

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA *BICONICAL ULTRA WIDE BAND* UNTUK MENDETEKSI KOTORAN PADA MAKANAN CAIR

DESIGN AND REALIZATION OF ULTRA WIDE BAND BICONICAL ANTENNA TO DETECT OBSTACLE IN LIQUID FOOD

Bagus Kurnia¹, Bambang Sumajudin², Yusuf Nur Wijayanto³

¹²³Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung

¹baguskurnia1010@gmail.com, ²bsn@stttelkom.ac.id, ³ynwijayanto@gmail.com

Abstrak

Food radar adalah sistem sensor yang dibuat untuk makanan emulsi dan *pumpable* seperti makanan bayi, yogurt, atau produk olahan tomat. Sistem bisa mendeteksi benda asing yang lebih padat (logam, batu, dan kaca) dan kontaminan seperti kayu, plastik, tulang, benda lain yang ada di sayuran dan serangga. Sistem membutuhkan satu meter pipa yang terdiri sebuah panel operator, unit pembuangan, penyangga pipa, dan unit sensor. *Food radar* menggunakan *microwaves* di dalam pipa atau di luar pipa yang bisa menutupi diameter pipa.

Ketika ada sesuatu datang melewati pipa yang mempunyai dielektrik yang berbeda dari dielektrik makanan maka dielektrik benda asing akan mengubah *noise level* dan dari situlah diketahui bahwa ada benda asing. Jadi makanan yang melewati pipa menjadi acuan dan jika ada benda lain yang melewati sistem maka benda tersebut akan terdeteksi sebagai benda asing.

Kemudian ada sebuah algoritma yang mengirimkan sinyal untuk membuat katup terbuka dan membuang benda asing tersebut. Salah satu hal yang sangat penting dalam sistem ini adalah antenna sebagai media untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik. Pada perancangan ini dibutuhkan antenna *biconical* yang bekerja di frekuensi *Ultra Wide Band* (UWB) 8 GHz sampai 12 GHz.

Kata kunci: *Ultra Wide Band* (UWB), Antena *Biconical*.

Abstract

Food radar is a system sensor that is made for emulsion food and pumped like baby food, yogurt, or tomato processed products. The system can protect more dense foreign objects (metals, rocks and glass) and contaminants such as wood, plastic, bone, other objects in vegetables and insects. The system requires one meter pipe consisting of panel operators, dispensing units, pipe supports, and sensor units. Radar food uses microwaves in pipes or outside pipes that can cover the diameter of the pipe.

When something comes through a pipe that has a dielectric that is different from a food dielectric, the dielectric of a foreign object will change the noise level and that is where a foreign body is known. So food that passes through the pipe becomes a reference and there are other objects through the system so that the object will be carried as a foreign object.

Then there is an algorithm that sends signals to make the valve open and throw away the objects. One of the things that is very important in this system is the antenna as a medium for radiating electromagnetic waves. In this design, bicycal antennas that work on *Ultra Wide Band* (UWB) 8 GHz to 12 GHz are needed.

Keywords: *Ultra Wide Band* (UWB), Antenna *Biconical*.

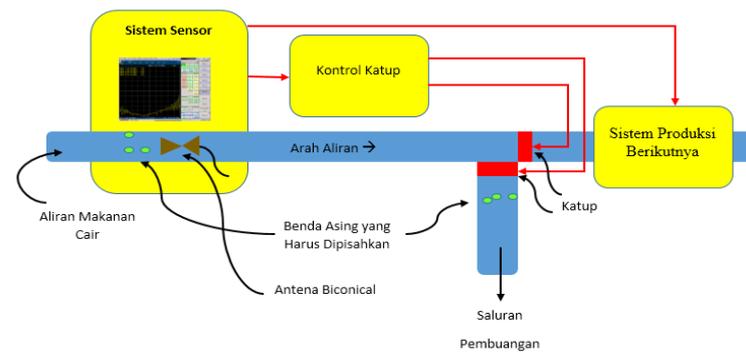
1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi radar sudah masuk ke dalam pengolahan makanan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendeteksi benda asing atau kotoran dalam makanan cair seperti yogurt, minuman ringan, olahan tomat, dan lain-lain atau bisa disebut juga *food radar*. Sistem *food radar* diperlukan untuk mendeteksi benda asing yang masuk melalui saluran pipa hal ini dimaksudkan untuk menjaga tingkat kebersihan dari makanan tersebut. *Food radar* menggunakan *microwaves* di dalam pipa atau di luar pipa yang bisa menutupi diameter pipa.

Ketika ada sesuatu datang melewati pipa yang mempunyai dielektrik yang berbeda dari dielektrik makanan maka dielektrik benda asing akan mengubah *noise level* dan dari situlah diketahui bahwa ada benda asing. Jadi makanan yang melewati pipa menjadi acuan dan jika ada benda lain yang melewati sistem maka benda tersebut akan terdeteksi sebagai benda asing.

Kemudian ada sebuah algoritma yang mengirimkan sinyal untuk membuat katup terbuka dan membuang benda asing tersebut [1]. Salah satu hal yang sangat penting dalam sistem ini adalah antenna sebagai media untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik. Pada perancangan ini dibutuhkan antenna *biconical* yang bekerja di frekuensi *Ultra Wide Band* (UWB) 8 GHz sampai 12 GHz.

Sistem *food radar* yang ingin dibuat memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya. Jika sebelumnya menggunakan dua antenna yang berfungsi sebagai Tx dan Rx, pada penelitian ini *food radar* hanya memiliki satu antenna sebagai Tx dan Rx yang mana antenna tersebut berada di dalam saluran pipa. Skema perancangan sistem *food radar* bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perancangan Sistem *Food Radar*.

2. Tinjauan Pustaka

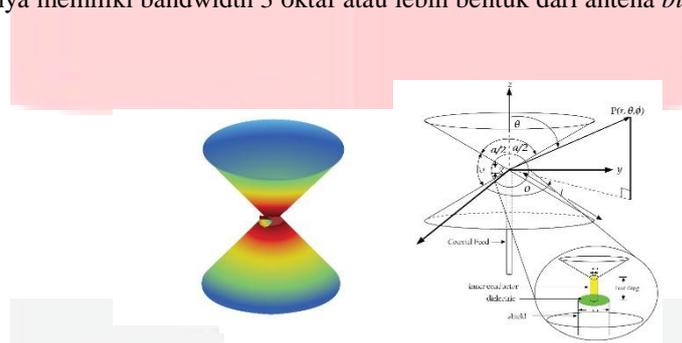
2.1 UWB

Ultra Wide Band (UWB) adalah teknologi baru untuk komunikasi nirkabel jarak pendek dengan kecepatan transfer data tinggi. Paten dalam komunikasi UWB diajukan oleh Ross pada tahun 1973. Namun, pada tahun 1989 bahwa istilah "*Ultra Wide Band*" muncul dalam publikasi departemen pertahanan di Amerika Serikat (AS) dan paten pertama dengan frasa yang tepat "*Antena UWB*" diajukan atas nama Hughes pada tahun 1993. Untuk menjamin keberadaan UWB dengan standar komunikasi lainnya, kekuatan transmisi yang disahkan selalu sangat rendah yang bisa membatasi pengembangan sistem komunikasi UWB dengan tingkat transfer data yang sangat tinggi dan / atau cakupan jarak yang lebih jauh. Hubungan sistem *Multiple Input Multiple Outputs* (MIMO) (yang memancarkan gelombang yang luas dengan menggunakan beberapa antena) dengan teknologi UWB semakin dipelajari. Ini tampaknya merupakan pendekatan yang sangat potensial untuk meningkatkan kapasitas, meningkatkan jangkauan, meningkatkan keandalan tautan dan meningkatkan gangguan pembatalan [2]. mendeteksi benda-benda yang tak diinginkan supaya produk tersebut dapat terjaga kualitasnya.

Teknologi *Ultra Wide Band* (UWB) adalah sistem komunikasi jarak pendek yang mempunyai *bandwidth* yang sangat lebar. Dengan *bandwidth* yang sangat lebar maka diperlukan suatu antena dengan *bandwidth* yang besar pula. Frekuensi UWB yaitu berada di 3.1 hingga 10.6 GHz, yang telah dialokasikan dan di standarisasi oleh FCC (*Federal Communication Commission*) pada tahun 2002 yaitu untuk perangkat komersil. Pada tahun 2007 *Office for Communication* (OfCom) menentukan standar untuk antena radar yaitu bekerja pada frekuensi 4,2 – 8,5 GHz. UWB memiliki kelebihan-kelebihan, yaitu *transceiver* yang lebih sederhana dan murah, daya kirim rendah dan *low interference*, *pathloss* rendah dan lebih tahan terhadap *multipath propagation*, *data rate* tinggi.

2.2 Antena Biconical

Antena *biconical* terdiri dari susunan dua konduktor berbentuk kerucut, yang digerakkan oleh potensial, muatan, atau medan magnet bolak-balik pada titik tersebut. Konduktor tersebut memiliki sumbu dan verteks. Kerucut-kerucutnya menghadap ke arah yang berlawanan. Antena *biconical* adalah antena dipol *broadband*, antena *biconical* biasanya memiliki *bandwidth* 3 oktaf atau lebih bentuk dari antena *biconical* sendiri bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Antena *Biconical*.

Ketika sistem nirkabel yang merupakan pilihan yang dapat dipertimbangkan untuk radio kognitif, UWB tampaknya menjadi salah satu pilihan yang tepat karena memiliki karakteristik yang dapat memenuhi beberapa persyaratan utama radio kognitif. Persyaratan ini termasuk tidak ada gangguan pada sistem yang berlisensi, bentuk pulsa yang dapat disesuaikan, *bandwidth*, daya yang ditransmisikan, dukungan berbagai *throughput*, penyediaan akses multi adaptif, dan keamanan informasi. Namun, tidak diklaim bahwa sistem nirkabel kognitif yang hanya menggunakan teknologi UWB dapat memenuhi semua persyaratan dari radio kognitif yang ideal. Kemajuan dalam konfigurasi ulang RF *front-end*, terutama antena *reconfigurable*, memberikan dimensi "perangkat keras" baru untuk mengoptimalkan kinerja sistem komunikasi nirkabel. Perkembangan terbaru dalam komunikasi, pengawasan dan *Electronics Support Measurer* (ESM) menuntut antena dengan *bandwidth* yang sangat lebar dan pola radiasi *omnidirectional*. Antena *broadband* telah banyak digunakan untuk aplikasi dalam sistem komunikasi nirkabel. Beberapa antena telah dilampirkan [3], untuk memenuhi persyaratan yang disebutkan di atas. Diantara

beberapa antenna antenna *biconical* dengan pola pancar *omnidirectional* – lah yang memenuhi persyaratan tersebut [4] - [5].

Peneliti menemukan bahwa baik antenna dipole atau monopole, penebalan *arm* akan meningkatkan *bandwidth*. Jadi, untuk antenna dipole atau monopole yang memiliki *arm* yang tebal, distribusi arus tidak lagi sinusoidal, dimana fenomena ini sangat mempengaruhi pola radiasi antenna. Oleh karena itu, hal ini sangat mempengaruhi impedansi input. Efek pelebaran band ini bahkan lebih parah jika dipol yang dimaksud berbentuk antenna *biconical*. Antenna *biconical* bergerak ke arah satu kerucut yang menyajikan *bandwidth* impedansi yang cocok yang sangat terbatas tetapi fase stabil *bandwidth* yang terpusat. Evolusi lain dari antenna *biconical* adalah antenna *bow-tie*, atau versi datar dari antenna bikonikal. Beberapa teknik juga telah dicoba untuk meningkatkan *bandwidth* antenna, misalnya, penggunaan pelat *beveling*, *feed* ganda atau pengaturan *feed* asimetris, *feed* strip berbentuk trident dll. Namun, tidak untuk struktur planar karena *ground plane*-nya tegak lurus dengan radiator.

Antenna *biconical* pertama kali diperkenalkan oleh Schelkunoff. Secara teori, baik impedansi masukan dan pola radiasi dari antenna *biconical* tak terbatas, oleh karena itu pola radiasi dan impedansi masukan tidak bergantung pada perubahan frekuensi. Berkenaan dengan antenna *biconical* yang terbatas, baik impedansi masukan dan pola radiasi berubah seiring perubahan frekuensi. Antenna *biconical* digunakan dalam sistem yang membutuhkan cakupan 360 derajat dalam bidang azimut dengan cakupan tertentu dibidang elevasi [6]. Pada Tahun 2003, J. D. Morrow mengusulkan antenna *biconical* yang mencakup rentang frekuensi 3,1 GHz hingga 10,6 GHz [7]. Akhir D.N. Black, Jr. dan T.A. Brunasso mengembangkan antenna *biconical* impedansi tinggi meliputi 25 MHz hingga 6 GHz [8]. Baru-baru ini, S. Zahrah Sapuan, A. Kazemipour, M. Zazar dan M. Jenu mengembangkan antenna *biconical* yang cocok untuk digunakan sebagai antenna kalibrasi dalam pita frekuensi 200 MHz hingga 2 GHz [9].

3. Perancangan Sistem

3.1 Metode Perancangan Antena UWB

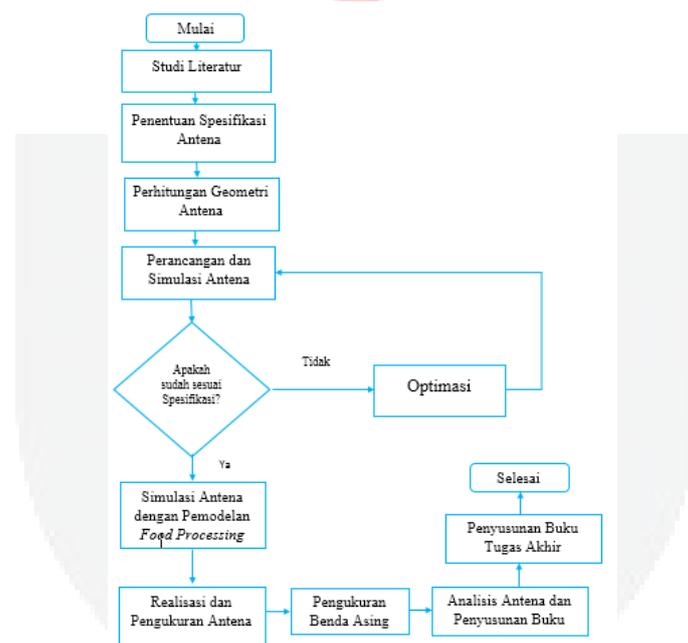
Antena yang digunakan dalam penelitian ini adalah antenna bikonikal. Antenna bikonikal dibuat dengan menggunakan bahan kuningan dengan ketebalan 1 mm. Kuningan memiliki nilai yang ekonomis dengan konduktivitas termal yang sangat baik. Berikut merupakan tabel perhitungan dimensi antenna.

Tabel 1. Nilai Parameter Dimensi Antena Bikonikal.

Komponen	Dimensi
Diameter Cone	80 mm
Tinggi Cone	60 mm
Gap antar Cone	3 mm

3.2 Metode Eksperimen

Antenna bikonikal pada penelitian ini dibuat dengan simulasi menggunakan CST *Microwave Studio*. Setelah dilakukan simulasi kemudian antenna masuk pada tahap realisasi. Antenna bikonikal hanya dibuat satu saja. Setelah tahap realisasi kemudian masuk pada tahap pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan mengukur parameter dalam dan luar antenna kemudian pengukuran antenna benda asing atau kotoran. Metode eksperimen yang akan dilakukan seperti Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Metode Eksperimen.

3.3 Skenario Pengukuran

Dalam pengukuran ini terdapat dua pengukuran, yang pertama adalah pengukuran antenna dan yang ke dua adalah pengukuran antenna dengan benda asing.

3.3.1 Skenario Pengukuran Antena

Dalam jurnal ini, hasil simulasi antena yang telah selesai disimulasikan kemudian difabrikasi untuk memasuki tahap pengukuran parameternya. Ukuran antena yang telah difabrikasi sesuai dengan hasil perhitungan dan simulasi. Pada Gambar 4 adalah hasil antena yang telah di fabrikasi.



Gambar 4. Antena Hasil Fabrikasi.

Dalam pengukuran antena yang telah difabrikasi perangkat yang diperlukan adalah VNA ADVANTEST R3770 dan kabel penghubung. Pada Gambar 5 antena dipasang pada kabel penghubung dari VNA. VNA adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur parameter antena seperti VSWR, dan *bandwidth*. Kabel penghubung adalah alat penghubung yang terpasang di VNA dan dihubungkan dengan antena *biconical* yang telah difabrikasi.

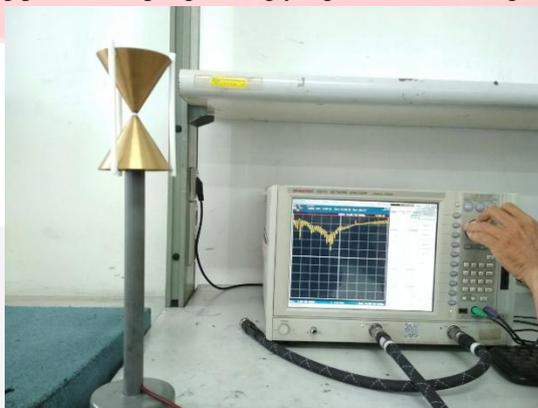


Gambar 5. Perangkat Pengukuran Antena.

Prosedur pengukuran antena *biconical* adalah sebagai berikut:

- Memasang kabel penghubung dan antena *biconical* di port 1.
- Melakukan kalibrasi VNA. Tujuan kalibrasi adalah menjadikan alat ukur dalam kondisi standar, sehingga mampu menghasilkan pengukuran yang akurat.
- Mengatur rentang frekuensi kerja antena *biconical* yang diukur.
- Melakukan pengukuran VSWR, dan *bandwidth*.

Pada Gambar 6 pengukuran antena *biconical* dilakukan di Kantor Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung. Antena dipasang pada kabel penghubung yang sudah terhubung dengan VNA.



Gambar 6. Skenario Pengukuran Antena Hasil Fabrikasi.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran parameter luarnya yaitu *gain*, dan pola radiasi. Prosedur pengukuran dengan menggunakan *signal generator*, *spectrum analyzer*, dan antena standar atau referensi. Skema pengukuran *gain* dan pola radiasi dapat dilihat pada Gambar 7.



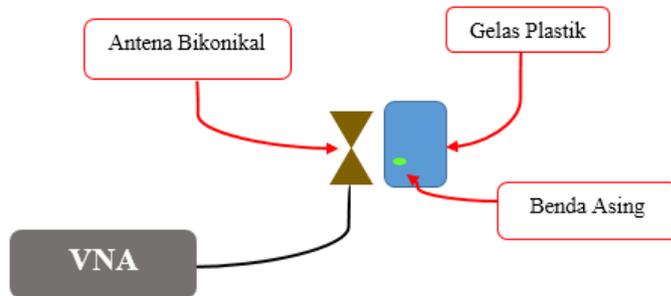
Gambar 7. Skema Pengukuran Gain dan Pola Radiasi.

3.3.2 Skenario Pengukuran Antena dengan Benda Asing

Prosedur pengukuran antena menggunakan dua metode. Metode yang pertama adalah metode UWB dengan menggunakan satu antena dan yang kedua adalah metode *Narrow Band*.

a. Metode UWB

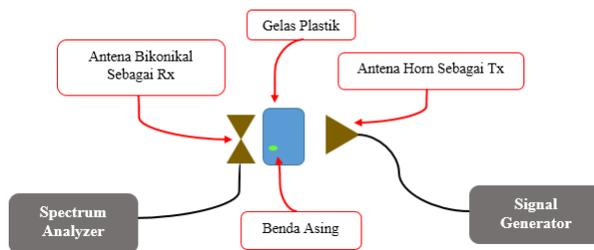
Metode pengukuran ini sama halnya dengan pengukuran parameter VSWR, dan *bandwidth*. Hanya saja ditambahkan benda asing dan air di sekitar antena. Skema pengukuran bisa dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema Pengukuran Benda Asing dengan Metode UWB.

b. Metode *Narrow Band*

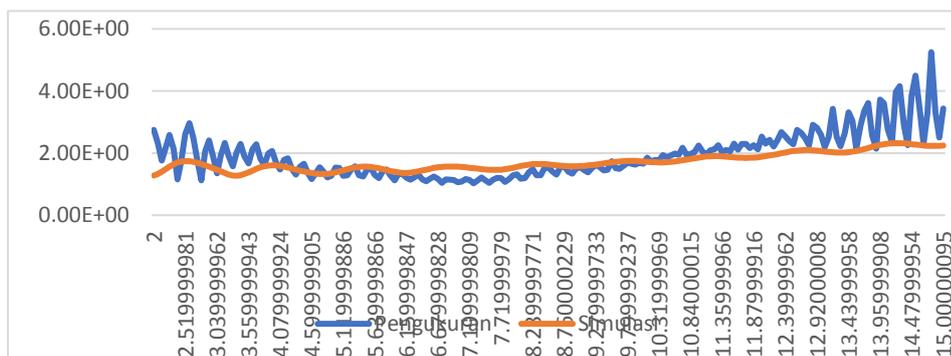
Metode pengukuran ini sama halnya dengan pengukuran parameter *gain*. Namun jarak antara antena Tx dan Rx sekitar 10 cm atau berdekatan dengan benda asing dan air. Skema pengukuran dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema Pengukuran Benda Asing dengan Metode *Narrow Band*.

4 Hasil dan Analisis

4.1 Hasil Pengukuran VSWR



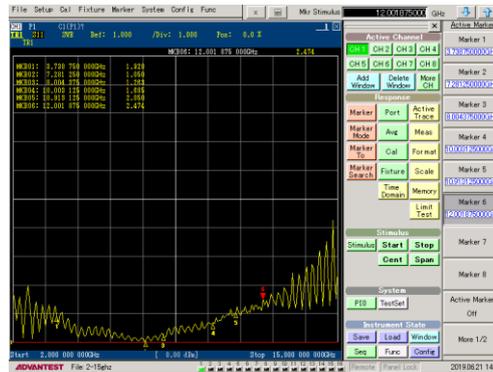
Gambar 10. Perbandingan VSWR Hasil Simulasi dan Pengukuran

Pada simulasi antena memiliki nilai VSWR sebesar 1.5224 pada frekuensi 10 GHz, dengan nilai VSWR minimum sebesar 1.3133 pada frekuensi 9.9892 GHz. Sementara pada realisasi nilai VSWR sebesar 1.688768

pada frekuensi 10 GHz, dengan nilai VSWR minimum sebesar 1.050 pada frekuensi 7.281 GHz pada rentang 8 GHz – 10 GHz. Antena dengan VSWR yang baik adalah antena yang memiliki VSWR dibawah 2. VSWR yang disimulasikan memiliki nilai dibawah 2 dan pada realisasi nilai VSWR-nya memiliki nilai dibawah 2. Terdapat perbedaan nilai antara simulasi dan realisasi yang dapat dilihat pada Gambar 10.

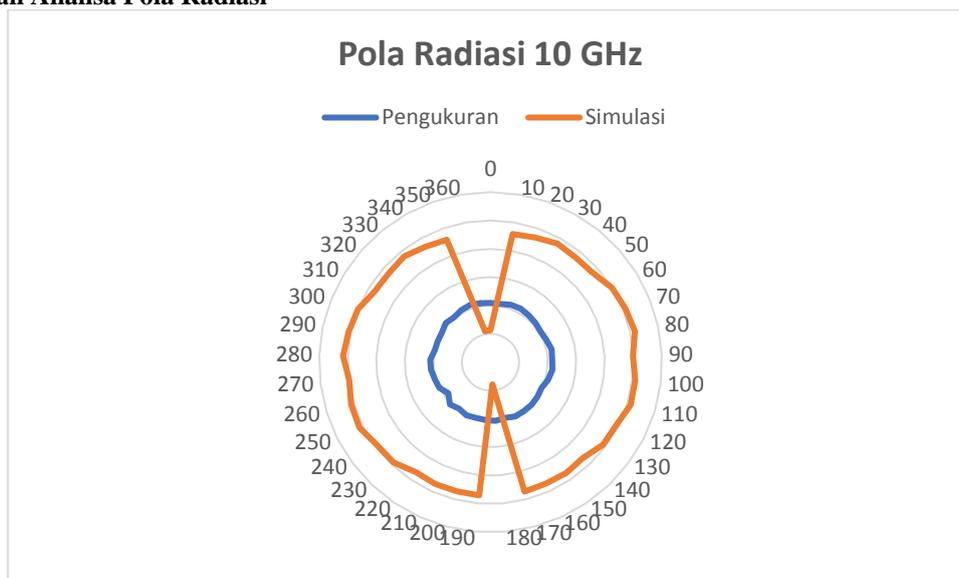
4.2 Hasil Simulai dan Pengukuran Bandwidth

Bandwidth adalah rentang frekuensi dimana antena bisa bekerja dengan baik. Untuk menentukan bandwidth dibutuhkan grafik VSWR. Bandwidth pada simulasi didapatkan antena bisa bekerja dengan baik pada frekuensi 8 GHz – 12 GHz yang mana nilai bandwidth mencapai 4 GHz. Sedangkan pada fabrikasi antena bisa bekerja dengan baik pada frekuensi 4 GHz – 6 GHz dengan nilai bandwidth hanya sebesar 2 GHz yang mana antena frekuensi kerjanya bergeser ke frekuensi yang lebih rendah. Terdapat perbedaan yang cukup jauh pada rentang frekuensi dan besaran nilai bandwidth. Tetapi antena frekuensi masih memenuhi syarat sebagai antena UWB (Ultra Wide Band) yang memiliki bandwidth lebih dari 500 MHz. Bandwidth hasil pengukuran bisa dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Bandwidth hasil Pengukuran.

4.5 Hasil dan Analisa Pola Radiasi



Gambar 12. Polarisasi Antena hasil Pengukuran.

Gambar 12 menunjukkan pola radiasi antena setelah mengalami pengukuran. Pola radiasi antena yang telah difabrikasi berbentuk lingkaran hampir rata keseluruhan penjurur ada daya yang fokus terpancar (peak). Hasil fabrikasi menunjukkan bahwa antena biconical sesuai dengan simulasi yaitu omnidirectional.

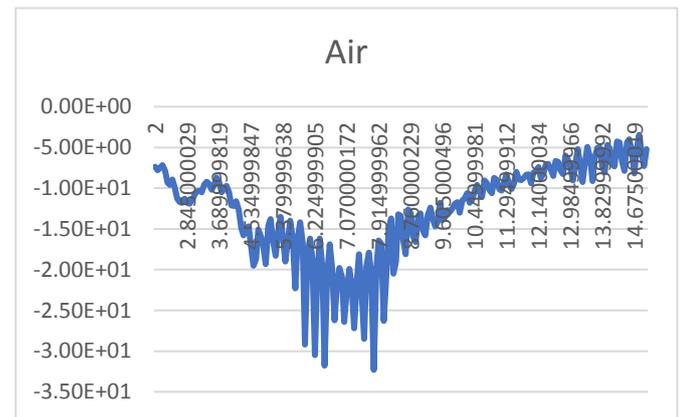
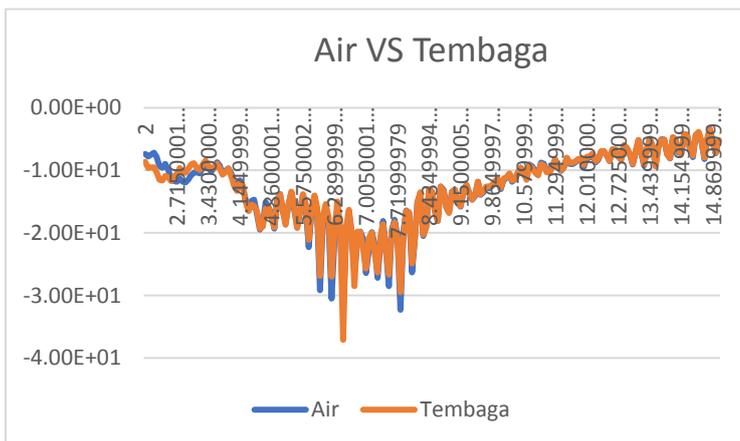
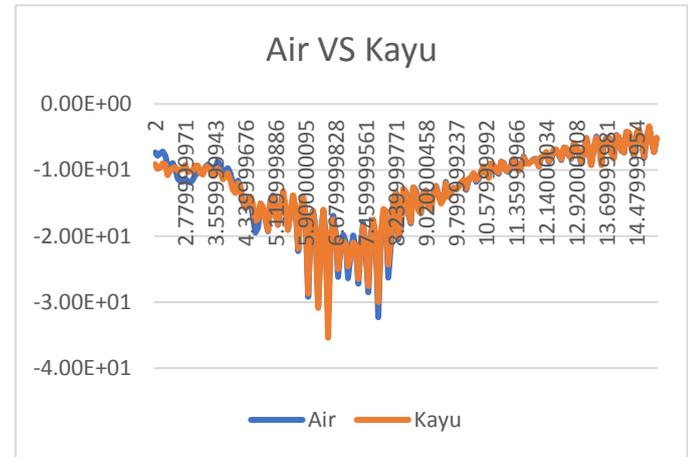
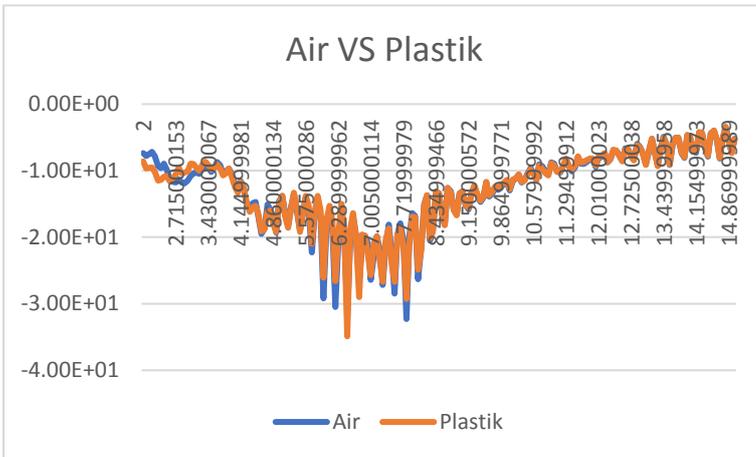
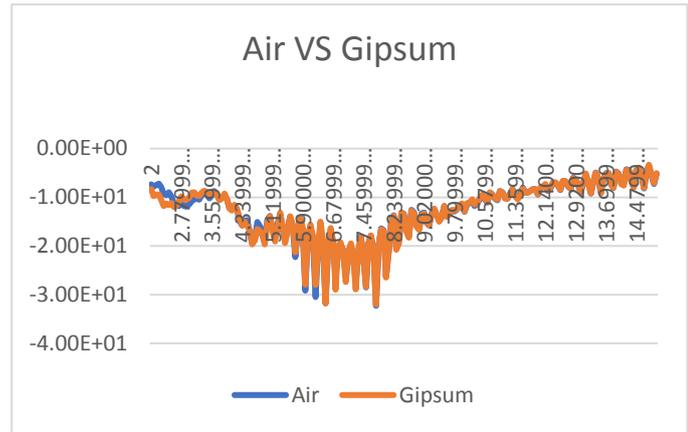
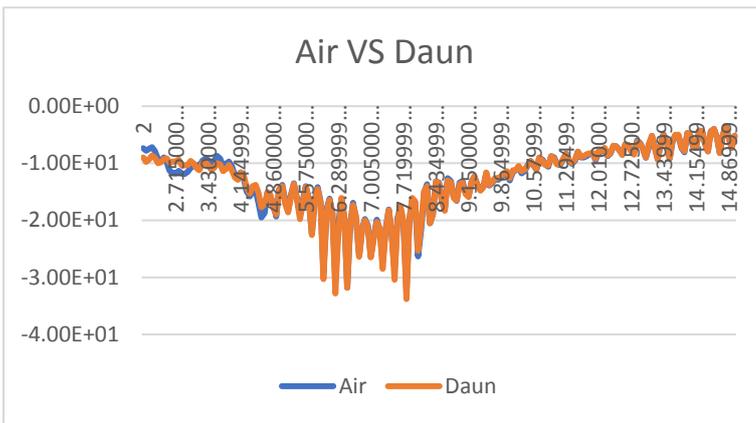
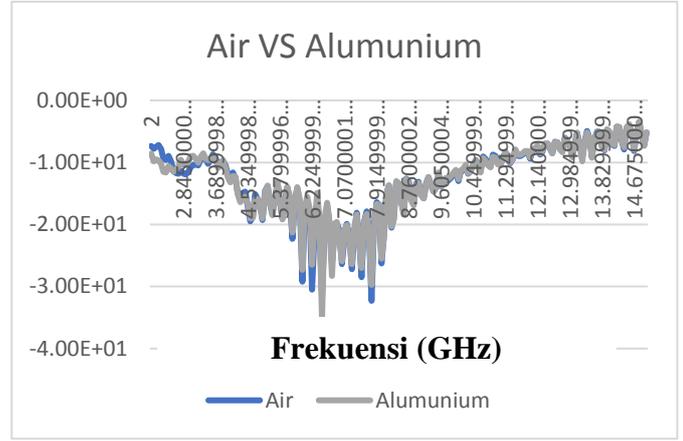
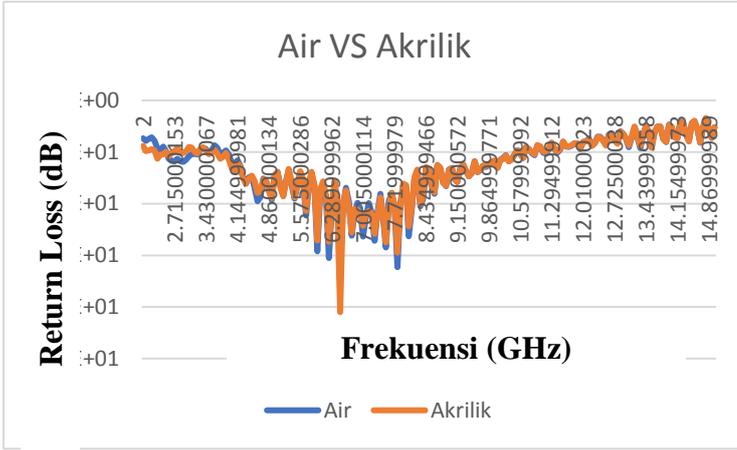
4.6 Hasil dan Analisa Gain

Tabel 2. Perbandingan Gain Pengukuran dan Simulasi

Gain	
Simulasi	Pengukuran
4,023 dBm	-1,92 dBm

Terjadi perbedaan nilai gain yang cukup besar antara simulasi dan fabrikasi. Gain hasil fabrikasi lebih kecil daripada simulasi. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor pada pengukuran yang kurang ideal, faktor antena itu sendiri. Tabel perbandingan dapat dilihat pada Tabel 2.

4.4 Hasil Pengukuran Benda Asing

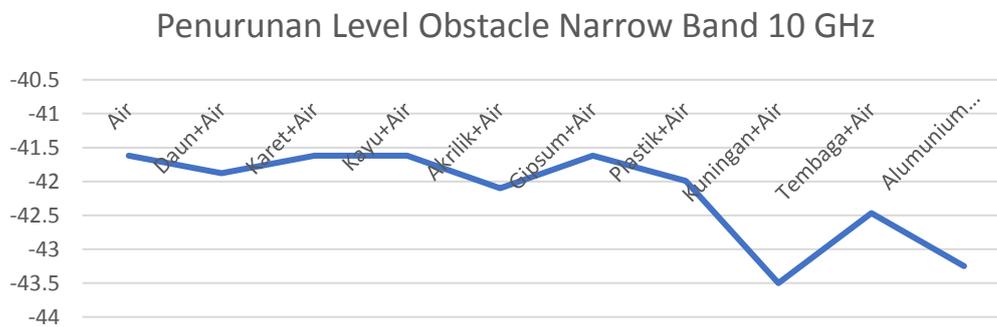


Gambar 11 (a) Air Vs Akrilik, (b) Air Vs Alumunium, (c) Air Vs Daun, (d) Air Vs Gypsum, (e) Air Vs Karet, (f) Air Vs Plastik, (g) Air Vs Kuningan, (h) Air Vs Tembaga, (i) Air Vs Kayu, (j) Air.

Hasil pengukuran *obstacle* terhadap *return loss* menunjukkan bahwa terjadi perubahan bentuk grafik *return loss* ketika ada *obstacle* atau kotoran yang berada di air. Perubahan tersebut terjadi sepanjang frekuensi kerja dari 2-15 GHz. Hal ini disebabkan adanya perbedaan dielektrik pada kotoran atau *obstacle* sehingga menyebabkan grafik air dengan air+kotoran berbeda. Dielektrik adalah kemampuan benda untuk menyerap energi yang melewati benda tersebut [10]. Perubahan bentuk grafik tiap-tiap jenis kotoran berbeda-beda tergantung dengan dielektrik dari benda itu sendiri. Sehingga mengakibatkan sistem bisa mendeteksi jenis kotoran apa yang berada di dalam air tersebut. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 13.

Pengukuran benda asing juga bisa dilakukan dengan menggunakan metode penurunan daya input di Rx dan frekuensi tetap (*narrow band*). Penurunan daya input di Rx diakibatkan konstanta dielektrik dari objek tersebut. Pengukuran ini menggunakan alat yang sama seperti pengukuran *gain* namun jarak dalam pengukuran ini diperkecil menjadi 10 cm, dan ditambahkan penghalang seperti pada Gambar 9.

Pengukuran menggunakan frekuensi 10 GHz dan daya input 0 dBm. Hasil Pengukuran pada frekuensi 10 GHz dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil Pengukuran Benda Asing 10 GHz.

Dari Gambar 14 bahwa ada beberapa benda asing yang tidak terdeteksi menggunakan metode ini. Kayu, akrilik, dan plastik tidak menunjukkan penurunan daya pada metode. Hal ini disebabkan karena nilai dielektrik benda tersebut kecil, dan terdeteksi di frekuensi lain.. Namun jika menggunakan metode UWB kayu, akrilik, dan plastik terjadi perubahan pada grafiknya walaupun hanya sedikit. Oleh sebab itu, UWB dibutuhkan dalam penelitian untuk mendeteksi benda-benda asing daripada *narrow band*. Kelebihan UWB bisa menentukan jenis-jenis benda asing apa yang melewati antenna. Dikarenakan tiap benda asing memiliki hasil yang berbeda-beda yang disebabkan dielektrik benda asing juga berbeda. Namun menggunakan metode UWB diperlukan pengolahan sinyal pada sistem sensor sehingga sistem bisa mendeteksi lebih akurat terhadap benda-benda asing.

5 Kesimpulan

Dari penelitian tugas akhir dengan judul “Perancangan Dan Realisasi Antena *Biconical Ultra Wide Band* Untuk Mendeteksi Kotoran Pada Makanan Cair” dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Antena *biconical* yang dirancang sesuai dengan frekuensi tengah yaitu 10 GHz namun frekuensi kerja atas berkurang ke 10 GHz.
2. Hasil *return loss* simulasi adalah -17.381 dB dan realisasi antenna adalah -11.66 dB.
3. *Bandwidth* simulasi adalah dari rentang 8 - 12 GHz tercapai sedangkan realisasi adalah 3.738 – 10.9 GHz.
4. Pola radiasi antenna yang dirancang dan direalisasikan memiliki pola radiasi *omnidirectional*.
5. Nilai *gain* simulasi adalah 4.023 dB dan realisasi antenna sebesar -1.92 dB

Daftar Pustaka

- [1] Joseph James Whitworth, "Food Radar Continues Work to Detect Contaminants," May 4, 2015. Available: <https://www.foodnavigator.com> [Diakses 7 Juli 2019, 18:56:59 WIB]
- [2] Foster, Charles, et al., "Assessment of Ultra-Wide Band (UWB) Technology," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, November, , pp. 45-49, 1990.
- [3] Chih-Ming SV and Kinslu Wong, "Narrow flat plate antenna for 2.4 GHz WLAN operation," Electron. Lett, vol.39, No: 4, pp. 344-345, 2003.
- [4] J.D. Kraus, Antennas, Mc Graw- Hill Book Company, New York, pp.217-229., 2006.
- [5] H. Jasik, Antenna Engg. Handbook, 1st ed., Mc Graw Hill Book Company, New York, pp. 3-10, 3-13, 1961.
- [6] D. Ghosh, T. K. Sarkar and E. L. Mokole," Design of a wide-Angle Biconical Antenna for Wide Band Communications," Progress in Electromagnetics Research B, Vol.16, 29-245, 2009.
- [7] Janett D. Morrow, "Shorted Biconical Antenna for Ultra-Wideband Application", in Proc. of IEEE Symp. pp. 143-146, 2003.
- [8] Donald N. Black, Jr. and Theresa A. Brunasso, "An Ultra - Wide Band Bicorne Antenna", in Proc. of IEEE Symp. pp. 327-332, 2006.
- [9] Syarfa Zahirah Sapuan, Alireza Kazemipour, Mohd Zarar and Mohd Jenu, "Direct Feed Biconical Antenna as a Reference Antenna", IEEE International RF and Microwave Conference, pp. 5- 8, 2011.
- [10] Magdy F. Iskander, "Electromagnetic Fields and Waves", University of Utah: Waveland Press, pp. 181,1992.

