

Desain dan Optimasi Antena Pita Lebar Planar Monopole Bentuk Sembarang dengan Algoritma Genetika dan Metode Momen

Joko Suryana^{*)}

Program Studi Teknik Telekomunikasi, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa 10 Bandung, 40132 Jawa Barat, Indonesia

Cara sitasi: J. Suryana, "Desain dan Optimasi Antena Pita Lebar Planar Monopole Bentuk Sembarang dengan Algoritma Genetika dan Metode Momen," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, vol. 6, no. 2, Apr. 2018. doi: 10.14710/jtsiskom.6.2.2018.84-92, [Online].

Abstract – This paper presents a new approach in designing an ultra wideband minimum dispersion antenna optimally to avoid the degradation of broadband communications system performance. Design and iterative optimization are applied to an arbitrary shape of planar monopole antenna using a genetic algorithm combined with the moment method, abbreviated as AGMM method, and implemented with Matlab. Two arbitrary shapes of planar monopole antennas have been implemented in compact physical size using AGMM optimization, each having 9.1 GHz and 7.4 GHz bandwidths, the lowest frequency of 1.9 GHz and 2.7 GHz and fidelity 0.6 and 0.64 for any arbitrary discrete antenna and edge profile antenna. This method can be applied to design any arbitrary shapes of an ultra-wideband antenna with each has wide bandwidth more than 7 GHz, the lowest frequency below 3 GHz and a minimum fidelity of 0,55 that is suitable for high-speed communication, such as 5G system.

Keywords – ultra wideband antenna; minimum dispersion; genetic algorithm; moment method; optimal antenna

Abstrak – Makalah ini memaparkan pendekatan baru dalam perancangan optimal antena pita lebar dispersi minimum untuk menghindari penurunan kinerja sistem komunikasi kecepatan tinggi. Desain dan optimasi iteratif diterapkan pada antena planar monopole bentuk sembarang menggunakan algoritma genetika yang digabungkan dengan metode momen yang disingkat sebagai metode AGMM. Metode ini diimplementasikan dengan Matlab. Dua buah tipe antena planar monopole pita lebar bentuk sembarang dan ukuran fisik kompak berhasil dirancang dengan AGMM yang masing-masing memiliki lebar pita 9,1 GHz dan 7,4 GHz, frekuensi terendah 1,9 GHz dan 2,7 GHz serta memiliki fidelity 0,6 dan 0,64 untuk antena diskrit sembarang dan antena profil tepi sembarang. Metode ini dapat diterapkan untuk merancang antena pita lebar bentuk sembarang dengan lebar pita lebih dari 7 GHz, frekuensi terendah < 3 GHz dan memiliki

fidelity di atas 0,55 yang cocok untuk komunikasi berkecepatan tinggi, misalnya sistem 5G.

Kata Kunci – antena pita lebar; dispersi minimum; algoritma genetika; metode momen; antena optimal

I. PENDAHULUAN

Salah satu tantangan dalam sistem komunikasi pita lebar masa depan adalah kebutuhan akan antena yang sesuai untuk mendukung kinerja sistem komunikasi pulsa durasi sangat pendek [1]. Sistem komunikasi kecepatan tinggi (*broadband*) seperti 5G membutuhkan antena yang dapat bekerja pada pita di bawah 6 GHz maupun di atas 6 GHz untuk transmisi pulsa berdurasi nanodetik dengan distorsi seminimal mungkin. Kebutuhan terhadap antena dengan respons impuls ideal menjadi salah satu pertimbangan utama dalam desain antena.

Suatu antena pita lebar ideal, selain harus memiliki *return loss* < -10 dB pada lebar pita operasi yang disyaratkan, juga harus memiliki karakteristik radiasi medan yang konstan dan fasa linier pada frekuensi operasi tersebut. Dalam domain waktu, kondisi medan konstan dan fasa linier disebut sebagai antena dengan dispersi minimum yang menjamin tidak ada pengurangan kinerja sistem komunikasi pita lebar seperti 5G. Respons impuls antena pengirim dan penerima sangat berpengaruh terhadap kinerja *bit error rate* (BER) sistem komunikasi pita lebar. Sepasang antena pengirim dan penerima pita lebar dengan dispersi minimum akan memungkinkan korelasi silang yang sempurna antara pulsa terkirim dengan pulsa terima di penerima sehingga simbol dapat dideteksi secara baik.

Riset elektromagnetik mengarah pada upaya untuk menemukan solusi persamaan integral dan diferensial dengan suatu syarat batas, seperti perhitungan impedansi masukan suatu antena, *return loss* jalur masukan antena dan distribusi arus pada permukaan konduktor antena. Langkah riset ini meliputi formulasi geometri, ukuran dan sifat material yang berkaitan dengan antena dan lingkungan, pemodelan matematis baik secara eksak maupun dengan metode pendekatan terhadap antena tersebut dan komputasi numerik untuk menemukan solusi bagi perhitungan impedansi masukan desain antena yang diinginkan.

^{*)} Penulis korespondensi (Joko Suryana)
Email: joko.suryana@stei.itb.ac.id

Perancangan antenna dengan suatu optimasi fungsi objektif, seperti penyesuaian impedansi pada suatu rentang pita frekuensi tertentu, merupakan salah satu permasalahan dalam optimasi. Solusi yang dihasilkan dari optimasi tersebut bisa beragam, sehingga dibutuhkan proses pemilihan solusi yang terbaik dari sejumlah alternatif solusi yang ada. Algoritma genetika (AG) telah terbukti dapat digunakan sebagai alat optimasi bagi permasalahan elektromagnetik [2], perancangan antenna pita jamak 2,7 GHz, 3 GHz dan 3,3 GHz [3] dan solusi susunan antenna optimum [4]. Algoritma genetika telah digunakan dalam desain dan optimasi antenna pita lebar, seperti dalam [5]-[15]. Kebutuhan implementasi antenna dengan ukuran kompak tapi mengakomodasi frekuensi rendah juga diperlukan.

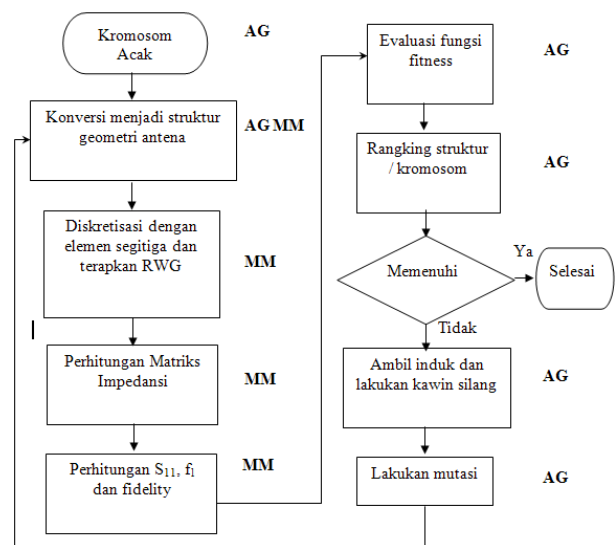
Sebagian besar desain dan optimasi antenna berbasis algoritma genetika di atas lebih banyak digunakan untuk antenna tipe pita terbatas atau tipe pita ganda. Untuk mendapatkan pita yang lebar, algoritma tersebut digabungkan atau digantikan dengan metode lain, seperti *particle swarm optimization* (PSO) dalam [6]-[9] atau *machine learning* (ML) dalam [10]. Selain itu, perangkat lunak yang digunakan untuk desain dan simulasi elektromagnetik menggunakan perangkat lunak komersial, seperti HFSS dalam [6], [8], [11] dan CST dalam [5], [9]. Sebagian besar tipe antenna yang dipilih adalah antenna monopole bukan bentuk sembarang dengan ukuran antenna yang tidak kompak dan memiliki respons magnitudo yang terbatas pada pita frekuensi bawah, yaitu rata-rata di frekuensi 3,1 GHz.

Penelitian ini mengembangkan antenna pita lebar dispersi minimum menggunakan algoritma genetika yang dikombinasikan dengan metode momen. Geometri antenna yang digunakan dalam penelitian ini adalah planar monopole bentuk sembarang dengan ukuran fisik yang kompak. Implementasi algoritma genetika dan metode momen menggunakan Matlab, baik simulator analisis antenna dengan metode momen maupun simulator algoritma genetika. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan antenna pita lebar dengan dispersi minimum, yaitu memiliki lebar pita minimum 3,1-10,6 GHz pada $S_{11} < -10$ dB dan memiliki respons impuls dengan *fidelity* tinggi [16].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengembangkan teknik optimasi rancangan antenna pita lebar dengan struktur geometrik sembarang menggunakan pendekatan algoritma genetika dan metode momen, yang selanjutnya disebut AGMM. Algoritma genetika diterapkan untuk optimasi rancangan geometri antenna planar monopole pita lebar yang dipakai pada pita 3,1-10,6 GHz dengan metode momen. Parameter acuan optimasi rancangan antenna dengan AGMM ini mencakup antenna dengan pita kerja minimum 3,1-10,6 GHz dengan $S_{11} < -10$ dB dan dengan profil respon impuls minimum distorsi.

Pendekatan AGMM ini dimulai dengan penggunaan suatu struktur induk dari antenna dan melakukan iterasi dengan seleksi alami sehingga didapatkan struktur



Gambar 1. Diagram alur Algoritma Genetika dan Metode Momen (AGMM) untuk optimasi desain antenna

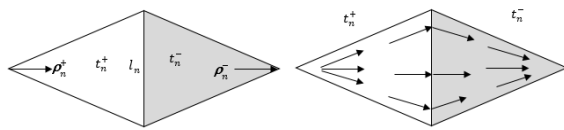
geometrik antenna yang optimal sesuai fungsi *cost* atau *fitness* yang diinginkan. Diagram alur AGMM ditunjukkan dalam Gambar 1. Algoritma genetika untuk optimasi rancangan ini didahului dengan penentuan populasi awal dari struktur geometrik antenna yang dikodekan sebagai kromosom. Setelah itu, kromosom yang merepresentasikan suatu bentuk geometrik antenna tersebut dievaluasi dengan metode momen (MM), sehingga didapatkan nilai *cost* atau *fitness* untuk kromosom tersebut. Berdasarkan nilai *cost* / *fitness* tersebut, kromosom diperbaiki untuk generasi baru mendatang dengan melalui suatu proses reproduksi baik secara silang maupun dengan mutasi. Urutan langkah ini akan diulangi sampai fungsi *cost* minimum atau *fitness* tercapai.

Penelitian ini menggunakan pendekatan untuk memaksimalkan fungsi *fitness* untuk parameter frekuensi terendah, lebar pita yang dihasilkan antenna dan profil *fidelity* domain waktu. Persamaan 1 digunakan sebagai fungsi *fitness* dari AGMM.

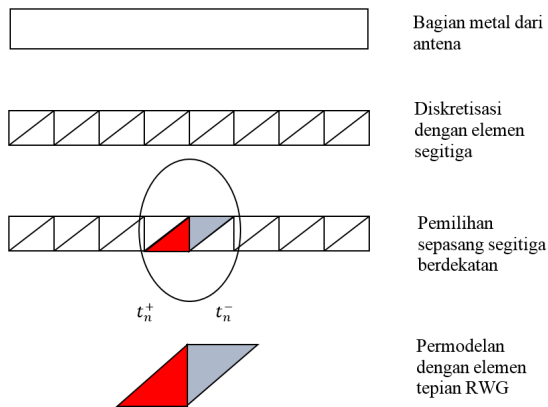
$$fitness = 0,4 \left[\sum_{n=1}^N f_n(S_{11} < -10 \text{ dB}) \right] + 0,2 [N - f_1] + 0,4 [fidelity] \quad (1)$$

Tujuan optimasi rancangan antenna pita lebar adalah dihasilkan struktur antenna pita lebar dengan pita frekuensi sangat lebar dengan nilai ideal 1-11 GHz pada $S_{11} < -10$ dB, frekuensi terendah 3,1 GHz, dan profil respon impuls antenna mempunyai *fidelity* > 0.5 atau dengan distorsi oleh grup *delay* yang masih bisa diterima. Bobot masing-masing parameter yang dioptimasi adalah 40% untuk lebar pita, 20% untuk frekuensi terendah yang diinginkan dan 40% *fidelity* pulsa kawasan waktu. Nilai *fitness* minimum yang harus dipenuhi adalah 70, lebar pita minimum minimum 7 GHz, frekuensi terendah 3,1 GHz dan *fidelity* minimum 0,55.

Diskretisasi geometrik dilakukan untuk memecah struktur antenna ke dalam jumlah elemen-elemen yang lebih kecil. Metode momen ini menggunakan elemen



Gambar 2. Sepasang elemen segitiga t_n^+ dan t_n^- pada fungsi basis RWG dan vektor fungsi basis RWG



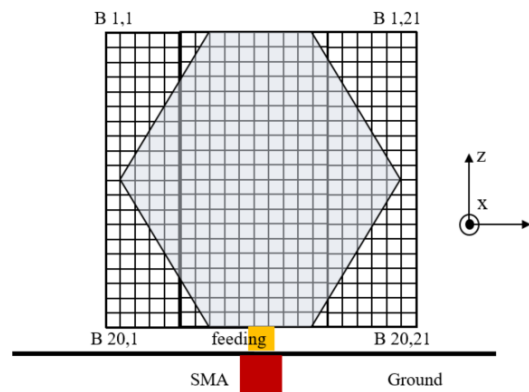
Gambar 3. Tahapan perhitungan numerik metode momen untuk analisis antenna

berbentuk segitiga yang lebih akurat daripada elemen kotak [17] dan menggunakan fungsi basis RWG (Rao-Wilton-Glisson) [18]. Fungsi basis RWG $f_n(r)$ dinyatakan dalam Persamaan 2 dan didefinisikan pada sepasang elemen segitiga t_n^+ dan t_n^- yang masing-masing memiliki luas sebesar A_n^+ dan A_n^- dan tepian bersama l_n .

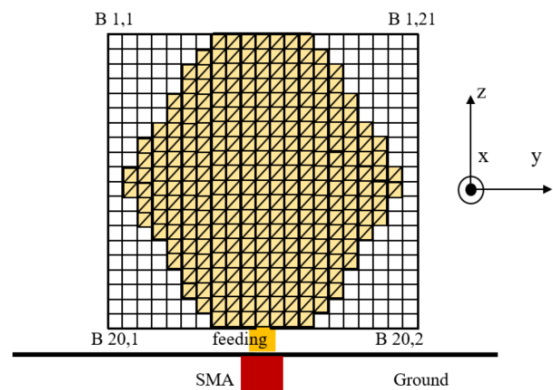
$$f_n(r) = \begin{cases} \frac{l_n}{2A_n^+} \rho_n^+ ; r \text{ pada } t_n^+ \\ \frac{l_n}{2A_n^-} \rho_n^- ; r \text{ pada } t_n^- \end{cases} \quad (2)$$

Sepasang segitiga yang digunakan pada fungsi basis RWG ditunjukkan pada Gambar 1. Vektor $\rho_n^+ = r - r_n^+$ ditarik dari verteks bebas pada segitiga t_n^+ ke titik pengamatan r . Vektor $\rho_n^- = r - r_n^-$ ditarik dari verteks bebas pada segitiga t_n^- ke titik pengamatan r . Fungsi basis RWG ini bernilai nol di luar segitiga t_n^+ dan t_n^- serta bersifat linier dan tidak memiliki fluks di perbatasan.

Setiap pasang segitiga berdekatan yang memiliki tepian bersama akan diwakili oleh elemen tepian RWG. Vektor arus listrik permukaan antenna merupakan penjumlahan semua kontribusi elemen tepian RWG yang ada dengan sejumlah koefisien yang harganya diselesaikan dengan metode momen. Koefisien-koefisien tersebut diperoleh dari solusi persamaan linier matriks impedansi yang dibentuk oleh persamaan-persamaan momen yang ada. Gambar 3 memperlihatkan tahapan perhitungan numerik untuk analisis antenna dengan metode momen dan fungsi basis RWG. Pada penelitian ini, optimasi AGMM digunakan untuk melakukan perbaikan desain antenna pita lebar planar



Gambar 4. Model fisik geometrik antenna planar monopole geometri sembarang



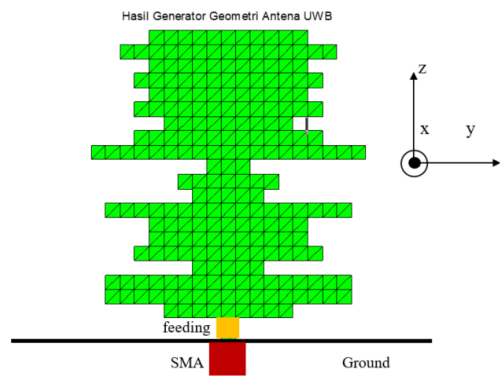
Gambar 5. Model diskretisasi antenna dengan elemen segitiga RWG

monopole secara iteratif dengan 2 macam kasus yang berbeda, yaitu optimasi antenna dengan bentuk sembarang dan pada monopole Bowtie terbalik dengan tepian sembarang.

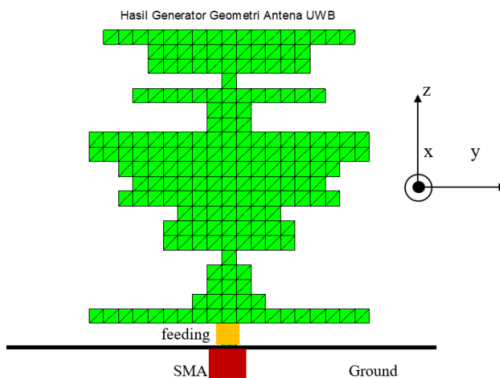
A. Optimasi Antena Planar Monopole Diskrit Bentuk Sembarang

Pada kasus pertama, dirancang antenna planar monopole diskrit bentuk sembarang yang mempunyai bagian metal yang dilakukan diskretisasi ke dalam 20×21 sub-elemen kotak yang terdiri dari 20×10 sub-elemen kiri, 20×1 sub-elemen tengah dan 20×10 sub-elemen kanan. Model fisik geometrik antenna ditunjukkan oleh Gambar 4.

Antena monopole dibuat dari lembar tembaga dengan substrat udara yang dipasang secara normal (arah sumbu z) terhadap *ground plane* (pada bidang x,y) dengan catuan koaksial di pertengahan dari dasar antenna. Karena sifat simetri kiri dan kanan dari antenna pita lebar planar monopole, maka hanya diperlukan bentuk antenna salah satu sisi, sedangkan sisi lainnya merupakan cermin terhadap sumbu tengah antenna. Dari hal tersebut, AG digunakan hanya pada suatu 20×11 array biner yang dikodekan pada suatu 210 bit kode biner. Array biner 20×11 ini mewakili bagian metal dari antenna dan kode 210 bit tersebut merepresentasikan



a) Pola 1



b) Pola 2

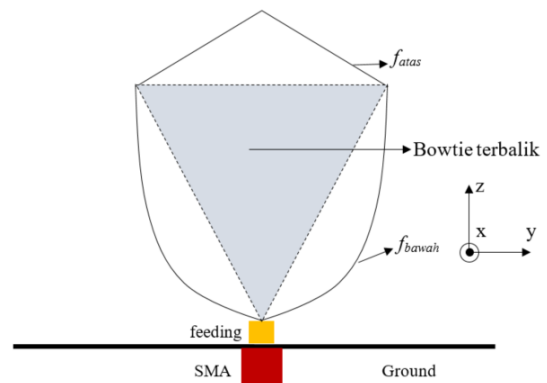
Gambar 6. Beberapa pola acak yang dibangkitkan oleh generator pola antenna sesuai kromosom yang ada

kromosom. Jika suatu bit berharga '1', maka area yang diwakili oleh bit tersebut adalah metal, dan jika berharga '0', maka area tersebut berarti bukan metal. Bentuk struktur geometrik antenna yang mungkin adalah sebanyak 2^{210} kemungkinan. Elemen kotak tersebut dilakukan diskretisasi menjadi elemen segitiga RWG seperti ditunjukkan oleh Gambar 5.

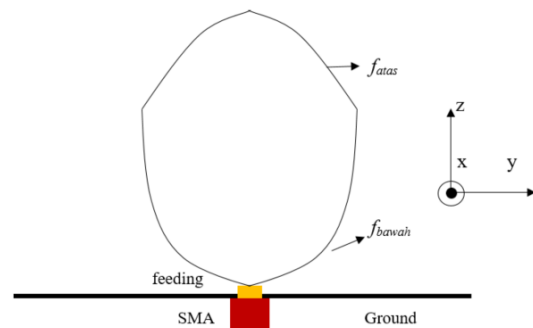
Beberapa pola acak yang dibangkitkan oleh generator pola antenna sesuai kromosom yang ada dalam AG ditunjukkan oleh Gambar 6. Algoritma genetika dimulai dengan membangkitkan secara acak suatu populasi serta berevolusi dengan seleksi, kawin silang dan mutasi. Peluang untuk seleksi didasarkan pada evaluasi kinerja antenna dengan fungsi *cost/fitness* yang diinginkan. Untuk setiap bit yang di-set pada array 20 x 21, suatu kotak 2,5 x 2,5 mm akan disetel sebagai metal berupa konduktor sempurna. Pada simulasi ini, *ground plane*, posisi konektor SMA dan kondisi batas dibuat tetap untuk semua pola struktur antenna yang dievaluasi.

B. Optimasi Antena Planar Monopole dengan Profil Tepian Sembarang

Pada kasus kedua, bagian metal dari antenna pita lebar adalah merupakan antenna modifikasi dari Bowtie terbalik dengan profil tepian sembarang. Profil tepian antenna planar monopole sangat mempengaruhi lebar pita operasi [19]. Bentuk *tapered* pada bagian yang dekat dengan *ground* maupun pada sudut-sudut Bowtie akan memberikan efek peningkatan lebar pita cukup



Gambar 7. Model *tapered* pada tepian antenna dekat *ground* dimodelkan dengan persamaan kuadrat



Gambar 8. Model fisik geometrik antenna planar monopole tepian sembarang

signifikan sehingga dalam penelitian optimasi antenna kasus kedua ini, AG dipakai untuk mencari parameter-parameter terbaik dari persamaan *tapered* pada tepian dekat *ground* maupun bagian atas dari *patch* monopole.

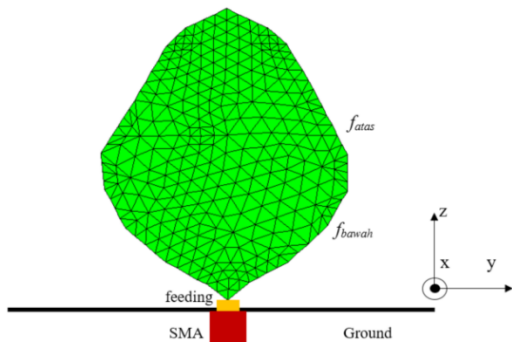
Persamaan *tapered* pada tepian antenna dekat *ground* dimodelkan dengan persamaan kuadrat yang memiliki koefisien $[a_1 \ b_1 \ c_1]$, sedangkan pada tepi atas dimodelkan dengan persamaan kuadrat dengan koefisien $[a_2 \ b_2 \ c_2]$, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7. Model ini dinyatakan dalam Persamaan 3 dan Persamaan 4.

$$f_{bawah} = a_1 x^2 + b_1 x + c_1 \quad (3)$$

$$f_{atas} = a_2 x^2 + b_2 x + c_2 \quad (4)$$

Pada kedua persamaan profil tepian Bowtie terbalik terlihat bahwa pada kasus dimana nilai a_1 atau a_2 berharga nol, maka kedua persamaan akan merepresentasikan persamaan linier. Jumlah bit yang dipakai untuk mengodekan masing-masing parameter adalah 8 bit, sehingga diperlukan kode biner 3 x 2 x 8 bit untuk merepresentasikan kromosom geometri antenna monopole Bowtie terbalik dengan tepian sembarang tertentu.

Dalam penelitian ini, antenna monopole dibuat dari lembar tembaga dengan substrat udara yang dipasang secara normal (arah sumbu z) terhadap *ground plane* (pada bidang x,y) dengan catuan koaksial di pertengahan dari dasar antenna. Model fisik geometrik



Gambar 9. Model diskretisasi antenna dengan elemen segitiga RWG antenna planar monopole tepian sembarang

antena ditunjukkan oleh Gambar 8. Model diskretisasi antenna dengan elemen segitiga RWG ditunjukkan oleh Gambar 9. Bahan dari konduktor antenna ini ditetapkan sebagai metal berupa konduktor sempurna. Pada simulasi ini, *ground plane*, posisi konektor SMA dan kondisi batas (*boundary condition*) dibuat tetap untuk semua pola struktur antenna yang dievaluasi.

Peluang untuk seleksi dalam algoritma genetika didasarkan pada evaluasi kinerja antenna dengan fungsi *cost/fitness* yang diinginkan. Untuk setiap kromosom 48 bit yang dibangkitkan, suatu struktur antenna planar monopole Bowtie terbalik dengan profil *tapered* pada tepian atas dan bawah radius tertentu dibuat dan dilakukan diskretisasi dengan fungsi basis RWG.

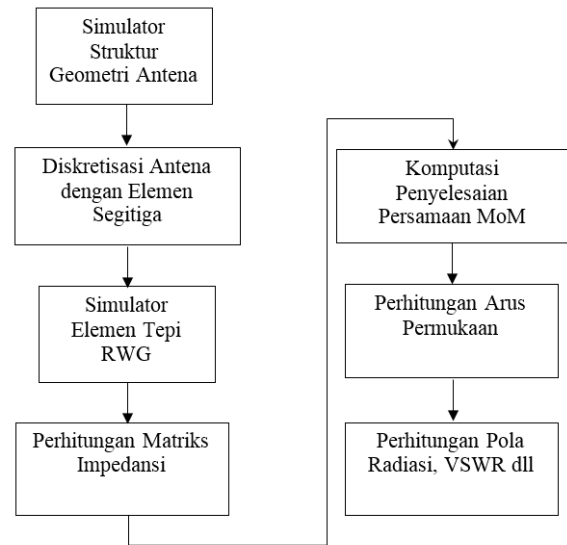
C. Perhitungan Matriks Impedansi

Perhitungan impedansi matriks dinyatakan dalam matriks impedansi yang menggambarkan perilaku interaksi elektromagnetik di antara elemen penyusun struktur antenna. Bila elemen tepian RWG ke m dan n dianggap sebagai suatu elemen dipole kecil berhingga, maka matriks impedansi Z_{mn} menggambarkan kontribusi dari dipole n melalui radiasi medan ke elemen arus listrik pada dipole m dan sebaliknya.

Secara kuantitatif, matriks impedansi Z_{mn} adalah suatu persamaan integral medan listrik sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan 5 [16]. Variabel m dan n merupakan dua elemen tepian RWG. Operator (\cdot) merupakan operator perkalian. Variabel l_m merupakan panjang tepian dari elemen m . Vektor ρ_n^+ ditarik dari verteks bebas pada segitiga t_n^+ ke titik pengamatan r dan vektor ρ_n^- ditarik dari verteks bebas pada segitiga t_n^- ke titik pengamatan r . Vektor A merupakan vektor magnetik potensial yang dinyatakan dalam Persamaan 6 dan Φ merupakan potensial listrik skalar yang dinyatakan dalam Persamaan 7.

$$Z_{mn} = l_m \left[j\omega \left(\frac{A_{mn}^+ \cdot \rho_m^+}{2} + \frac{A_{mn}^- \cdot \rho_m^-}{2} \right) + \Phi_{mn}^- - \Phi_{mn}^+ \right] \quad (5)$$

$$A_{mn}^\pm = \frac{\mu}{4\pi} \left[\frac{l_n}{2A_n^+} \int_{t_n^+} \rho_n^+(r') g_m^\pm(r') ds' - \frac{l_n}{2A_n^-} \int_{t_n^-} \rho_n^-(r') g_m^\pm(r') ds' \right] \quad (6)$$



Gambar 10. Alur tahapan implementasi MM/RWG dengan Matlab

$$\Phi_{mn}^\pm = \frac{\mu}{j4\pi\omega\epsilon} \left[\frac{l_n}{A_n^+} \int_{t_n^+} g_m^\pm(r') ds' - \frac{l_n}{A_n^-} \int_{t_n^-} g_m^\pm(r') ds' \right] \quad (7)$$

dimana :

$$g_m^\pm(r') = \frac{\exp(-jk|\mathbf{r}_m^\pm - \mathbf{r}'|)}{|\mathbf{r}_m^\pm - \mathbf{r}'|}$$

D. Implementasi MM/RWG dengan MATLAB

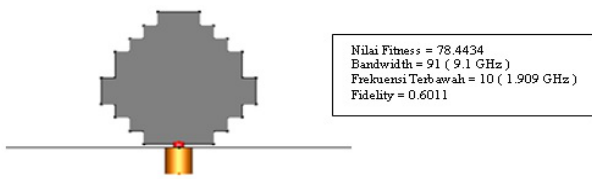
Pada penelitian ini, implementasi komputasi numerik analisis elektromagnetik pada antenna dengan metode momen dan RWG dilakukan dengan Matlab yang telah memiliki generator *mesh*, matriks *solver* yang efisien, perangkat analisis Fourier serta plot dan operasi 2D dan 3D yang lengkap. Tahapan keseluruhan implementasi simulasi analisis antenna pita lebar menggunakan Matlab mengikuti diagram alur sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 10.

Matriks *mesh* dalam rancangan struktur geometri antenna diperoleh dengan menggunakan mesh generator dari *toolbox* PDE (*partial differential equation*) [20]. Matriks *mesh* ini mewakili struktur geometri antenna dan digunakan dalam identifikasi pasangan segitiga yang berdekatan dan menentukan tepi yang dipakai bersama oleh pasangan segitiga tersebut. Tahapan ini akan menghasilkan elemen tepi RWG sehingga siap dipakai untuk perhitungan matriks impedansi.

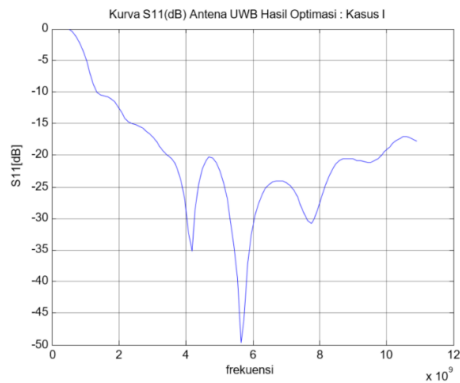
Setelah diperoleh dua rancangan antenna pita lebar dengan metode optimasi AGMM tersebut, pengukuran antenna dilakukan menggunakan perangkat Vector Network Analyzer 0-13,5 GHz di laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro ITB (LTRGM). Pola radiasi antenna hasil optimasi AGMM dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak komersial Flomerics MICROSTRIPES.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

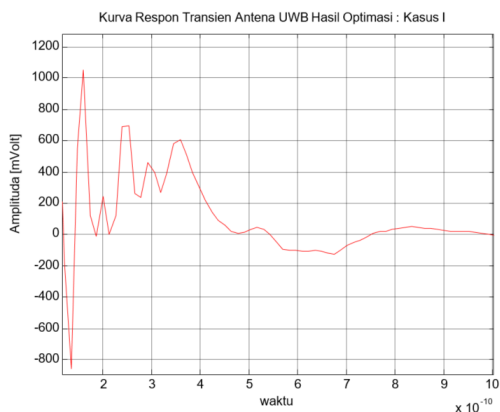
Penelitian ini menghasilkan dua rancangan antenna pita lebar dengan metode optimasi AGMM, yaitu antenna planar monopole diskrit bentuk sembarang (antena I)



Gambar 11. Hasil optimasi antenna diskrit bentuk sembarang (antena I)



Gambar 12. Kurva S_{11} antenna pita lebar hasil optimasi dengan AGMM untuk kasus I



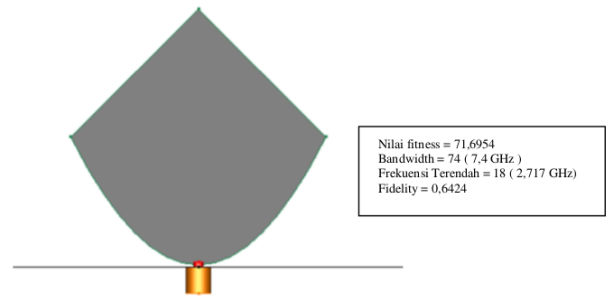
Gambar 13. Respons impuls antenna pita lebar hasil optimasi dengan AGMM untuk kasus I

dan antenna monopole Bowtie terbalik dengan tepian sembarang (antena II).

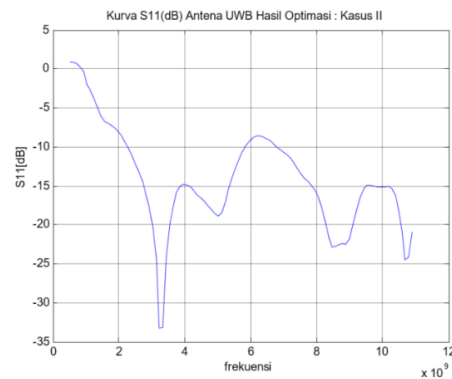
A. Antena Hasil Desain dan Optimasi AGMM

Optimasi dengan algoritma AGMM menghasilkan banyak antenna pita lebar cincin yang memenuhi fungsi *fitness* yang telah ditentukan dalam penelitian. Dalam penelitian ini hanya ditunjukkan dua contoh antenna planar monopole bentuk sembarang hasil optimasi, baik kasus I maupun kasus II. Karakterisasi antenna meliputi kurva S_{11} dan respons impuls.

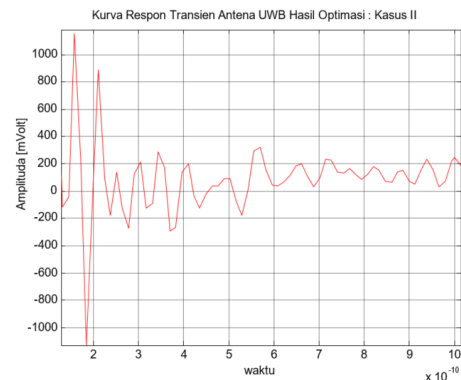
Hasil desain antenna planar monopole bentuk sembarang kasus I ditunjukkan dalam Gambar 11. Kurva S_{11} dan respons impuls antenna pita lebar hasil optimasi dengan AGMM ditunjukkan dalam Gambar 12 dan Gambar 13. Hasil desain antenna planar monopole *tapered* atas dan bawah profil sembarang untuk kasus II ditunjukkan dalam Gambar 14. Kurva S_{11} dan respons



Gambar 14. Hasil optimasi antenna tepian sembarang (antena II)



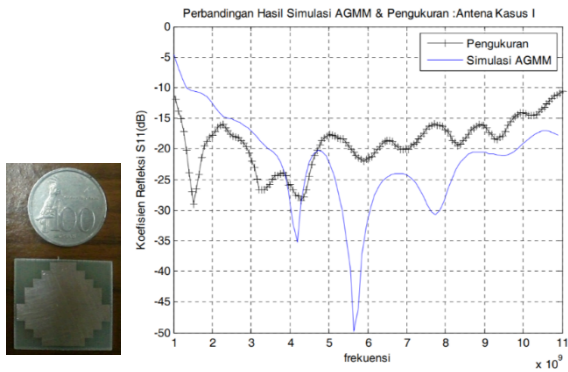
Gambar 15. Kurva S_{11} antenna pita lebar hasil optimasi dengan AGMM untuk kasus II



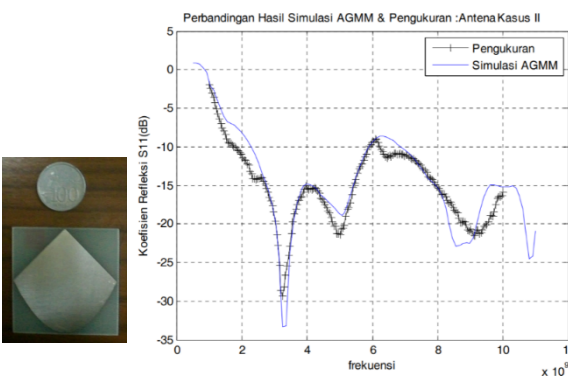
Gambar 16. Respons impuls antenna pita lebar hasil optimasi dengan AGMM untuk kasus II

impuls antenna pita lebar hasil optimasi dengan AGMM ditunjukkan dalam Gambar 15 dan Gambar 16.

Antena I memiliki nilai *fitness* mencapai 78,4, sedangkan antenna II memiliki *fitness* mencapai 71,7. Dari hal tersebut, persyaratan optimasi telah terpenuhi frekuensi terendah, lebar pita yang dihasilkan antenna dan profil *fidelity* domain waktu tercapai dengan baik. Antena I memiliki frekuensi terendah 1,9 GHz, lebar pita 9,1 GHz dan *fidelity* 0,6 sehingga antenna ini bisa digunakan untuk komunikasi pita lebar dengan distorsi minimal. Antena II mempunyai frekuensi terendah 2,7 GHz, lebar pita 7,4 GHz dan *fidelity* 0,64 sehingga antenna ini juga bisa digunakan untuk komunikasi pita lebar dengan distorsi minimal.



Gambar 17. a) Foto bentuk fisik antenna I dan b) hasil pengukurannya vs simulasi *return loss*



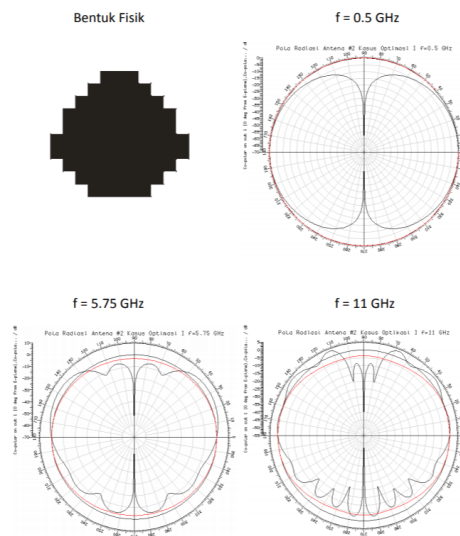
Gambar 18. a) Foto bentuk fisik antenna II dan b) hasil pengukurannya vs simulasi *return loss*

B. Hasil Implementasi dan Pengukuran Antena

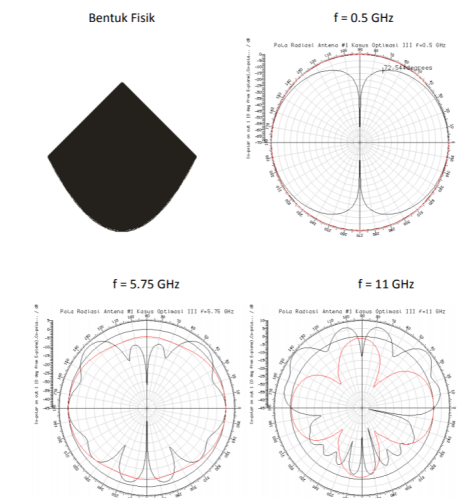
Hasil desain dan optimasi antena diharapkan memenuhi spesifikasi teknis yang diinginkan yaitu lebar pita minimum 7 GHz, frekuensi terendah < 3,1 GHz dan memiliki *fidelity* minimum 0,55. Penelitian ini mengimplementasikan antena planar monopole bentuk sembarang menggunakan material PCB untuk membuat *ground* beserta bagian monopolenya.

Foto fisik antena tipe I setelah diimplementasikan di atas material PCB ditunjukkan dalam 17a. Tingkat akurasi AGMM yang diimplementasikan dengan perangkat lunak Matlab dan hasil pengukuran parameter *return loss* S_{11} menggunakan VNA 0-13.5 GHz ditunjukkan dalam Gambar 17b. Foto fisik antena tipe II ditunjukkan dalam 18a. Tingkat akurasi AGMM yang diimplementasikan dengan perangkat lunak Matlab dan hasil pengukuran parameter *return loss* S_{11} menggunakan VNA 0-13.5 GHz ditunjukkan dalam Gambar 18b.

Parameter S_{11} mencerminkan pantulan akibat ketidaksesuaian antara impedansi masukan antena terhadap saluran transmisi 50 ohm. Dari Gambar 17b dan Gambar 18b terlihat bahwa hasil optimasi AGMM atas model antena memiliki akurasi yang baik dibandingkan dengan hasil pengukuran prototip dengan menggunakan peralatan ukur VNA 0-13,5 GHz. AGMM dapat digunakan dalam perancangan antena pita lebar dispersi minimum sehingga dapat digunakan untuk



Gambar 19. Simulasi pola radiasi antenna I



Gambar 20. Simulasi pola radiasi antenna II

menghindari penurunan kinerja sistem komunikasi kecepatan tinggi seperti sistem 5G.

C. Pola Radiasi Antena Planar Monopole Bentuk Sembarang

Simulasi pola radiasi antena hasil optimasi AGMM disajikan berturut-turut untuk struktur antena kasus 1 dan antena kasus 2 untuk $f = 0,5$ GHz, $f = 5,75$ GHz dan $f = 11$ GHz menggunakan software komersial MICROSTRIPES. Gambar 19 dan Gambar 20 menunjukkan pola radiasi antena I dan II pada beberapa frekuensi kerja, yaitu masing-masing di 0,5 GHz, 5,75 GHz dan 11 GHz. Terlihat dari hasil simulasi pola radiasi antena pada beberapa frekuensi tersebut bahwa planar monopole bentuk sembarang dan planar monopole tepian sembarang memiliki pola radiasi yang khas dari suatu antena monopole baik pada frekuensi rendah yaitu 0,5 GHz, frekuensi tengah di 5,75 GHz serta di frekuensi tinggi 11 GHz dan pola radiasinya stabil.

Desain dan optimasi menggunakan AGMM sesuai untuk penerapan komunikasi pita lebar dengan dispersi minimum seperti dalam [16]. Penelitian ini menghasilkan metode baru dalam optimasi antena monopole pita lebar menggunakan algoritma genetika dan metode momen, selain dengan PSO [6]-[9] dan ML [10]. Algoritma genetika dalam metode AGMM digunakan untuk mendapatkan antena pita lebar dengan pendekatan fungsi objektif gabungan antena domain frekuensi dan domain waktu, yaitu 40% parameter S_{11} , 20% frekuensi terendah dan 40% respons impuls yang dinyatakan dalam parameter *fidelity*.

Dibandingkan dengan [5], [6], [8], [9] dan [11] yang menggunakan perangkat lunak komersial khusus untuk desain dan simulasi antena, metode AGMM dapat diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Metode ini juga memungkinkan bentuk *case* antena monopole berupa bentuk sembarang, di antaranya monopole diskrit sembarang dan tepi sembarang yang dipilih dalam penelitian ini.

Hasil pengukuran parameter S_{11} untuk kedua antena tersebut memperlihatkan bahwa metode AGMM telah secara efektif menghasilkan rancangan antena pita lebar dengan spesifikasi yang hampir sama dengan hasil pengukuran di laboratorium. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa implementasi antena dengan AGMM memiliki lebar pita minimal 7 GHz untuk $S_{11} < -10$ dB dan frekuensi terendah mencapai < 3 GHz pada *fidelity* di atas 55% sehingga dapat digunakan untuk sistem 5G dengan pita jamak, seperti dalam [2]-[4].

Metode AGMM ini mengakomodasi pita bawah dalam fungsi objektif dengan bobot 20% dan dapat menghasilkan rancangan antena dengan pita lebar dan frekuensi minimum yang lebih rendah sampai 1 GHz daripada yang dihasilkan dalam penelitian lain yang memiliki respons magnitudo terbatas pada pita frekuensi bawah rata-rata di 3,1 GHz, seperti dalam [5], [7], [9], [15], namun tetap mempertahankan ukuran fisik yang kompak (Gambar 17 dan 18). Hasil desain AGMM berupa antena I mempunyai lebar pita dan frekuensi terendah yang lebih baik yaitu 9,1 GHz dan 1,9 GHz daripada antena II dengan lebar pita 7,4 GHz dan 2,7 GHz. Namun, hasil antena II mempunyai *fidelity* yang lebih baik sebesar 0,64 daripada antena I sebesar 0,6 sehingga sedikit lebih baik dalam minimalisasi distorsi sinyal pita dasar.

IV. KESIMPULAN

Teknik optimasi AGMM dapat menghasilkan prototip antena pita lebar berupa planar monopole diskrit bentuk sembarang dan planar monopole dengan profil tepian sembarang yang memiliki lebar pita lebih dari 7 GHz, frekuensi terendah kurang dari 3 GHz dan memiliki *fidelity* di atas 0,55. Teknik AGMM yang menggabungkan fungsi objektif gabungan antena domain frekuensi dan domain waktu dapat diimplementasikan dengan perangkat lunak Matlab.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Suryana, "The Rainfall Intensity Effects on 1–13 GHz UWB-Based 5G System for Outdoor Applications", *Wireless Communications and Mobile Computing*, volume 2017, pp. 1-13, 2017.
- [2] R. L. Haupt and D. H. Werner, *Genetic Algorithms in Electromagnetics*. John Wiley & Sons, 2007.
- [3] J. M. Johnson and Y. Rahmat-Samii, "Genetic Algorithm and Method of Moments (GA/MoM) for the Design of Integrated Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, no. 10, pp. 1606-1614, Oct. 1999.
- [4] D. W. Boeringer, D. W. Mchuga, and D. H. Werner, "Synthesis of Phased Array Amplitude Weights for Stationary Sidelobe Envelopes using Genetic Algorithms," in *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Boston, 8-13 July 2001, pp. 684-687.
- [5] A. B. Teirab, J. A. Jervase, and S. S. Mneina, "Design of UWB Monopole Antenna using Genetic Algorithms," in *2013 7th IEEE GCC Conference and Exhibition (GCC)*, Doha, 17-20 Nov. 2013, pp. 89-92.
- [6] Y. L. Li, W. Shao, L. You, and B. Z. Wang, "An Improved PSO Algorithm and Its Application to UWB Antenna Design," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 1236-1239, 2013.
- [7] A. Deb, J. S. Roy, and B. Gupta, "Performance Comparison of Differential Evolution, Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm in the Design of Circularly Polarized Microstrip Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 8, pp. 3920-3928, Aug. 2014.
- [8] Y. Wu, X. Wang, Y. Wang, S. Rashid, Y. Ding, and Y. Zhang, "The Design and Optimization of Ultra Wideband Antenna Based on Particle Swarm Algorithm," in *IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM 2016)*, Guangzhou, 23 – 25 February 2016, pp. 205-207.
- [9] H. J. Mohammed, A. S. Abdullah, R. S. Ali, Y. I. Abdurraheem, and R. A. Abd-Alhameed, "Performance Comparison of Particle Swarm Optimization, And Genetic Algorithm in The Design Of UWB Antenna," *Journal of Telecommunications*, vol. 27, no. 2, pp. 22-26, 2014.
- [10] S. R. Martins, H. W. C. Lins, and C. R. M. Silva, "A Self-organizing Genetic Algorithm for UWB Microstrip Antenna Optimization Using a Machine Learning Technique," in *International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning*, Berlin, 2012, pp 642-649.
- [11] C. R. M. Silva, H. W. C. Lins, S. R. Martins, E. E. F. Barreto, and A. G. D'Assunção, "A Multiobjective Optimization of a UWB Antenna using a Self Organizing Genetic Algorithm,"

- Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 8, pp. 1824-1828, Aug. 2012.
- [12] J. Jayasinge, J. Anguera, and D. Uduwala, "Genetic Algorithm Optimization of a High-Directivity Microstrip Patch Antenna Having a Rectangular Profile," *Radioengineering*, vol. 22, no. 3, Sept. 2013.
- [13] M. H. Miry, G. A. Al-Suhail, F. Abdussalam, M. B. Child, and R. A. Abd-Alhameed, "Design of a Small Ultra Wideband Antenna using a Genetic Algorithm Approach", in *Internet Technologies and Applications (ITA)*, 2015, pp. 461-465.
- [14] M. T. Asghar, M. F. Shafique, I. Usman, N. Gogosh, and M. A. Khan, "Design and Optimization of an UWB Antenna with 5.8 GHz Band Suppression Using Genetic Algorithm," *Journal of Basic and Applied*, vol. 3, no. 7, pp. 701-707, 2013.
- [15] K. Fertas, H. Kimouche, M. Challal, F. Ghanem, F. Fertas, and R. Aksas, "Development of a Novel UWB Planar Antenna using a Genetic Algorithm," in *2017 5th International Conference on Electrical Engineering-Boumerdes (ICEE-B)*, Boumerdes, 29 Oct. 2017, pp. 1-4.
- [16] G. Quintero, J. F. Zürcher, and A. K. Skrivervik, "System Fidelity Factor: A New Method for Comparing UWB Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 7, pp. 2502–2512, 2011.
- [17] Davidson, *Computational Electromagnetics for RF and Microwave Engineering*. Cambridge University Press, July 2014.
- [18] S. M. Rao, D. R. Wilton, and A. W. Glisson, "Electromagnetic Scattering by Surfaces of Arbitrary Shape," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 30, no. 3, pp. 409–418, May 1982.
- [19] B. Kaur and L. S. Solanski, "A Brief Review on Bowtie Antenna," in *Proc. National Conference on Communication & Networking (NCCN-12)*, 3-4 February 2012.
- [20] Mathworks Inc, *Partial Differential Equation Toolbox For Use with MATLAB*. February 1996.