena yang dapat digunakan untuk aplikasi tomografi. Salah satu kekurangan dari antena *horn* konvensional adalah respon *bandwidth* yang terbatas (**Chung, dkk, 2003**). Pada aplikasi tomografi, untuk mendapatkan hasil rekonstruksi objek dengan resolusi yang tinggi diperlukan *bandwidth* yang lebar. Terdapat teknik yang banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan *bandwidth* pada antena *horn* yaitu salah satunya dengan menambahkan *tapered ridge* pada bagian antena *horn* (**Kujalowicz, dkk, 2006**). Teknik ini secara prinsipal diimplementasi untuk menurunkan frekuensi *cut-off* pada mode fundamental sehingga dapat memperlebar *bandwidth* antena *horn*. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan terdapat dua jenis antena *horn* dengan penambahan *ridge* yaitu antena *horn* dengan penambahan dua buah *ridge* (*double-ridge horn antenna* / DRHA) dan empat buah *ridge* (*quad-ridged horn antenna* / QRHA).

Berdasarkan karakteristiknya yang *wideband*, DRHA telah banyak dieksplorasi untuk beberapa aplikasi (**Panzner, dkk, 2010**) (**Ghorbani & Khaleghi, 2011**) (**Puri, dkk, 2013**) (**Demirel, dkk, 2016**) (**Dubrovka & Sushko, 2010**). DRHA juga diusulkan untuk aplikasi *wideband* seperti *ground penetrating radar* dengan menambahkan *ridge* dari bagian *aperture* (**Panzner, dkk, 2010**) (**Ghorbani & Khaleghi, 2011**). Pada penelitian ini dilakukan penambahan material dielektrik yang disisipkan pada celah antar *ridge* untuk memperlebar *bandwidth* dan mengatasi keterbatasan *bandwidth* untuk frekuensi rendah (**Panzner, dkk, 2010**). Selain itu, DRHA juga menarik perhatian untuk digunakan pada aplikasi *ultra wideband* (UWB) dan gelombang milimeter (**Puri, dkk, 2013**) (**Demirel, dkk, 2016**). Sedangkan peningkatan karakteristik DRHA pada sisi pola radiasi dan *sidelobe level* merupakan fokus utama dari penelitian yang dilakukan (**Dubrovka & Sushko, 2010**).

Sudah diketahui secara umum bahwa untuk beberapa aplikasi di bidang gelombang mikro dan gelombang milimeter termasuk juga sistem radar terkadang membutuhkan sampling data yang lebih banyak untuk meningkatkan performansi khususnya pada proses pendeteksian objek. Permasalahan ini bisa diselesaikan dengan menggunakan antena berpolarisasi ganda. Pada kenyataannya, karakteristik asli dari DRHA adalah sebagai elemen yang menghasilkan polarisasi tunggal. Oleh karena itu untuk menghasilkan antena polarisasi ganda dapat dilakukan dengan menambahkan empat *ridge* pada antena *horn* yang dikenal dengan sebutan QRHA.

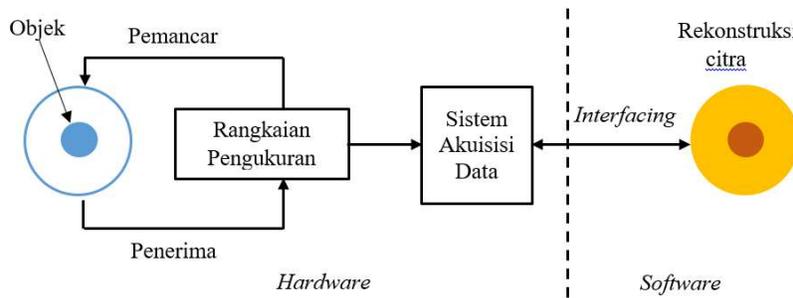
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa QRHA mempunyai kemampuan untuk mengirim dan menerima polarisasi vertikal dan horisontal secara terpisah yang berguna untuk mendeteksi tumor (**Al-Zuhairi, dkk, 2017**). Perbandingan performansi antara DRHA dan QRHA untuk deteksi kanker payudara juga telah dilakukan oleh (**Amjadi, dkk, 2012**). Berdasarkan penelitian tersebut dapat dilihat bahwa antena dengan polarisasi ganda dapat meningkatkan sensitifitas untuk mendeteksi objek yang tidak simetris. Selain itu, tipe QRHA juga dapat digunakan untuk memperlebar *bandwidth* antena pada frekuensi rendah (**Oktafiani, dkk, 2019**). Dalam proses desain antena *ridged horn* perlu memperhatikan bahwa karakteristik antena *horn* tergantung pada geometri dari profil *ridge* yang disisipkan (**Genc, dkk, 2017**) (**Patel & Suthar, 2016**) (**Oktafiani, dkk, 2019**).

Dengan mempertimbangkan berbagai kegunaan dan kelebihan dari DRHA dan QRHA seperti disebutkan diatas, maka pada penelitian ini akan membandingkan secara eksperimen performansi dari antena DRHA dan QRHA terhadap beberapa parameter antena. Untuk mengevaluasi fungsi dari penambahan *ridge* maka dilakukan juga perbandingan kedua antena tersebut dengan antena *horn* konvensional yang tidak ditambahkan *ridge*. Hal ini untuk membandingkan pengaruh jumlah *ridge* terhadap performansi antena *horn*.

2. ANTENA UNTUK APLIKASI TOMOGRAFI

2.1 Teknologi Tomografi dan Komponennya

Tomografi adalah teknik untuk menghasilkan citra tampak lintang atau struktur internal suatu obyek dengan memanfaatkan foton atau partikel yang dapat menembus obyek dan dianalisa oleh suatu sistem deteksi. Tomografi dapat dimanfaatkan untuk bidang kesehatan, militer, geologi, dan juga agrikultur (**Mobashsher & Abbosh, 2015**) (**Amiri, 2015**) (**Abdelgwad & Said, 2017**) (**Boero, dkk, 2018**). Proses tomografi pada umumnya terdiri dari tiga bagian yaitu sistem penginderaan dengan menggunakan rangkaian pengukuran, proses akuisisi data, dan algoritma rekonstruksi yang berfungsi untuk menampilkan rekonstruksi citra seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (**Rahiman, dkk, 2015 & Wahab, dkk, 2015**). Dari gambar terlihat bahwa sistem tomografi terdiri dari bagian *hardware* dan bagian *software*. Bagian *hardware* ditunjukkan pada rangkaian pengukuran dan sistem akuisisi data, sedangkan bagian *software* ditunjukkan pada bagian *interfacing* dan rekonstruksi citra.



Gambar 1. Konfigurasi Proses Tomografi Gelombang Mikro (Wahab, dkk, 2015)

Sebuah penelitian tentang sistem tomografi untuk aplikasi agrikultur akan dikembangkan pada paper ini. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kondisi internal dari objek yang berupa batang pohon. *Roadmap* penelitian yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa penelitian akan terbagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu mendesain komponen *hardware*, dilanjutkan dengan tahapan kedua yaitu proses pendeteksian objek sebagai proses akuisisi data. Sedangkan tahapan terakhir adalah pengolahan sinyal dari hasil akuisisi data untuk menghasilkan rekonstruksi objek. Pada paper ini akan membahas secara khusus desain komponen *hardware* untuk aplikasi tomografi.

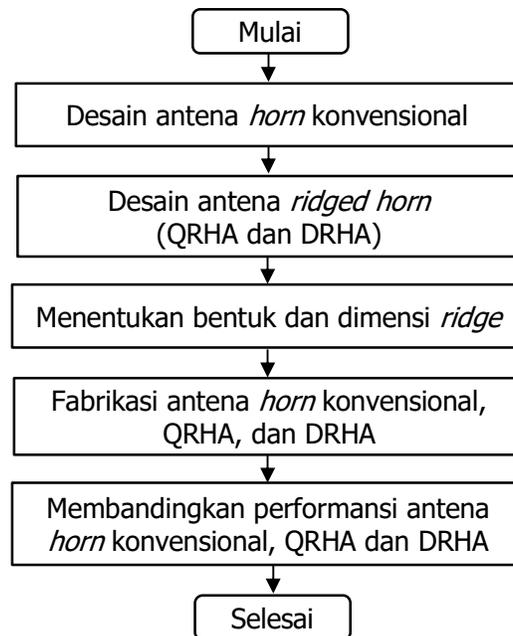


Gambar 2. Roadmap Penelitian Tomografi

Salah satu komponen *hardware* yang memegang peranan penting dalam sistem tomografi adalah antena. Dengan pertimbangan tersebut, maka komponen *hardware* pada sistem tomografi yang akan dikembangkan pada paper ini adalah antena. Spesifikasi antena untuk aplikasi tomografi berbeda dengan aplikasi lainnya. Pada tomografi, antena ditempatkan dekat dengan objek yang akan dideteksi sehingga antena beroperasi dalam daerah medan dekat. Berdasarkan studi literatur, parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap performansi dari antena untuk tomografi antara lain *bandwidth*, pola radiasi, dan polarisasi

antena (Riaz, 2011) (Al-Joumayly, dkk, 2010) (Gilmore, dkk, 2010) (Khalid, dkk, 2016) (Dehdasht-Heydari, dkk, 2008).

Berdasarkan penelusuran ilmiah, ada beberapa jenis antena yang telah digunakan untuk aplikasi tomografi antara lain antena dipol, *horn*, *bow-tie*, monopol, *tapered slot antenna* (TSA), dan *log periodic*. Penelitian yang dilakukan oleh Munir (Munir, dkk, 2012) (Munir, dkk, 2017) mengimplementasikan antena monopol karena desain dan proses fabrikasi yang sederhana. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Pratama (Pratama, dkk, 2015) dan Shameena (Shameena, dkk, 2011) mengembangkan antena dipol dengan pertimbangan yang sama dengan antena monopol. Akan tetapi untuk penggunaan yang berfungsi sebagai pencitraan, kedua tipe antena tersebut mempunyai kekurangan yaitu dari sisi *bandwidth* yang sempit dan pola radiasi yang bersifat *omnidirectional*. Selanjutnya beberapa penelitian merujuk kepada antena *tapered slot* dan antena *horn* untuk diimplementasikan pada aplikasi tomografi karena performansinya yang lebih unggul dibanding jenis antena lainnya (Pandey, dkk, 2014) (Abdelgwad, dkk, 2017). Performansi kedua antena tersebut telah dibandingkan dimana menunjukkan antena *horn* menghasilkan performansi yang lebih baik dari sisi level *noise* dan *contrast* dibandingkan antena *tapered slot* (Solis, dkk, 2014). Dengan pertimbangan ini maka antena yang memberikan performansi yang optimum untuk aplikasi tomografi adalah antena *horn*. Sebagaimana disebutkan dibagian pendahuluan, bahwa salah satu kelemahan antena *horn* adalah memiliki *bandwidth* yang terbatas. Teknik yang diusulkan untuk memperlebar *bandwidth* antena *horn* adalah dengan menambahkan *ridge* ke dalam bagian antena *horn*. Jumlah *ridge* yang ditambahkan ke dalam antena *horn* berpengaruh terhadap peningkatan performansi antena *horn*. Langkah langkah untuk menginvestigasi pengaruh jumlah *ridge* terhadap performansi antena *horn* untuk aplikasi tomografi gelombang mikro dapat diilustrasikan dengan diagram alir pada Gambar 3.

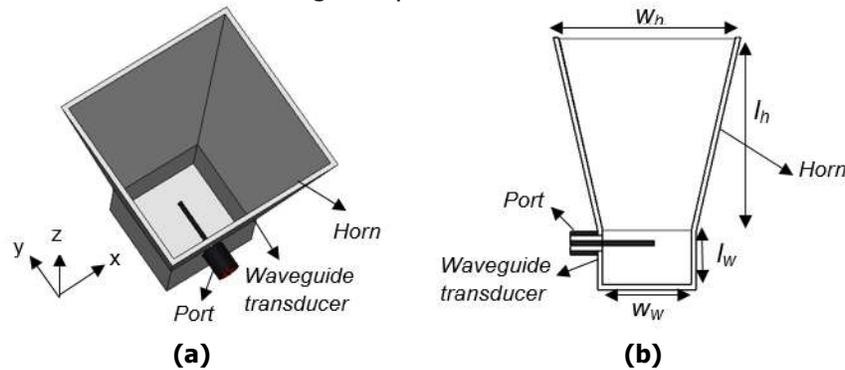


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.2 Desain Antena *Horn* Konvensional

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mendesain antena *horn* konvensional dengan bentuk yang kompak. Desain antena *horn* konvensional ditunjukkan pada Gambar 4. Desain antena tersebut terdiri dari dua bagian yaitu *waveguide transducer*

dan *horn*. *Waveguide transducer* yang digunakan berbentuk persegi yang merupakan modifikasi dari *waveguide* persegi panjang tipe WR90 yang mempunyai frekuensi operasi 8.5GHz – 12.5 GHz untuk mode dominan TE. Ukuran lebar (w_w) dari *transducer waveguide* adalah 22,86 mm dan panjang (l_w) sebesar 14 mm. Sedangkan untuk bagian *horn*, apertur antena mempunyai lebar (w_h) sebesar 45,72mm dan panjang (l_h) adalah 50mm. Sebagai pencatu digunakan konektor sma dengan impedansi 50 Ω .

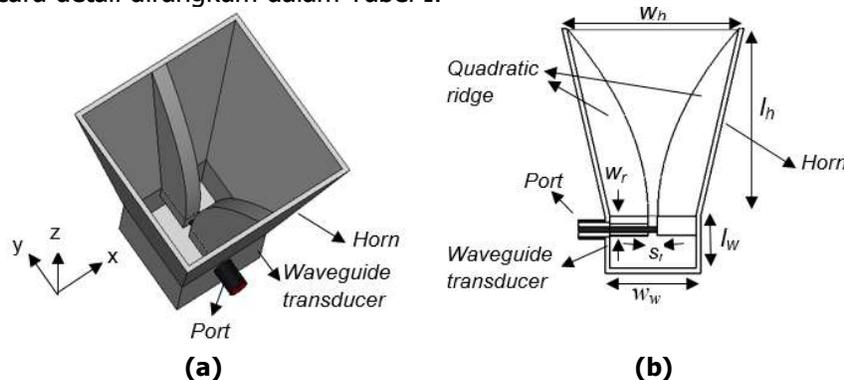


Gambar 4. Konfigurasi Antena *Horn* Konvensional (a) Tampak Prespektif (b) Tampak Samping

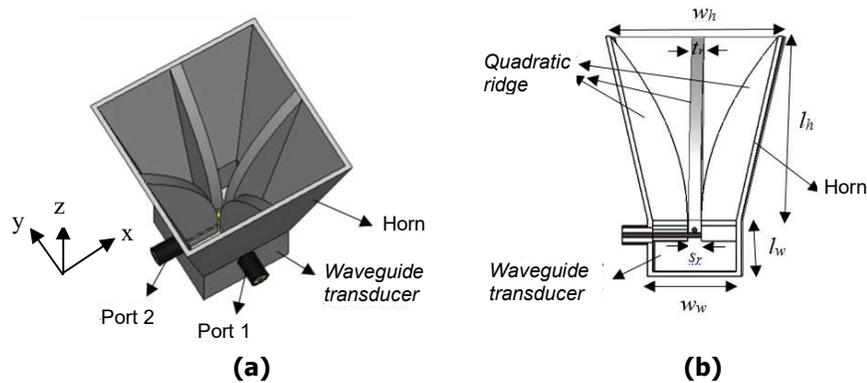
2.3 Desain Antena *Ridged Horn*

Untuk menginvestigasi pengaruh jumlah *ridge* terhadap performansi antena *horn*, maka tahapan penelitian selanjutnya yaitu mendesain dua buah antena *ridged horn* yaitu DRHA dan QRHA. DRHA adalah antena *horn* dengan ditambahkan *ridge* sejumlah dua, sedangkan QRHA adalah antena *horn* dengan ditambahkan *ridge* sejumlah empat seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Desain DRHA dan QRHA tersebut menggunakan konfigurasi *waveguide transducer* dan *horn* yang sama seperti antena *horn* konvensional.

Pada penelitian ini bentuk *ridge* yang digunakan adalah bentuk kuadratik dengan pertimbangan profil ini menghasilkan performansi yang lebih baik untuk parameter *bandwidth* dan *side lobe level* (Oktafiani, dkk, 2019). Geometri *ridge* yang disisipkan ke bagian *horn* seperti ketebalan *ridge* (tr), jarak antara *ridge* (sr), dan lebar *ridge* (w_r) mempunyai dimensi yang sama untuk DRHA dan QRHA. Probe yang digunakan untuk mencatu kedua antena tersebut merupakan ekstensi dari pin coaxial 50 Ω yang terhubung ke bagian *ridge* atas, sedangkan *ridge* bagian bawah terhubung dengan shield dari probe. Konfigurasi untuk kedua antena *horn* dibuat dengan menggunakan pelat logam aluminium tebal 1,3 mm dengan dimensi secara detail dirangkum dalam Tabel I.



Gambar 5. Konfigurasi Antena *Horn Double-Ridged* (DRHA) (a) Tampak Perspektif (b) Tampak Samping



Gambar 6. Konfigurasi Antena Horn Quad-Ridged (QRHA) (a) Tampak Perspektif (b) Tampak Samping

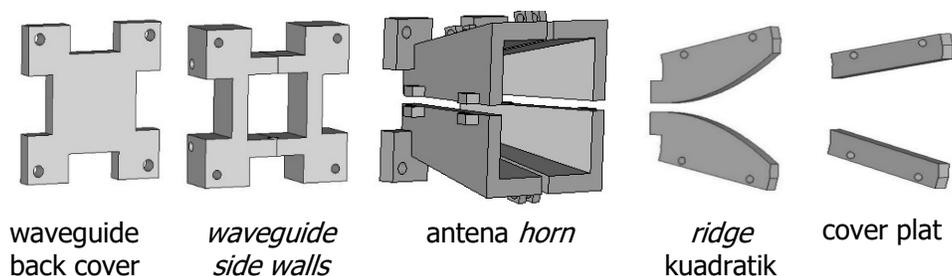
Tabel 1. Dimensi DRHA dan QRHA

Parameter	Deskripsi	Dimensi DRHA dan QRHA(mm)
W_w	lebar <i>waveguide</i>	22.86
I_w	panjang <i>waveguide</i>	14
W_h	lebar <i>aperture horn</i>	45.72
I_h	panjang antena <i>horn</i>	50
t_r	ketebalan <i>ridge</i>	4.25
W_r	lebar <i>ridge</i>	5.33
s_r	Celah antar <i>ridge</i>	3.75

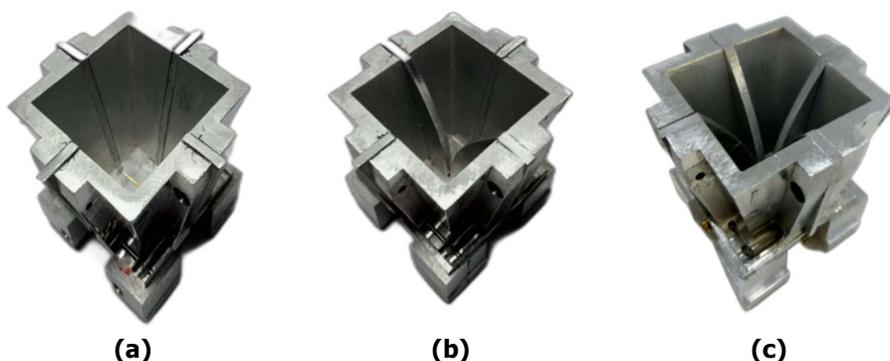
2.4 Realisasi

Pada proses realisasi, desain antena *horn* dibagi menjadi beberapa bagian untuk menyederhanakan proses fabrikasi. Bagian-bagian tersebut ditunjukkan pada Gambar 7 yang terdiri dari *waveguide back cover*, *waveguide side walls*, bagian antena *horn*, dan *ridge* kuadrat/cover plat. Antena didesain agar dapat berfungsi sebagai antena *horn* konvensional, DRHA, dan QRHA dengan menggunakan prototip yang sama. Oleh karena itu, bagian antena *horn* dibagi menjadi empat bagian untuk mempermudah menyisipkan lempengan logam berupa *ridge* kuadrat atau lempengan logam cover plat. Untuk mengkonstruksi QRHA, pada bagian *horn* disisipkan empat lempengan logam *ridge* kuadrat, dan untuk membentuk DRHA maka disisipkan dua buah lempengan logam *ridge* kuadrat dan dua lempengan logam cover plat. Sedangkan konstruksi antena *horn* konvensional disusun dengan menyisipkan empat lempengan logam cover plat. Dengan desain yang diusulkan maka proses fabrikasi menjadi lebih efisien dari segi biaya dan waktu.

Selanjutnya antena difabrikasi dengan menggunakan teknik *CNC milling* dengan aluminium sebagai materialnya. Setelah dilakukan proses bubut pada aluminium sesuai dengan desain yang diinginkan, langkah selanjutnya yaitu menggabungkan masing-masing bagian tersebut dengan menggunakan mur dan baut. Selanjutnya pencatutan antena QRHA dilakukan dengan memasang konektor SMA menggunakan baut tertentu yang panjangnya harus dipertimbangkan secara tepat untuk menjaga permukaan *waveguide* bagian dalam agar tetap halus. Gambar realisasi antena antena *horn* konvensional, DRHA dan QRHA dengan menggunakan teknik *CNC milling* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 7. Bagian-Bagian Antena *Ridged Horn*



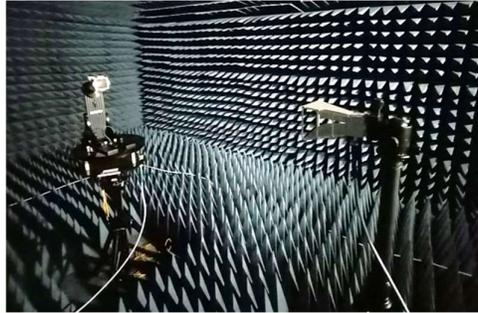
Gambar 8. Hasil Fabrikasi Antena *Horn* (a) *Horn* Konvensional (b) DRHA (c) QRHA

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konfigurasi Pengukuran

Untuk melihat performansi dari antena yang telah difabrikasi maka dilakukan pengukuran di laboratorium untuk ketiga jenis antena *horn*. Beberapa pengukuran yang dilakukan yaitu koefisien refleksi untuk mengetahui frekuensi kerja dan *bandwidth* dari antena yang difabrikasi, gain, dan pola radiasi antena. Pengukuran koefisien refleksi dilakukan dengan menggunakan Vector Network Analyzer (VNA), dengan merk C1220 2-port 20 GHz Analyzer. Sebelum melakukan pengukuran, *Network Analyzer* dan kabel koaxial yang dipergunakan harus dikalibrasi dengan *calibration kit* yang tersedia. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa efek redaman dari kabel yang digunakan tidak mempengaruhi hasil pengukuran. Tahap kalibrasi ini sangat penting untuk mendapatkan nilai validitas pengukuran sebaik mungkin.

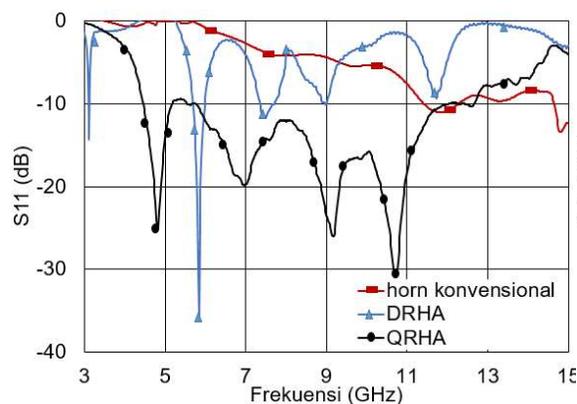
Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan menggunakan antena *horn* referensi sebagai pemancar dan antena *horn under test* yang berfungsi sebagai antena penerima. Antena pemancar terhubung dengan *signal generator* sementara antena penerima terhubung dengan *spectrum analyzer*. Gambar 9 menunjukkan *set-up* pengukuran pola radiasi antena *horn*. Antena penerima diputar sepanjang sudut azimut dan sudut elevasi untuk menghasilkan pola radiasi azimut dan elevasi.



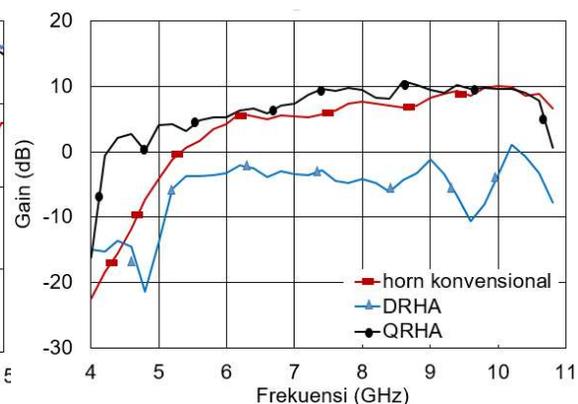
Gambar 9. Konfigurasi Pengukuran Pola Radiasi dan *Gain* QRHA

3.2 Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran tiga jenis antenna *horn*, yaitu *horn* konvensional, DRHA, dan QRHA terangkum dalam Gambar 10 sampai Gambar 12. Ketiga antenna ini dikarakterisasi untuk tiga parameter kunci: koefisien refleksi, gain, dan pola radiasi. Pada Gambar 10, terlihat bahwa antenna DRHA memiliki frekuensi *cut-off* sekitar 3,06 GHz, sedangkan antenna QRHA memiliki frekuensi *cut-off* sekitar 3,98 GHz. Sementara itu, antenna *horn* konvensional menghasilkan frekuensi *cut-off* pada 7,14 GHz. Hasil karakterisasi secara eksperimen menunjukkan bahwa penambahan *ridge* pada antenna mampu menurunkan frekuensi *cut-off* dengan signifikan. Penurunan frekuensi *cut-off* ini berpotensi untuk memperluas *bandwidth*, terutama pada frekuensi yang lebih rendah.



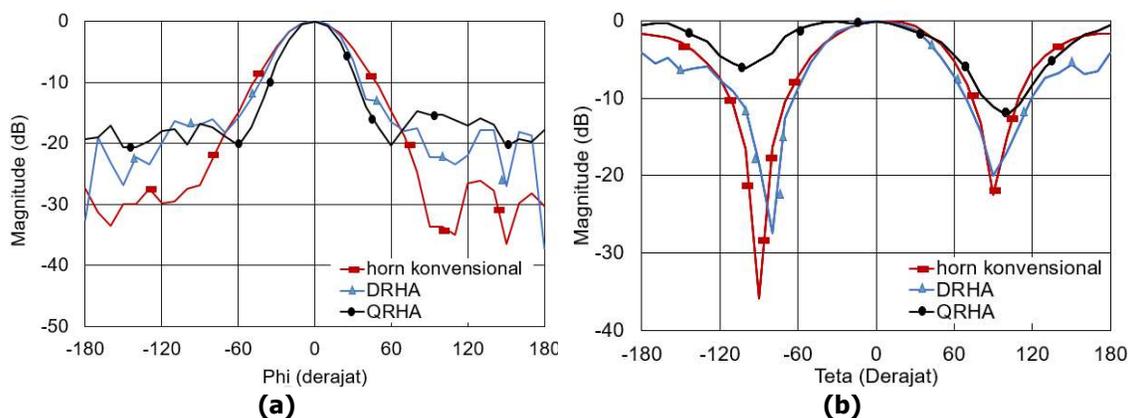
Gambar 10. Hasil Perbandingan Pengukuran Koefisien Refleksi Antena *Horn*



Gambar 11. Hasil Perbandingan Pengukuran *Gain* Antena *Horn*

Berdasarkan nilai koefisien refleksi di bawah $-9,5$ dB, yang setara dengan $VSWR \leq 2$, QRHA menghasilkan *bandwidth* sebesar 8,26 GHz yang beroperasi pada rentang frekuensi 4,44 GHz hingga 12,68 GHz. Sementara antenna *horn* konvensional mempunyai *bandwidth* sebesar 1.1 GHz yang bekerja pada frekuensi 11,4 GHz hingga 12,5 GHz. Sedangkan antenna DRHA memiliki potensi untuk beroperasi dalam rentang frekuensi sekitar 5,4 GHz hingga 12,2 GHz dengan *bandwidth* sebesar 6,8 GHz. Dari hasil karakterisasi terlihat bahwa antenna *horn* dengan penambahan *ridge* mampu beroperasi pada frekuensi yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan dimensi *horn* yang sama, penambahan *ridge* mampu menghasilkan *bandwidth* yang lebih luas dan memungkinkan digunakan untuk frekuensi yang lebih rendah. Dari hasil pengukuran koefisien refleksi, dapat disimpulkan bahwa QRHA dengan penambahan empat *ridge* menghasilkan pelebaran *bandwidth* yang lebih signifikan dibandingkan dengan DRHA yang hanya ditambahkan dua *ridge*. Dengan *bandwidth* yang lebih lebar maka pencitraan dengan menggunakan QRHA akan menghasilkan resolusi yang lebih baik dibandingkan DRHA dan antenna *horn* konvensional.

Efek Jumlah *Ridge* terhadap Performansi Antena *Horn* untuk Aplikasi Tomografi



Gambar 12. Hasil Perbandingan Pengukuran Pola Radiasi Antena *Horn* (a) Sudut Azimut (b) Sudut Elevasi

Selanjutnya, karakterisasi dilakukan dengan membandingkan ketiga antena *horn* berdasarkan dua parameter utama, yaitu *gain* dan pola radiasi. Hasil pengukuran *gain* dari ketiga antena *horn* ditampilkan pada Gambar 11. QRHA menunjukkan hasil *gain* yang hampir identik dengan antena *horn* konvensional, sementara DRHA mengalami penurunan nilai *gain*. Hal ini dapat dimengerti karena DRHA belum mencapai desain yang optimal. Dari hasil karakterisasi ini, dapat disimpulkan bahwa penambahan *ridge* tidak mempengaruhi parameter *gain* antena. Bahkan, penambahan empat *ridge* menghasilkan nilai *gain* yang hampir setara dengan antena *horn* konvensional.

Hasil pola radiasi yang dinormalisasi dari ketiga jenis antena dapat dilihat pada Gambar 12. Pengamatan pola radiasi dilakukan pada frekuensi 8 GHz untuk sudut azimut dan elevasi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penambahan *ridge* mampu mempersempit *beamwidth* antena *horn*, meskipun tidak ada perbaikan yang signifikan pada tingkat side lobe. QRHA menghasilkan *beamwidth* yang lebih sempit dibandingkan dengan DRHA dan antena *horn* konvensional. *Beamwidth* yang sempit sangat bermanfaat dalam aplikasi tomografi dan pemrosesan citra karena memungkinkan deteksi target dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Karakterisasi secara eksperimental pengaruh jumlah *ridge* terhadap performansi antena *horn* telah dipaparkan pada paper ini. Dengan desain yang optimum, antena *horn* dapat dimodifikasi menjadi tiga jenis antena yaitu antena *horn* konvensional, DRHA, dan QRHA. Penambahan *ridge* terbukti dapat melebarkan *bandwidth* dan menurunkan frekuensi operasi antena *horn*. Jumlah *ridge* yang ditambahkan juga berpengaruh terhadap performansi antena *horn*. QRHA dengan penambahan *ridge* sebanyak empat buah menghasilkan hasil yang lebih optimum untuk parameter *bandwidth*, *gain* dan *beamwidth*. *Bandwidth* antena *horn* dengan penambahan *ridge* meningkat sekitar 7 GHz untuk QRHA dan 5 GHz untuk DRHA. Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa penambahan *ridge* tidak terlalu berpengaruh secara signifikan terhadap parameter *gain* antena, akan tetapi penambahan *ridge* berhasil mempersempit *beamwidth* antena *horn*. Dengan *bandwidth* yang lebar dan *beamwidth* yang sempit, maka QRHA diharapkan akan menghasilkan hasil rekonstruksi objek yang lebih akurat. Selain daripada itu, QRHA juga memungkinkan untuk menghasilkan pola radiasi ganda yang sangat berguna untuk aplikasi tomografi. Sebagai lanjutan dari penelitian mengenai sistem tomografi untuk aplikasi dalam bidang agrikultur, QRHA usulan akan diaplikasikan untuk

proses pendeteksian objek. QRHA akan berperan sebagai antena pengirim dan penerima yang ditempatkan di antara objek yang akan dideteksi. Harapannya, QRHA dapat efektif digunakan dalam proses akuisisi data. Data yang dihasilkan dari deteksi objek tersebut kemudian diolah dengan menggunakan teknik pengolahan sinyal tertentu untuk menghasilkan rekonstruksi dari objek yang telah dideteksi.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdelgwad, A. H. & Said, T. M. (2017). Design of Ground Penetrating Radar Antenna for Detecting Soil Contamination at L-band Frequencies, *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, 16(3), 853–866.
- Al-Zuhairi, D.T., Gahl, J.M., & Islam, N.E. (2017). Compact Dual-Polarized Quad-Ridged UWB Horn Antenna Design for Breast Imaging, *Progress in Electromagnetics Research C*, 72, 133-140. <https://doi.org/10.2528/pierc16121405>.
- Al-Joumayly, M. A., Aguilar, S. M., Behdad, N., & Hagness, S. C. (2010). Dual-Band Miniaturized Patch Antennas for Microwave Breast Imaging. *IEEE antennas and wireless propagation letters*, 9, 268. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2010.2045871>.
- Amiri, A. (2015). Multi-band and dual-polarised ultra-wide band horn antenna for landmine detection using ground penetrating radar technique. University College London.
- Amjadi, H., Hamedani, F.T., & Zaman, M.I. (2012). A comparison of double-ridged and quad-ridged horn antenna for microwave tumor detection, *2012 15 International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics ANTEM*, (pp. 1-4). <https://doi.org/10.1109/ANTEM.2012.6262423>.
- Boero, F., Fedeli, A., Lanini, M., Maffongelli, M., Monleone, R., Pastorino, M., Randazzo, A., Salvadè, A., & Sansalone, A. (2018). Microwave Tomography for the Inspection of Wood Materials: Imaging System and Experimental Results, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66, 3497-3510. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2018.2804905>.
- Chung, K., Pyun, S., Chung, S., & Choi, J.H. (2003). Design of a wideband TEM horn antenna. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. Digest. Held in conjunction with: USNC/CNC/URSI North American Radio Sci. Meeting (Cat. No.03CH37450), 1, (pp. 229-232).
- Demirel, S.E., Çalışkan, A., Mersin, M.T., Türk, A.S., Belen, M.A., & Mahouti, P. (2016). Design of Dielectric Lens Loaded Double Ridged Horn Antenna for Millimetre Wave Application. *2016 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications (MIKON)*, (pp. 1-4).

- Dubrovka, F.F., & Sushko, A.J. (2010). Improvement of characteristics of UWB double ridged horn antennas. *2010 5th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals*, (pp. 45-47). <https://doi.org/10.1109/UWBUSIS.2010.5609086>.
- Genc, A., Basyigit, I.B., Goksu, T., & Helhel, S. (2017). The comparison of the characteristics of the double-ridged horn antennas depending the geometry of ridge profiles for wideband application. *2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS)*, (pp. 1553-1557). <https://doi.org/10.1109/PIERS.2017.8261994>.
- Ghorbani, M., & Khaleghi, A. (2011). Double ridged horn antenna designs for wideband applications. *2011 19th Iranian Conference on Electrical Engineering*, (pp. 1-4).
- Gilmore, C., Mojabi, P., Zakaria, A., Ostadrahimi, M., Kaye, C., Noghianian, S., Shafai, L., Pistorius, S., & Lovetri, J. (2010). A Wideband Microwave Tomography System With a Novel Frequency Selection Procedure, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *57*, 894-904. <https://doi.org/10.1109/TBME.2009.2036372>.
- Khalid, N., Ibrahim, S.Z., & Karim, M.N. (2016). Directional and wideband antenna for ground penetrating radar (GPR) applications, *2016 3rd International Conference on Electronic Design (ICED)*, 203-206. <https://doi.org/10.1109/ICED.2016.7804637>.
- Kujalowicz, M., Zieniutycz, W., & Mazur, M. (2006). Double-ridged Horn Antenna with Sinusoidal Ridge Profile. *2006 International Conference on Microwaves, Radar & Wireless Communications*, (pp. 759-762).
- Mobashsher, A. T. & Abbosh, A. M. (2015). Developments of tomography and radar-based head imaging systems, *2015 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, (pp. 1-3).
- Munir, A., F. Oktafiani & A. Izzuddin (2012). "Shape enhancement and size reduction of UWB printed monopole antenna," in *Proceedings of International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), Singapore, Nov. 2012*, (pp. 224–226).
- Munir, A. & R. B. V. B. Simorangkir (2017). "Performance enhancement of cavity-backed UWB printed monopole antenna," in *Proceedings of IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC), Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 2017*, (pp. 584–587).
- Oktafiani, F., Syihabuddin, B., Hamid, E. Y., & Munir, A (2019). "Dual-polarized wideband horn antenna with lower frequency extension for microwave imaging application," in *Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Rome, Italy, Jun. 2019*.
- Oktafiani, F., Hamid, E.Y., & Munir, A. (2019). Performance Evaluation of Quad-Ridged Horn Antenna in Variation of Its Ridge Profile. *TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, (pp. 214-217).

- Pandey, G.K., Singh, H.S., Bharti, P.K., Pandey, A., & Meshram, M.K. (2014). High gain Vivaldi antenna for radar and microwave imaging applications. *International Journal of Signal Processing Systems*, 3(1), 35–39. <https://doi.org/10.12720/ijsp.3.1.35-39>.
- Panzner, Berthold & Jöstingmeier, A., & Omar, Abbas. (2010). A compact double-ridged horn antenna for ground penetrating radar applications. *18-Th International Conference On Microwaves, Radar And Wireless Communications, Vilnius, Lithuania, 2010*, (pp. 1-4).
- Patel, D. J., & Suthar, D. A. (2016). Design of corrugated conical Gaussian profiled horn antenna for multi beam application, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(5), 2145–2150.
- Pratama, A.S., Basari, Lubis, M.F., Zulkifli, F.Y., & Rahardjo, E.T. (2015). A UWB antenna for microwave brain imaging, *2015 IEEE 4th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)*, (pp. 326-327). <https://doi.org/10.1109/APCAP.2015.7374391>.
- Puri, M., Dhanik, S.S., Mishra, P.K., & Khubchandani, H. (2013). Design and simulation of double ridged horn antenna operating for UWB applications. *2013 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, (pp. 1-6). <https://doi.org/10.1109/INDCON.2013.6725860>.
- Rahiman, M. H. F., Wan Kiat, T. T., Ping Jack, S., & Abdul Rahim, R. (2015). Microwave Tomography Application and Approaches - A Review, *Jurnal Teknologi*, 73(3). <https://doi.org/10.11113/jt.v73.4258>.
- Riaz, L. (2011). Design of ultra wideband antenna array for microwave tomography, University of Gavle.
- Shameena, V.A., Jacob, S., Mridula, S., Aanandan, C.K., Vasudevan, K., & Mohanan, P. (2011). A compact modified ground CPW fed antenna for UWB applications. *2011 XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium*, 1-4.
- Solis Nepote, M., Rodriguez Herrera, D., Tapia, D.F., Latif, S.I., & Pistorius, S. (2014). A comparison study between horn and Vivaldi antennas for 1.5–6 GHz breast microwave radar imaging, *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*, 59-62. <https://doi.org/10.1109/EUCAP.2014.6901692>.
- Wahab, Y.A., Rahim, R.A., Rahiman, M.H., Aw, S.R., Yunus, F.R., Goh, C.L., Rahim, H.A., & Ling, L.P. (2015). Non-Invasive Process Tomography in Chemical Mixtures - A Review. *Sensors and Actuators B-chemical*, 210, 602-617, <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2014.12.103>.