

Evaluasi Kinerja Antena UWB Cone Es Krim untuk Aplikasi IoT Berbasis 5G melalui Simulasi Pola Radiasi

Ahmad Arif

Department of Engineering, Universitas Al-Azhar, Medan, Indonesia

ahmadarifstmt@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10 Oktober 2025

Revised: 28 Oktober 2025

Accepted: 05 November 2025

Keywords:

Antena UWB,
Jaringan 5G,
Pola radiasi,
Kinerja antena UWB

Published by

Impressio : Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Kemajuan pesat teknologi komunikasi nirkabel membutuhkan sistem antena efisien yang mendukung transmisi data berkecepatan tinggi dan latensi rendah, terutama untuk aplikasi 5G dan IoT. Penelitian ini mengevaluasi pola radiasi dua dimensi (2D) antena berbentuk kerucut es krim yang beroperasi pada frekuensi pusat 6 GHz dalam spektrum Ultra-Wideband (UWB). Menggunakan MATLAB dan model matematika yang disederhanakan, sepuluh variasi pola radiasi disimulasikan berdasarkan fungsi sinus dan kosinus pada sudut elevasi (θ) dan azimuth (ϕ). Hasilnya menunjukkan bahwa pola seperti $\sin^2(\theta)$, $|\cos(3\phi)|$, dan $\sin(\theta) \cos(\theta)$ memberikan distribusi daya yang sesuai untuk berbagai skenario IoT, baik statis maupun dinamis. Beberapa konfigurasi sangat efektif di lingkungan multipath atau dalam ruangan dengan cakupan tersegmentasi. Kinerja radiasi simetris dan omnidirectional dari desain kerucut mendukung konektivitas yang konsisten di semua arah. Selain itu, struktur geometrisnya memungkinkan fabrikasi dan penyetakan praktis untuk frekuensi tertentu. Secara keseluruhan, antena kerucut es krim menunjukkan potensi yang kuat untuk sistem komunikasi modern yang membutuhkan jangkauan luas dan efisiensi energi. Temuan ini berfungsi sebagai referensi dasar untuk desain fisik di masa mendatang dan implementasi antena UWB di dunia nyata dalam jaringan 5G dan IoT.

The rapid advancement of wireless communication technology necessitates efficient antenna systems that support high-speed, low-latency data transmission, particularly for 5G and IoT applications. This research evaluates the two-dimensional (2D) radiation pattern of an ice cream cone-shaped antenna operating at a center frequency of 6 GHz within the Ultra-Wideband (UWB) spectrum. Using MATLAB and a simplified mathematical model, ten radiation pattern variations were simulated based on sine and cosine functions over elevation (θ) and azimuth (ϕ) angles. The results reveal that patterns such as $\sin^2(\theta)$, $|\cos(3\phi)|$, and $\sin(\theta) \cos(\theta)$ provide power distributions suitable for various IoT scenarios, both static and dynamic. Some configurations are particularly effective in multipath or indoor environments with segmented coverage. The symmetrical and omnidirectional radiation performance of the cone design supports consistent connectivity across directions. Additionally, its geometric structure allows practical fabrication and tuning for specific frequencies. Overall, the ice cream cone antenna demonstrates strong potential for modern communication systems requiring broad coverage and energy efficiency. These findings serve as a foundational reference for future physical design and real-world implementation of UWB antennas in 5G and IoT networks.

Corresponding Author:

Ahmad Arif

Department of Engineering, Universitas Al-Azhar, Medan, Indonesia

Jl. Pintu Air IV No. 214, Kwala Bekala, Medan, Sumatera Utara, 20142

Email: ahmadarifstmt@gmail.com

PENDAHULUAN

Di era komunikasi modern, perkembangan teknologi nirkabel semakin pesat, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan kecepatan dan kapasitas transmisi data. Salah satu teknologi yang menjadi tulang punggung masa depan adalah jaringan 5G (generasi kelima)[1], yang menawarkan kecepatan tinggi, latensi rendah, dan konektivitas masif untuk perangkat Internet of Things (IoT)[2]. Keberhasilan implementasi jaringan ini sangat bergantung pada kinerja antenna yang digunakan, terutama pada pita frekuensi yang sangat lebar seperti Ultra-Wideband (UWB)[3]. UWB memiliki potensi besar dalam mendukung komunikasi 5G karena kemampuannya untuk mengirimkan data dalam jumlah besar dengan daya rendah. Antena merupakan komponen utama dalam sistem komunikasi nirkabel yang berperan dalam mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik, dan sebaliknya[4], [5]. Dalam konteks UWB, antena dituntut untuk memiliki karakteristik radiasi yang baik, respons frekuensi yang lebar[6], dan ukuran yang ringkas. Bentuk antena sangat menentukan kinerjanya, baik dari segi gain, directivity, maupun bandwidth. Salah satu pendekatan desain antena yang inovatif adalah penggunaan struktur berbentuk kerucut, terutama kerucut es krim, yang mampu memberikan kinerja radiasi yang simetris dan omnidirectional[7].

Antena kerucut es krim memiliki keunikan dalam desain geometrisnya yang menggabungkan struktur kerucut sebagai elemen radiasi utama dengan permukaan pemantul datar atau melengkung. Struktur ini memungkinkan radiasi gelombang elektromagnetik tersebar secara merata dalam ruang tiga dimensi, sehingga cocok untuk aplikasi IoT yang membutuhkan konektivitas dari berbagai arah. Selain itu, bentuk kerucut memungkinkan penyesuaian dimensi untuk mengatur resonansi pada frekuensi tertentu, termasuk pita 5G[8]. Dalam penelitian ini, antena kerucut es krim dirancang untuk bekerja pada frekuensi tengah 6 GHz[9], yang merupakan salah satu kanal penting dalam implementasi teknologi 5G[10]. Frekuensi ini dipilih karena berada dalam cakupan spektrum UWB dan sering digunakan dalam aplikasi komunikasi jarak pendek dan menengah. Evaluasi kinerja antena dilakukan dengan berfokus pada pola radiasi dua dimensi (2D), yaitu karakteristik daya radiasi terhadap sudut elevasi (θ) dan azimuth (ϕ)[11].

Simulasi pola radiasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB, dengan pendekatan model matematika sederhana yang merepresentasikan respons medan elektromagnetik antena kerucut. Meskipun simulasi ini tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi fisik sebenarnya, pendekatan ini efektif untuk memahami distribusi daya radiasi dan arah dominan radiasi antena[12]. Analisis berfokus pada representasi polar 2D yang menggambarkan intensitas radiasi pada bidang tertentu, sehingga dapat diinterpretasikan dalam konteks aplikasi IoT [13]. Hasil simulasi diharapkan dapat memberikan gambaran awal tentang kemampuan antena kerucut es krim dalam memancarkan gelombang elektromagnetik secara efisien dan merata. Dengan pola radiasi yang terdistribusi dengan baik, antena ini berpotensi untuk digunakan pada jaringan sensor atau perangkat IoT yang tersebar ke berbagai arah. Analisis pola radiasi juga membantu dalam menentukan arah radiasi maksimum (lobus utama) dan menilai apakah terdapat lobus samping yang signifikan yang dapat mengganggu sistem lain. Selain pola radiasi, aspek penting lain yang dipertimbangkan adalah stabilitas kinerja antena terhadap perubahan frekuensi, serta kemudahan fabrikasi desainnya. Desain kerucut umumnya memungkinkan realisasi sederhana menggunakan material konduktif ringan dan teknik manufaktur yang tidak rumit. Hal ini memberikan nilai tambah dalam konteks aplikasi industri, terutama untuk perangkat IoT berbiaya rendah namun berkinerja tinggi[14]. Dengan demikian, penelitian ini merupakan tahap awal dari serangkaian pengembangan antena inovatif berbasis bentuk geometris non-konvensional. Pendekatan simulasi melalui pola radiasi 2D memberikan fondasi yang kuat untuk analisis lebih lanjut dan validasi eksperimental di masa mendatang. Diharapkan hasil evaluasi ini dapat berkontribusi pada pemilihan desain antena UWB yang optimal untuk mendukung ekosistem 5G [15] dan IoT secara berkelanjutan.

URAIAN TEORI

Dalam sistem komunikasi nirkabel modern, antenna bertindak sebagai penghubung antara sirkuit elektronik dan gelombang elektromagnetik di udara. Kinerja antenna sangat bergantung pada bentuk fisik, material, dan lingkungan propagasi. Untuk aplikasi Ultra-Wideband (UWB), diperlukan antenna yang mampu beroperasi pada rentang frekuensi yang lebar dengan karakteristik radiasi yang stabil. Salah satu kandidat desain antenna UWB yang menarik adalah struktur berbentuk kerucut, karena memiliki geometri yang secara alami mendukung radiasi omnidirectional. Geometri ini memungkinkan penggunaan yang luas dalam sistem Internet of Things (IoT) berbasis 5G yang membutuhkan jangkauan luas. Teori medan elektromagnetik[16] yang mendasari desain antenna berasal dari hukum Maxwell. Persamaan Maxwell menggambarkan hubungan antara medan listrik (E), medan magnet (H), kerapatan fluks magnetik (B), dan kerapatan fluks listrik (D). Dalam medium isotropik homogen, persamaan gelombang untuk komponen medan listrik dapat diturunkan dari hukum Faraday dan hukum Ampère[17]. Persamaan gelombang secara umum adalah:

$$\nabla^2 E - \mu\epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

Di mana μ adalah permeabilitas dan ϵ adalah permitivitas medium. Ini adalah dasar perambatan gelombang dari antenna. Untuk antenna berbentuk kerucut, kita dapat menganggap antenna sebagai sumber radiasi yang memancarkan gelombang di ruang bebas. Penyelesaian persamaan gelombang dalam koordinat bola memberikan ekspresi untuk radiasi medan jauh antenna[18]. Dalam koordinat bola, komponen medan jauh (E_θ) biasanya dinyatakan sebagai fungsi sudut elevasi θ . Secara umum, pola radiasi di medan jauh untuk antenna kerucut dapat didekati dengan fungsi:

$$E(\theta) = E_0 \sin(\theta) \quad (2)$$

Di mana E_0 adalah konstanta amplitudo. Pola radiasi antenna menggambarkan bagaimana energi elektromagnetik dipancarkan ke arah tertentu[19]. Untuk analisis numerik, pola radiasi biasanya dinormalisasi ke daya radiasi maksimum. Normalisasi ini memudahkan perbandingan antar desain antenna yang berbeda. Normalisasi ini juga menyoroti arah di mana antenna memancarkan sinyal terkuat. Daya radiasi pada arah θ sebanding dengan kuadrat besar medan listrik, yaitu:

$$P(\theta) \propto |E(\theta)|^2 = E_0^2 \cdot \sin^2(\theta) \quad (3)$$

Ini menyiratkan bahwa radiasi maksimum terjadi pada $\theta = 90^\circ$, di mana $\sin^2(\theta) = 1$, dan nol (radiasi minimum) terjadi pada $\theta = 0^\circ$ dan $\theta = 180^\circ$. Distribusi seperti itu menghasilkan pola radiasi berbentuk donat, yang merupakan karakteristik dari banyak antenna omnidirectional termasuk antenna berbentuk kerucut yang sedang diselidiki. Pola ini menguntungkan untuk aplikasi yang memerlukan cakupan seragam dalam bidang azimuth, seperti perangkat Internet of Things (IoT) yang beroperasi di lingkungan 5G. Namun, dalam praktiknya, bentuk dan ukuran fisik antenna menyebabkan distorsi dari pola teoritis. Oleh karena itu, pendekatan simulasi sangat penting untuk memverifikasi kinerja antenna yang sebenarnya. Penggunaan MATLAB[20] sebagai alat simulasi memungkinkan pemodelan teoritis serta analisis numerik dalam domain 2D. Untuk menyederhanakan analisis, antenna kerucut dapat direpresentasikan sebagai susunan sumber titik dengan jarak kecil dan isotropik. Superposisi gelombang yang dipancarkan oleh setiap elemen membentuk pola total. Jika N elemen digunakan, maka medan total dalam arah θ dapat ditulis sebagai:

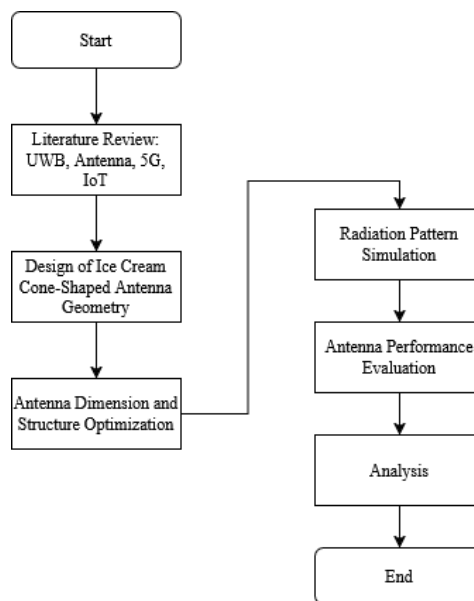
$$E(\theta) = \sum_{n=1}^N a_n \cdot e^{j(kr_n \cos\theta + \phi_n)} \quad (4)$$

Di mana a_n adalah amplitudo, ϕ_n adalah fase awal, dan r_n adalah posisi radial. Persamaan-persamaan ini membentuk dasar dari pendekatan array analitis. Dalam konteks simulasi MATLAB, kita dapat fokus pada evaluasi satu dimensi dalam ruang sudut. Fungsi sinus dan variasinya seperti $\sin^2(\theta)$,

$|\sin(2\theta)|$, atau $\sin(\theta) \cdot \cos(\theta)$ digunakan untuk mensimulasikan variasi desain antenna secara geometris. Pendekatan ini tidak sepenuhnya menggambarkan fisika realistis tetapi memberikan estimasi awal distribusi daya dalam domain 2D. Dalam pemodelan MATLAB, domain θ dari 0 hingga π diambil sebagai input untuk menghasilkan visualisasi pola dalam bentuk plot polar. Perlu dicatat bahwa fungsi-fungsi ini menunjukkan distribusi daya relatif, bukan absolut. Oleh karena itu, hasil simulasi harus dinormalisasi ke daya maksimum untuk mendapatkan bentuk pola yang sesuai dengan kenyataan. Bentuk visualisasi yang digunakan dalam analisis ini adalah grafik polar 2D, yang merepresentasikan hubungan antara sudut berkas dan daya radiasi. Ini sangat berguna untuk memahami arah dominan berkas energi dan untuk mengidentifikasi potensi interferensi atau side lobe. Representasi ini sangat penting dalam desain praktis. Untuk mengevaluasi efektivitas antenna ice cream cone dalam mendukung jaringan IoT berbasis 5G, simulasi dilakukan pada frekuensi 6 GHz. Frekuensi ini merupakan bagian dari rentang UWB dan banyak digunakan dalam sistem komunikasi generasi kelima. Simulasi difokuskan untuk memperoleh pola radiasi di bidang elevasi, yang relevan untuk menentukan kemampuan antenna dalam menjangkau perangkat IoT yang tersebar di permukaan bumi. Dalam penelitian ini, sepuluh variasi fungsi radiasi digunakan untuk merepresentasikan perubahan geometri atau gangguan lingkungan.

METODE PENELITIAN

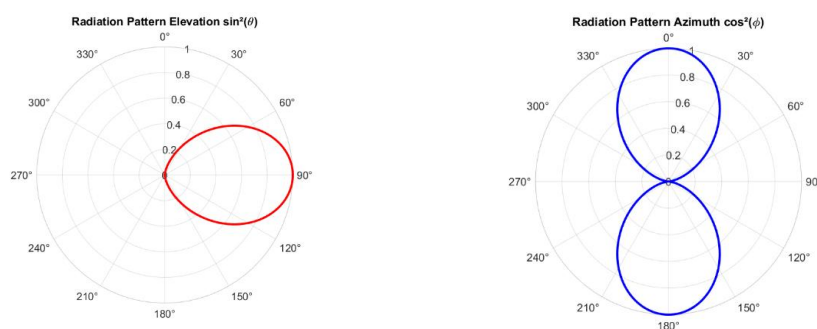
Hasil simulasi pola radiasi dianalisis untuk mengevaluasi parameter kinerja seperti arah radiasi maksimum (lobus utama), sebaran sinyal (beamwidth), dan kekuatan relatif lobus samping (level lobus samping). Pola-pola ini dibandingkan satu sama lain untuk menentukan konfigurasi bentuk kerucut es krim yang paling efektif. Selain itu, stabilitas pola terhadap interferensi juga diamati melalui variasi bentuk fungsi sudut yang digunakan dalam simulasi. Pendekatan ini memudahkan peneliti untuk merancang antenna praktis berdasarkan geometri yang telah teruji secara teoritis. Perlu dicatat bahwa meskipun simulasi berbasis fungsi matematika memberikan panduan awal, implementasi fisik memerlukan pendekatan numerik berdasarkan metode elemen hingga (FEM) atau metode momen (MoM). Oleh karena itu, tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah melakukan validasi eksperimental atau simulasi elektromagnetik realistis menggunakan perangkat lunak seperti CST Studio Suite. Meskipun demikian, simulasi MATLAB ini tetap memainkan peran penting dalam mengurangi kompleksitas desain awal dan menyaring konfigurasi yang secara teoritis tidak efisien. Tahap simulasi ini menjadi dasar bagi pendekatan praktis. Dengan memahami teori dasar gelombang elektromagnetik, model matematika pola radiasi, dan hubungan antara bentuk antenna dan distribusi daya, penelitian ini menyusun langkah-langkah evaluasi sistematis terhadap kinerja antenna kerucut es krim. Pendekatan teoritis dan simulasi ini memberikan fondasi yang kuat untuk desain antenna UWB untuk mendukung komunikasi 5G berbasis IoT. Semua tahapan penelitian, mulai dari identifikasi masalah, formulasi model matematika, pemrograman simulasi, hingga analisis hasil, dirangkum dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

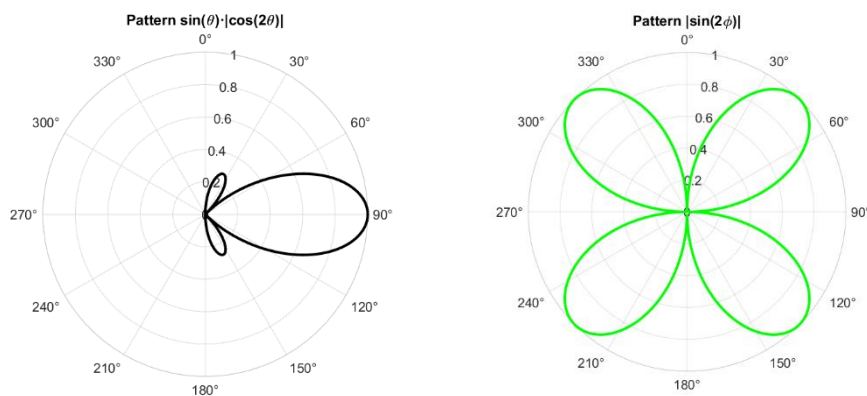
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Salah satu aspek penting dalam proses perancangan antenna adalah memahami bentuk geometri dua dimensi, yang berperan dalam menentukan arah radiasi, pola distribusi medan elektromagnetik, dan integrasi struktur antenna dengan substrat dan feedline. Dalam penelitian ini, antenna yang dikembangkan menggunakan pendekatan struktur kerucut es krim, yang dikombinasikan dengan permukaan reflektor setengah bola di bagian atasnya. Visualisasi dalam bentuk tampilan dua dimensi sangat penting untuk memahami konfigurasi struktur antenna dari berbagai sisi, terutama dalam konteks pengaruh dimensi fisik terhadap kinerja antenna secara keseluruhan. Untuk mengevaluasi kinerja antenna kerucut es krim dalam mendistribusikan energi elektromagnetik, analisis pola radiasi dua dimensi dilakukan pada bidang elevasi dan azimuth. Pola radiasi ini sangat penting untuk menentukan arah dominan propagasi sinyal dan menentukan kesesuaian antenna untuk aplikasi tertentu seperti sistem komunikasi 5G dan Internet of Things (IoT). Pola $\sin^2(\theta)$ menghasilkan sebaran maksimum pada sudut 90° , tipikal antenna omnidirectional. Sebaliknya, $\cos^2(\phi)$ menyoroti penyebaran azimuthal dengan arah maksimum pada $\phi = 0^\circ$ dan 180° . Keduanya menunjukkan karakteristik simetri yang penting untuk cakupan IoT. Dominasi arah tertentu menunjukkan perlunya orientasi antenna dalam sistem nyata. Pola ini menjadi dasar referensi untuk mengevaluasi modifikasi geometrik lebih lanjut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



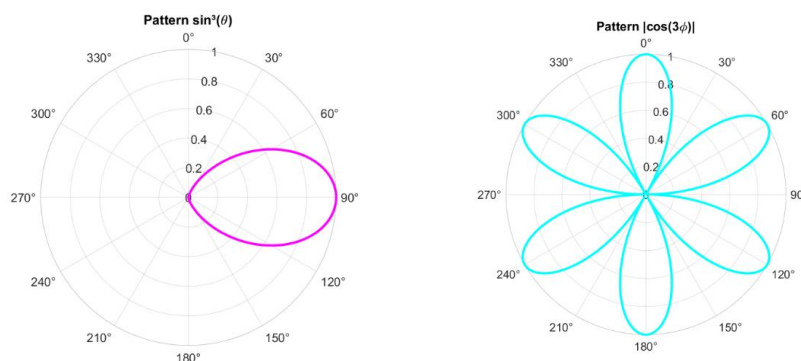
Gambar 2. Fungsi distribusi pola radiasi

Berdasarkan Gambar 2 di atas, kedua pola menunjukkan kinerja antenna kerucut yang ideal dalam skenario simetris. Distribusi yang stabil mendukung transmisi sinyal ke segala arah secara horizontal. Pola ini memberikan keuntungan di area yang luas seperti kota pintar atau sensor jaringan. Namun, kinerja aktual masih perlu dipelajari melalui variasi geometris dan fungsional. Orientasi maksimum pada sudut tertentu menunjukkan pentingnya arah pemasangan. Pola-pola ini menjadi standar perbandingan untuk desain tingkat lanjut. Pola radiasi menjadi lebih kompleks dan menunjukkan beberapa puncak intensitas. Hal ini menunjukkan kemungkinan pembentukan side lobe yang signifikan. Distribusi energi tidak lagi dominan dalam satu arah tetapi tersebar di seluruh sektor. Kondisi ini berguna untuk jaringan IoT yang terdistribusi secara acak di lingkungan tersebut. Namun, keberadaan side lobe juga berpotensi menyebabkan interferensi antar perangkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



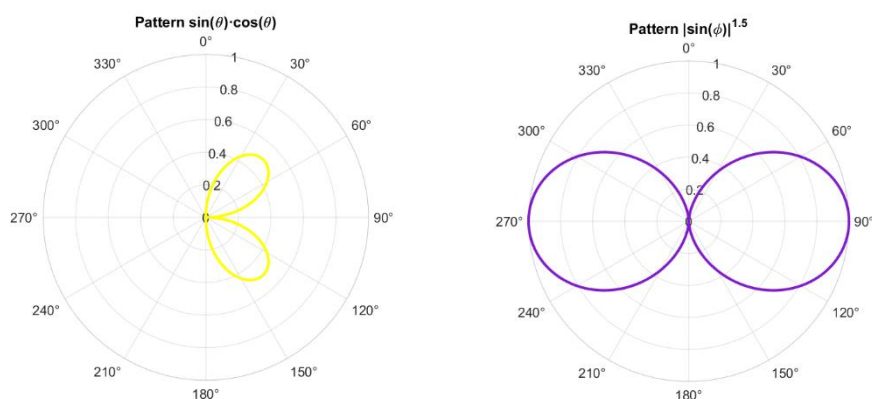
Gambar 3. Pola radiasi $\sin(\theta) \cdot |\cos(2\theta)|$ dan $|\sin(2\phi)|$

Gambar 3 di atas menunjukkan distribusi sebaran yang menunjukkan potensi perluasan cakupan di lingkungan padat. Namun, perlu diwaspadai keberadaan area nol atau arah dengan sinyal lemah. Pola ini cocok untuk kondisi IoT dengan topografi kompleks atau perkotaan. Keseimbangan antara cakupan dan interferensi harus dipertahankan melalui desain adaptif. Penggunaan $\sin(2\phi)$ menunjukkan respons yang lebih tajam daripada $\cos(2\theta)$. Hal ini dapat dimanfaatkan untuk selektivitas arah dalam komunikasi. Pola $\sin^3(\theta)$ menunjukkan konsentrasi daya yang lebih sempit di sekitar $\theta = 90^\circ$, sementara $|\cos(3\phi)|$ menghasilkan tiga lobus dominan pada bidang azimut. Keduanya menggunakan eksponen tinggi pada $\sin(\theta)$ dan $\cos(3\phi)$, yang menciptakan puncak tajam dalam distribusi radiasi. Variasi ini berguna untuk mengarahkan energi ke sektor tertentu dengan presisi yang lebih tinggi. Namun, semakin tajam polanya, semakin besar kemungkinan munculnya titik buta, yang perlu dipertimbangkan dalam desain sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



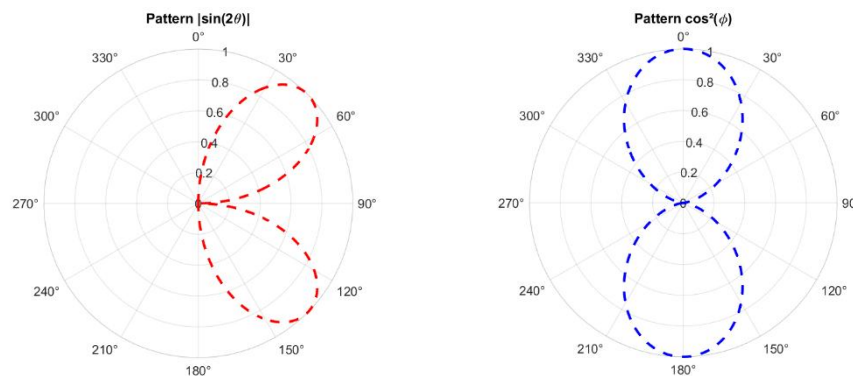
Gambar 4. Pola radiasi yang dipancarkan antenna.

Gambar 4 menunjukkan kinerja dengan intensitas tinggi pada arah tertentu. Arah pancaran menjadi lebih terfokus dan cocok untuk komunikasi titik-ke-titik. Namun, distribusinya tidak merata, sehingga tidak ideal untuk cakupan penuh. Rotasi antenna atau pendekatan array diperlukan untuk memperluas cakupan efektif. Pola $\sin^3(\theta)$ memiliki sidelobe yang lebih rendah daripada $\cos(3\phi)$, yang menunjukkan lebih banyak interferensi. Desain ini mendukung aplikasi dengan persyaratan bandwidth tinggi dan arah tetap. Distribusi daya lebih merata, mendukung transmisi multiarah dan mencerminkan stabilitas fluktuasi arah transmisi. Hal ini sangat penting dalam lingkungan komunikasi nirkabel yang dinamis, di mana perangkat pengirim dan penerima tidak selalu berada pada posisi tetap. Pola $|\sin(\phi)|^{1.5}$ menghasilkan mainlobe yang lebar, yang berarti antenna dapat memancarkan sinyal yang kuat ke area yang luas tanpa konsentrasi daya yang terlalu tajam. Hal ini mengurangi kemungkinan interferensi dengan perangkat lain karena energi tidak terfokus secara sempit pada satu arah. Sementara itu, kombinasi $\sin(\theta) \cdot \cos(\theta)$ menghasilkan bentuk radiasi yang lebih seimbang antara sisi kiri dan kanan sumbu utama radiasi. Pola ini menghasilkan dua lobus yang relatif simetris, menunjukkan distribusi energi yang stabil secara sudut. Karena tidak memiliki puncak yang sempit, pola ini lebih toleran terhadap perubahan orientasi antenna, seperti yang sering terjadi pada perangkat seluler atau portabel. Secara umum, kedua pola ini menekankan keseimbangan antara jangkauan dan keandalan sinyal. Keduanya cocok untuk digunakan dalam jaringan IoT dinamis, seperti sistem pelacakan kendaraan, pemantauan lingkungan seluler, atau komunikasi antar perangkat wearable. Selain itu, pola-pola ini juga mengurangi kemungkinan munculnya "zona mati", yaitu area tanpa jangkauan sinyal, yang sering menjadi masalah pada antenna dengan pola radiasi yang terlalu terfokus. Hal ini menjadikannya pilihan ideal untuk mengimplementasikan sistem komunikasi berbasis koneksi multi-nodal dengan mobilitas tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kombinasi pola radiasi $\sin(\theta) \cdot \cos(\theta)$ and $|\sin(\phi)|^{1.5}$

Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa pola ini menunjukkan desain antenna multipath yang ramah lingkungan. Radiasi yang tidak tajam mengurangi risiko interferensi antar kanal. Efektivitas transmisi meningkat dalam sistem IoT yang terdistribusi dan terus berubah. Karakteristik yang merata menjadi kekuatan dalam mobilitas pengguna. Namun, daya pancar per arah relatif lebih rendah daripada pola terfokus. Desain ini ideal sebagai antenna pancar umum dalam jaringan lokal. Distribusi radiasi yang luas juga meminimalkan kemungkinan kehilangan sinyal akibat pantulan dari objek di sekitarnya. Selain itu, pola ini memudahkan penempatan antenna tanpa harus mempertimbangkan arah orientasi secara tepat. Penggunaan $\sin(2\theta)$ menghasilkan dua lobus dominan pada arah elevasi. Sementara $\cos^2(\phi)$ menunjukkan karakteristik simetri terhadap sumbu vertikal. Model ini menggambarkan antenna dengan cakupan selektif ganda. Efektif untuk melayani perangkat dalam dua arah elevasi yang berbeda secara bersamaan. Namun, titik buta mungkin muncul di arah tengah karena radiasi minimum. Pola ini cocok untuk skenario komunikasi titik-ke-multititik dengan posisi terminal tetap. Tingkat direktivitas yang moderat memungkinkan distribusi sinyal yang efisien tanpa kehilangan daya yang besar. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pattern $|\sin(2\theta)|$ and $\cos^2(\phi)$ in the form of dashed lines.

Gambar 6 di atas menunjukkan bahwa pola dengan dua arah dominan menawarkan efisiensi dalam jaringan tersegmentasi. Distribusi ini cocok untuk gedung tinggi atau area yang terbagi menjadi dua. Pola simetri vertikal memungkinkan penggunaan antenna pada posisi horizontal. Namun, arah pemasangan menjadi sangat penting. Akurasi simulasi mendekati kondisi realistis geometri antenna kerucut. Model ini ideal untuk pengujian awal konfigurasi sempit atau di dalam ruangan. Pola ini juga memudahkan pengendalian jangkauan sinyal melalui rekayasa sudut berkas. Dengan dua lobus yang jelas, interferensi dapat diminimalkan di area yang tidak diinginkan, sehingga mendukung efisiensi spektrum dalam sistem komunikasi pengguna yang padat.

PENUTUP

Berdasarkan analisis dan hasil simulasi pola radiasi dua dimensi (2D) antenna kerucut es krim pada frekuensi tengah 6 GHz, dapat disimpulkan bahwa desain antenna ini memiliki potensi tinggi untuk mendukung komunikasi 5G dan aplikasi Internet of Things (IoT). Bentuk geometris kerucut memberikan karakteristik radiasi yang simetris dan merata, yang sangat dibutuhkan untuk menjangkau perangkat dari berbagai arah dalam jaringan IoT. Simulasi menggunakan pendekatan model matematika sederhana di MATLAB menunjukkan bahwa variasi pola sinyal terhadap sudut elevasi dan azimuth mampu memberikan gambaran distribusi daya yang efektif, dengan identifikasi arah utama radiasi (lobus utama) dan kemungkinan lobus samping. Desain antenna ini tidak hanya menjanjikan dalam hal kinerja elektromagnetik, tetapi juga memiliki keunggulan dalam hal kemudahan fabrikasi dan efisiensi biaya, yang sangat relevan untuk pengembangan perangkat IoT skala besar. Meskipun simulasi dilakukan dalam domain ideal, hasil yang diperoleh memberikan fondasi awal yang kuat untuk pengujian fisik lebih lanjut. Dengan demikian, antenna cone es krim ini dapat menjadi alternatif inovatif dalam pengembangan antenna UWB yang mendukung ekosistem 5G secara berkelanjutan dan efisien.

REFERENSI

- [1] S. Ismail *et al.*, "An Analysis of Width Feedline of Ice Cream Cone Antenna in 5G Technology for Internet of Things (IoT) Applications," in *2023 International Conference on Information Technology (ICIT)*, IEEE, Aug. 2023, pp. 599–603. doi: 10.1109/ICIT58056.2023.10226016.
- [2] A. H. Hasanudin *et al.*, "Internet of Things - Enabled Stress Surveillance When Pandemic Lockdown: Revolutionizing Resilience," in *2023 International Conference on Information Technology (ICIT)*, IEEE, Aug. 2023, pp. 604–608. doi: 10.1109/ICIT58056.2023.10225973.
- [3] S. Arora, S. Sharma, and R. Anand, "Ultra-Wideband Antenna with Quintuple Band Notches Integrated with Metamaterials," *Progress In Electromagnetics Research M*, vol. 122, pp. 41–52, 2023, doi: 10.2528/PIERM23090601.

- [4] I. Roza, Y. T. Nugraha, R. Rida, M. Irwanto, and Mohd. A. Othman, "Modeling of Glugur Substation grounding systems using MATLAB graphical user interface," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 15, no. 1, p. 15, Feb. 2025, doi: 10.11591/ijece.v15i1.pp15-23.
- [5] Y. T. Nugraha, C. I. Cahyadi, R. Rida, M. S. Ningsih, D. Sholeha, and I. Roza, "Application of the adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of the electrical energy production in Jakarta," *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, vol. 14, no. 3, p. 1790, Jun. 2025, doi: 10.11591/ijai.v14.i3.pp1790-1798.
- [6] J. Nan, H. Xie, M. Gao, Y. Song, and W. Yang, "Design of UWB Antenna Based on Improved Deep Belief Network and Extreme Learning Machine Surrogate Models," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 126541–126549, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3111902.
- [7] A. Verma, R. K. Arya, R. Bhattacharya, and S. N. Raghava, "Compact PIFA Antenna with High Gain and Low SAR Using AMC for WLAN/C-band/5G Applications," *IETE J Res*, vol. 69, no. 7, pp. 4422–4432, Sep. 2023, doi: 10.1080/03772063.2021.1945958.
- [8] S. E. Didi, I. Halkhams, M. Fattah, Y. Balboul, S. mazer, and M. El Bekkali, "Design of a microstrip antenna patch with a rectangular slot for 5G applications operating at 28 GHz," *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 20, no. 3, pp. 527–536, 2022, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v20i3.23159.
- [9] P. Merlin Teresa and G. Umamaheswari, "Compact Slotted Microstrip Antenna for 5G Applications Operating at 28 GHz," *IETE J Res*, vol. 68, no. 5, pp. 3778–3785, Sep. 2022, doi: 10.1080/03772063.2020.1779620.
- [10] S. B. Kempanna, R. C. Biradar, T. Ali, V. K. Jhunjhunwala, S. Soman, and S. Pathan, "A Compact Slotted UWB Antenna Based on Characteristics Mode Theory for Wireless Applications," 2023.
- [11] Y. Tighilt *et al.*, "Low-Profile UWB-MIMO Antenna System with Enhanced Isolation Using Parasitic Elements and Metamaterial Integration," 2023.
- [12] M. U. Rahman, D. S. Ko, and J. D. Park, "A compact multiple notched ultra-wide band antenna with an analysis of the CSRR-TO-CSRR coupling for portable UWB applications," *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 10, Oct. 2017, doi: 10.3390/s17102174.
- [13] V. P. Belichenko, Y. Buyanov, G. Dymov, A. Mironchev, and A. Gorst, "applied sciences Three-Dimensional Ultra-Wideband Antenna : From Guiding Physical Considerations to Sequential Computer Optimization of Parameters and Characteristics," 2024.
- [14] Á. F. Vaquero, "Convex Formulations for Antenna Array Pattern Optimization Through Linear , Quadratic , and Second-Order Cone Programming," pp. 1–25, 2025.
- [15] T. Pisanu *et al.*, "Design , Fabrication , and Electromagnetic Characterization of a Feed Horn of the Linear-Polarized Multi-Beam Cryogenic S-Band Receiver for the Sardinia Radio Telescope," pp. 1–20, 2025.
- [16] B. Yu, P. Zhao, Y. Cai, W. Yuan, J. Yu, and Y. Tan, "On-Site Electrochemical Detection of Corrosion in Substation Grounding System," *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 16, 2024.
- [17] F. Ramadhan *et al.*, "Analysis of Characteristics of Three Phase Transformer Using MATLAB," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 12, no. 1, pp. 95–102, Apr. 2025, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v12i1.4534.
- [18] S. S. Bhatia and N. Sharma, "A Compact Wideband Antenna Using Partial Ground Plane with Truncated Corners, L-Shaped Stubs and Inverted T-Shaped Slots," *Progress In Electromagnetics Research M*, vol. 97, no. June, pp. 133–144, 2020, doi: 10.2528/PIERM20072503.
- [19] M. Irwanto, N. A. E. M. Foze, and Y. T. Nugraha, "Performance Analysis of Transformerless Photovoltaic Three-Phase Inverter Using Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Method," 2023, pp. 517–527. doi: 10.1007/978-981-19-8406-8_41.
- [20] M. Irwanto, Y. T. Nugraha, N. Hussin, I. Nisza, D. Perangin-Angin, and H. Alam, "Modelling of Wireless Power Transfer System Using MATLAB SIMULINK," *2022 IEEE 13th Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2022 - Conference Proceedings*, no. July, pp. 21–24, 2022, doi: 10.1109/ICSGRC55096.2022.9845181.