

Validasi Antena Offset Reflektor

Dzul Rahman ^{#1}, Kamelia Quzwain ^{*1}, Nadia Media Rizka^{#2}

¹*Departemen Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom Jakarta
Daan Mogot KM 11, Jakarta Barat, 11710, Indonesia*

¹ 1101218029@student.ittelkom-jkt.ac.id

¹ kamelia@ittelkom-jkt.ac.id

² nadiamr@ittelkom-jkt.ac.id

Abstrak

Dalam sistem komunikasi seluler Fifth-Generation (5G) terdapat subjek teknik yang baru seperti *millimeter wave*, ukuran sel yang kecil, dan *multibeam* di stasiun pangkalan yang akan diperkenalkan terkait dengan teknologi gelombang radio. Antena *offset* reflektor dapat digunakan pada aplikasi *millimeter wave* karena mampu menghasilkan gain yang tinggi. Projek ini menjelaskan pembuatan antena *offset dual-reflector* dengan menggunakan teknik *shaping*. Model antena offset reflektor berhasil didesain dengan menggunakan pemrograman MATLAB. Untuk memvalidasi program MATLAB tersebut, simulasi dengan menggunakan *software* FEKO juga telah dilakukan. Berdasarkan hasil simulasi FEKO, antena offset dual-reflector mampu menghasilkan gain sebesar 37.7 dBi. Ini membuktikan bahwa konsep *shaping* untuk offset reflektor serta program MATLAB di projek ini berjalan dengan baik dan benar.

Keywords: Antena reflektor ganda offset, MATLAB, FEKO, reflector shaping

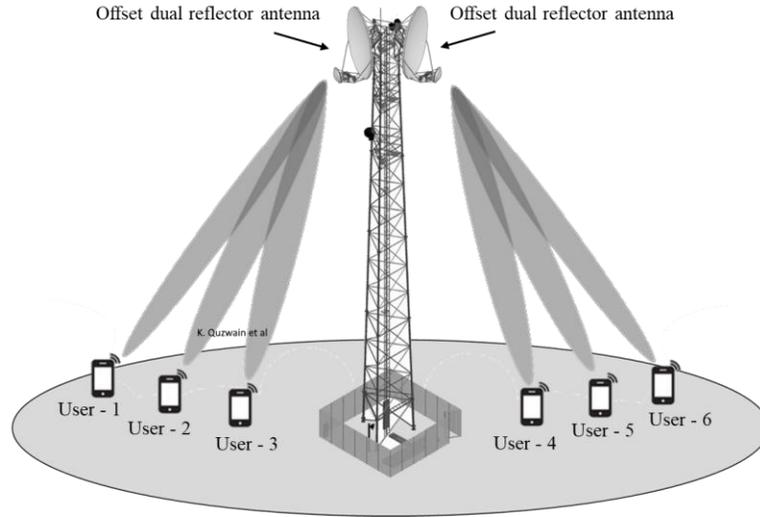
I. PENDAHULUAN

Massive Multi Input Multi Output (MIMO) menjadi salah satu pilar 5G yang menjanjikan untuk mengatasi kebutuhan kapasitas yang sangat besar oleh 5G. Dalam *Massive MIMO*, satu berkas ditugaskan untuk satu pengguna. Oleh karena itu, antena *base station* harus menghasilkan *multibeams*. Multibeam menawarkan efisiensi energi yang tinggi karena konsentrasi energi yang terpancar pada pengguna dan akan tetap sangat penting di masa mendatang dan merupakan persyaratan utama untuk 5G.

Ketika mempertimbangkan penggunaan *millimeter wave*, ukuran antena stasiun pangkalan menjadi kecil seperti sepersepuluh sentimeter. Jenis antena apa pun seperti antena *array* dan *aperture* menjadi mungkin [1-2]. Dalam studi ini, antena *offset* reflektor dipilih karena kesederhanaan konfigurasi antena dan kemudahan pemasangan di tower *base station* seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 1. Multibeams dapat diproduksi dengan mengatur banyak antena *feed*.

Hingga saat ini, beberapa studi numerik dan analitik pada reflektor ganda *offset* telah diselidiki oleh [3]-[5]. Metode pembentukan reflektor antena reflektor ganda *offset* Gregorian berdasarkan hukum kekekalan energi dilakukan oleh Lee et al [3]. Skema pembentukan dapat digunakan untuk menghasilkan reflektor utama dan sub reflektor. Pada tahun 2002, Granet [4] melaporkan prosedur sederhana untuk merancang antena reflektor ganda sumbu-*displace* klasik Gregorian dan Cassegrain. Sayangnya, tidak ada metode pembentukan reflektor ganda yang diusulkan yang diperhitungkan dalam makalah mereka. Sedangkan Villiers [5] mengembangkan formula analitik untuk memprediksi efisiensi difraksi antena offset reflektor ganda.

Pada jurnal ini, metode perancangan berdasarkan konsep *ray tracing* untuk antenna reflektor ganda offset Cassegrain dengan *feed on-axis* tunggal dikembangkan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Teori dasar desain antenna reflektor ganda offset Cassegrain berdasarkan konsep parabola konvensional dijelaskan pada Bagian 2. Bagian ketiga berkaitan dengan metode memperoleh hasil untuk studi ini. Sementara itu, bagian keempat memaparkan temuan-temuan penelitian. Bagian terakhir merangkum temuan utama dari penelitian ini.



Gambar 1. Struktur dari antenna reflektor ganda offset pada tower 5G base station

II. METODOLOGI

Gambar 2 mengilustrasikan antenna Cassegrain offset dengan geometri umpan *onaxis*. Ini terdiri dari antenna feed, reflektor utama offset dan sub reflektor. Menurut Gambar. 2, terlihat jelas bahwa sub reflektor dan *feed horn* tidak menghalangi gelombang elektromagnetik yang datang ke bukaan antenna. Pola radiasi *feed horn* dinotasikan sebagai $E_p^2(\theta)$. Distribusi bukaan dilambangkan sebagai $E_d^2(x)$. Feed horn ditempatkan pada fokus konfigurasi Cassegrain.

Tiga persamaan digunakan dalam mendesain antenna Cassegrain konvensional [6]:

1. Refleksi pada sub reflektor

Kondisi refleksi pada permukaan sub reflektor dijelaskan oleh persamaan berikut:

$$\frac{dr}{d\theta} = r \tan \frac{\theta + \phi}{2} \quad (1)$$

2. Refleksi pada reflektor utama

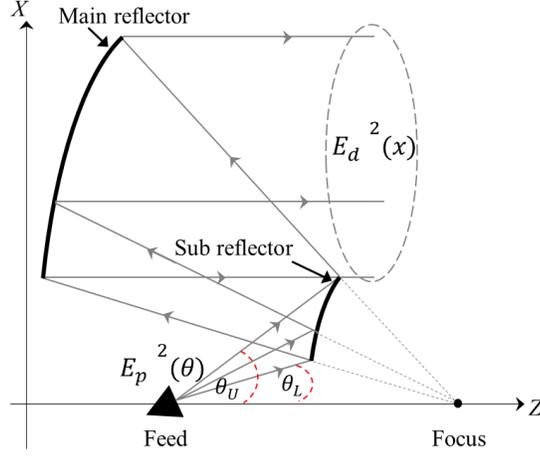
Sedangkan pantulan pada permukaan reflektor utama dapat ditentukan dengan menggunakan:

$$\frac{dz}{d\theta} = \frac{dx}{d\theta} \tan \frac{\phi}{2} \quad (2)$$

3. Hukum kekekalan energi

Tabung gelombang elektromagnetik dari *feed* ke bagian sub reflektor antenna. Daya listrik yang terkandung dalam tabung gelombang elektromagnetik harus dihemat. Hubungan kekekalan energi dapat ditulis sebagai [8]:

$$\frac{dx}{d\theta} = \frac{E_p^2(\theta) \int_0^{x_m} E_d^2(x) dx}{E_d^2(x) \int_0^{\theta_m} E_p^2(\theta) d\theta} \quad (3)$$



Gambar 2. Struktur antenna offset reflektor

Nilai terbesar dan terendah dari permukaan reflektor utama masing-masing disimbolkan dalam sistem koordinat (x_{MU}, z_{MU}) dan (x_{ML}, z_{ML}) . Di sisi lain, koordinat (r_{SU}, θ_{SU}) dan (r_{SL}, θ_{SL}) menunjukkan maksimum dan minimum profil sub reflektor.

Diameter *apertur* yang diproyeksikan dari reflektor offset, D , dapat ditemukan menggunakan [7]:

$$D = \frac{4f_m \sin \phi_c}{\cos \phi_B + \cos \phi_c} \quad (4)$$

Dimana

$$\phi_B = \frac{\phi_U + \phi_L}{2} \quad (5)$$

$$\phi_c = \frac{\phi_U - \phi_L}{2} \quad (6)$$

Antena *feed* dalam struktur offset dimiringkan θ_c menjauh dari sumbu z . Nilai $E_p(\theta)$ diberikan sebagai rumus berikut:

$$E_p^2(\theta) = \cos(\theta - \theta_c)^q \quad (7)$$

Sudut pusat *feed* antenna yang disimbolkan dengan θ_c dapat dihitung dengan menggunakan [9]:

$$\theta_c = \frac{\theta_U + \theta_L}{2} \quad (8)$$

di mana θ_U dan θ_L diperlakukan sebagai sudut offset maksimum dan minimum antenna feed.

Penting untuk diketahui bahwa gelombang elektromagnetik yang dipantulkan dari reflektor utama menjadi sejajar dengan sumbu z karena antenna dual-reflektor dirancang menggunakan konsep GO. Setelah itu, mereka membuat distribusi $E_d(x)$ yang didefinisikan oleh [9]:

$$E_d^2(x) = \left[1 - \left(\frac{x - x_c}{x_{MU} - R_s} \right)^2 \right]^{4p} \quad (9)$$

dimana R_s adalah jari-jari sub reflektor dan x_{MU} adalah nilai maksimum x-point pada permukaan reflektor utama. Di sisi lain, nilai titik x_c dapat ditentukan dengan menggunakan [9]:

$$x_c = x_{MU} - R_s \quad (10)$$

Program MATLAB dikembangkan untuk menyelesaikan persamaan diferensial simultan (yaitu, Persamaan (1), (2), (3), (4), dan (6)). Tahap perancangan dengan menggunakan MATLAB dimulai pada tepi reflektor di mana koordinat utama dan sub reflektor masing-masing dilambangkan dengan (x_{MU}, z_{MU}) dan (x_{SU}, θ_{SU}) .

Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari *feed* antenna mencapai permukaan sub reflektor pada sudut θ yang dilambangkan dengan (r, θ) dan jarak gelombang elektromagnetik yang dipancarkan diberikan oleh $\Delta\theta$. Persamaan. (1) digunakan untuk menentukan perubahan dr . Selanjutnya gelombang elektromagnetik-gelombang elektromagnetik tersebut dipantulkan ke arah permukaan reflektor utama dengan sudut ϕ dan menjadi sejajar dengan sumbu z pada titik koordinat (z, x) . Ekspresi pembentukan permukaan $dz/d\theta$ dapat ditentukan menggunakan Persamaan. (2). Sementara itu, nilai x-point dihasilkan menggunakan Persamaan. (3). Dengan mengulangi langkah-langkah perhitungan melalui solusi numerik dari persamaan diferensial simultan, profil pembentuk untuk permukaan offset utama dan sub reflektor dapat diperoleh.

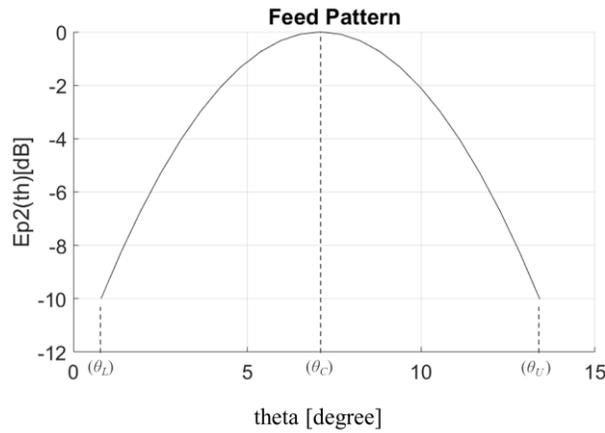
III. HASIL PERANCANGAN

Untuk merancang antenna offset reflektor, parameter awal dari struktur antenna harus ditentukan. Frekuensi pada 5G yaitu 28GHz, sehingga nilai frekuensi ditetapkan adalah 28GHz. Nilai pada Tabel 4.1 diperoleh melalui perhitungan matematis dan pemahaman konsep reflektor ganda.

TABEL 1
PARAMETER DASAR

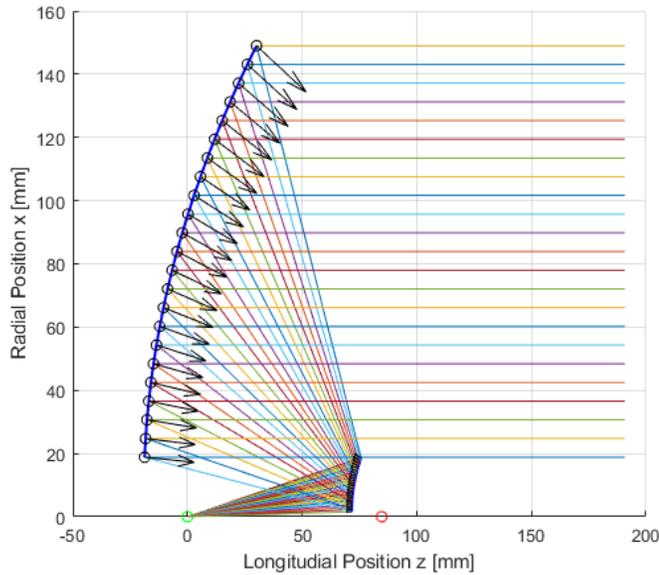
Parameter	Nilai	Besaran
Frekuensi	28	GHz
Diameter reflektor (D_m)	300	mm
Diameter apertur yang diproyeksikan dari reflektor offset (D)	120	mm
Panjang fokus reflektor utama (f_m)	100	mm
Sudut maksimum sub reflektor (θ_u)	15	degree
Sudut maksimum reflektor utama (ϕ_M)	80	degree

Gambar 3 menunjukkan pola radiasi untuk antenna *feed*. Pola radiasi antenna *feed* minimum harus setidaknya -10dB. Semakin rendah pola radiasi, semakin baik. Namun, ukuran antenna *horn* juga perlu dikurangi. Oleh karena itu, kami mengatur pola umpan ke -10dB. Sudut θ_c adalah pusat sudut tempat umpan memancarkan pola radiasi maksimum.



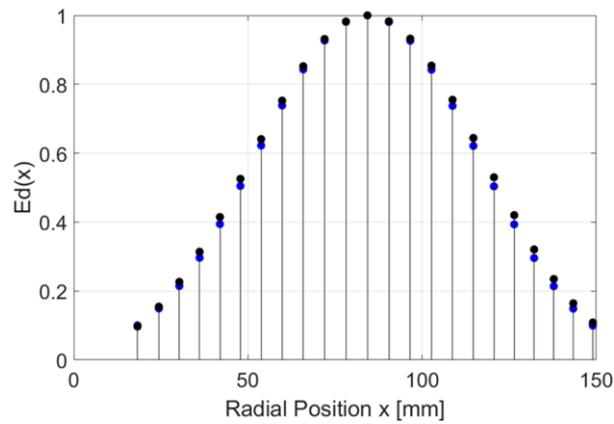
Gambar 3. Pola radiasi antenna *feed*

Gelombang elektromagnetik yang dipantulkan terjadi pada permukaan berbentuk yang berbeda ($p=0$ dan $p=1$) ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini dianggap bahwa titik terendah dari proyeksi-*aperture* diameter (D) terletak di bagian atas permukaan sub reflektor. Artinya *xML-point* dan R_s memiliki nilai yang sama.

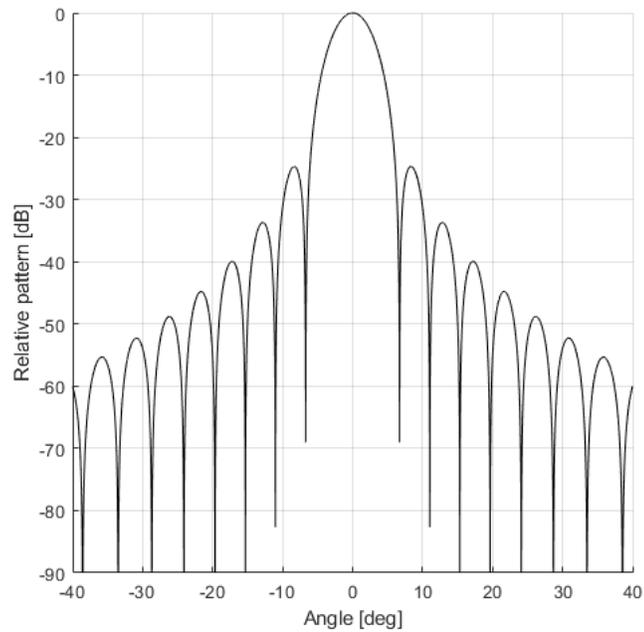


Gambar 4. Hasil *ray tracing* MATLAB

Di sisi lain, perbandingan $E_d(x)$ antara hasil simulasi dengan menggunakan pemrograman MATLAB dan perhitungan dengan menggunakan rumus di (9) terlihat pada Gambar 5. Garis hitam menunjukkan hasil $E_d(x)$ berdasarkan perhitungan sedangkan garis biru merupakan hasil simulasi MATLAB. Terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Sementara itu, distribusi pola radiasi dapat diperoleh dengan mengintegrasikan gelombang elektromagnetik dari antenna *feed* dengan $E_d(x)$. Gambar 6 menggambarkan hasil simulasi MATLAB untuk pola radiasi. Dapat diamati, *Side Lobe Level* (SLL) bernilai -24.5 dB. Sehingga ini menunjukkan bahwa pemrograman MATLAB pada proyek ini berfungsi dengan baik.

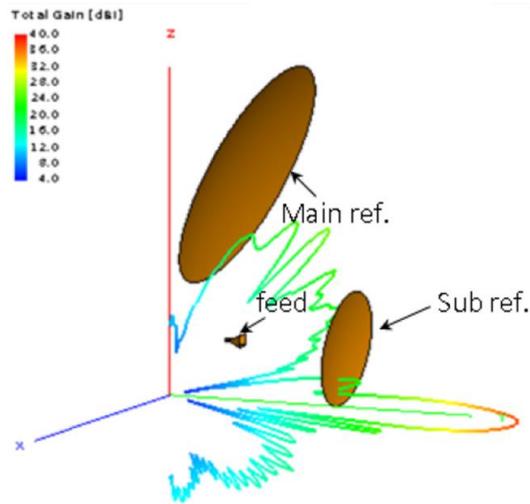


Gambar 5. Distribusi bukaan pada $E_d^2(x)$

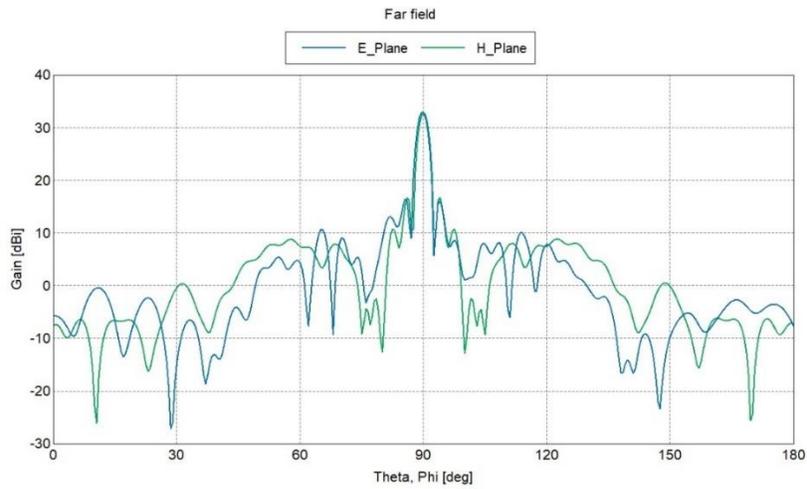


Gambar 6. Pola radiasi dalam bentuk 2-D

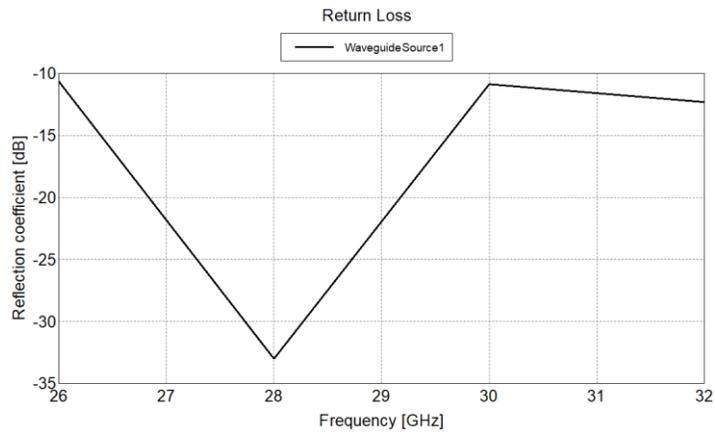
Untuk verifikasi pemograman MATLAB, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan FEKO. Dari hasil perancangan antenna *offset* reflektor seperti yang ditunjukkan di Gambar 7, antenna yang dirancang mampu menghasilkan gain sebesar 33.7 dBi, HPBW = 3.5 derajat, dan *return loss* sebesar -32.95 dB pada frekuensi 28 GHz, seperti yang ditunjukkan di Gambar 8 dan Gambar 9. Dari hasil simulasi FEKO tersebut terlihat bahwa antenna *offset* reflektor yang dibentuk menggunakan konsep dasar *shaping* mampu bekerja dengan baik.



Gambar 7. Hasil simulasi FEKO untuk *far-field* antenna offset reflektor



Gambar 8. Hasil simulasi FEKO untuk *gain* antenna offset reflektor



Gambar 9. Hasil simulasi FEKO untuk *return loss* antenna offset reflektor

IV. KESIMPULAN

Untuk mencapai antenna reflektor ganda *multibeam*s, konsep dasar shaping digunakan dalam mendesain antenna offset reflektor. Perangkat lunak MATLAB dikembangkan untuk melakukan pembentukan reflektor. Kemampuan untuk mendesain permukaan antenna *offset* reflektor ditunjukkan oleh hasil *ray tracing*, distribusi *aperture* $E_d(x)$ dan pola radiasi. Berdasarkan hasil perbandingan antara simulasi pemograman MATLAB dan perhitungan, tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Selain itu juga, untuk memvalidasi pemograman MATLAB, dilakukan perancangan lanjutan menggunakan *software* FEKO. Hasil simulasi menunjukkan gain antenna sebesar 33.7 dBi dengan return loss -32.9 dB pada frekuensi 28 GHz. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metoda *shaping* untuk antenna offset reflektor untuk frekuensi 28 GHz dapat digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. C. Chang and W. V. T. Rusch, "An Offset-Fed Reflector Antenna with an Axially Symmetric Main Reflector", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 32, no. 11, pp. 1230–1236, November 1984.
- [2] A. W. R. and N. A. Adatia, "Offset Parabolic-Reflector Antennas: A Review", *Proc. IEEE*, vol. 66, no. 1, March 1978.
- [3] H. L. L. I. P. and R. S. C. J. J. Lee, "A Shaped Offset-Fed Dual-Reflector Antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-27, no. 2, pp. 165–171, March 1979.
- [4] T. Milligan and C. Granet, "A simple procedure for the design of classical displaced-axis dual-reflector antennas using a set of geometric parameters", *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 41, no. 6, pp. 64–71, August 1999.
- [5] D. I. L. De Villiers, "Offset dual-reflector antenna system efficiency predictions including subreflector diffraction", *IEEE Antennas Wirel. Propag. Letters.*, vol. 10, pp. 947–950, August 2011.
- [6] M. R. Ahsan, M. T. Islam, Y. Yamada, and N. Misran, "Ray tracing technique for shaping a dual reector antenna system", *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 24, no. 3, pp. 1223– 1234, March 2016.
- [7] Y. T. Lo, and S. W. Lee, *Antenna Handbook: Antenna Theory*, Boston: Springer, 1988.
- [8] K. Quzwain, Y. Yamada, K. Kamardin, N. H. A. Rahman and A. Ismail, "New Reflector Shaping Methods for Dual-Reflector Antenna", *Radioengineering*, vol.31, pp. 39-53, April 2022.
- [9] K. Quzwain, Y. Yamada, K. Kamardin, N. H. A. Rahman and T. A. Rahman, "Design of Shaped Offset Dual-Reflector Antenna for 5G Mobile Base Station", 2018 IEEE International RF and Microwave Conference, Malaysia, (2018): 5-8.