

Rancang Bangun Antena *Log Periodic Dipole Array* untuk Aplikasi *Energy Harvesting* Gelombang Seluler

Antrisha Daneraici Setiawan, Dani Ramdani, Atik Charisma, dan Asep Najmurokhman

Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani

antrisha.daneraici@lecture.unjani.ac.id, danipedrosa300@gmail.com, atikcharisma@gmail.com,

asep.najmurokhman@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Energy harvesting adalah proses mengambil energi dari alam untuk dimanfaatkan sebagai sumber daya alternatif. Dalam dunia telekomunikasi, sebagian besar sinyal seluler yang dipancarkan oleh *base transceiver station* (BTS) tidak diterima oleh pengguna telepon seluler, namun hanya sebagian kecil yang dimanfaatkan untuk saling berkomunikasi antara pengguna dan BTS. Gelombang ini dapat dipanen menggunakan antena dengan frekuensi kerja yang sesuai, yaitu sekitar 1,8 GHz. Salah satu antena yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut adalah antena *log periodic dipole array* (LPDA) yang memiliki gain tinggi untuk dapat memanen gelombang seluler jika diarahkan ke sumber atau BTS. Pada penelitian ini perancangan antena LPDA berbahan dasar aluminium dilakukan melalui simulasi pada perangkat lunak CST. Ukuran antena LPDA dihitung berdasarkan persamaan yang telah ada dan dilakukan optimasi untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan. Hasil simulasi memiliki rentang frekuensi kerja pada 1,7764 – 1,9044 GHz dengan *bandwidth* antena sebesar 128 MHz. Nilai S_{11} minimum terdapat pada frekuensi 1,8308 GHz sebesar -56,6837 dB, sedangkan antena fabrikasi memiliki rentang frekuensi 1,738 – 1,846 GHz dengan *bandwidth* 108 MHz. Nilai minimum S_{11} sebesar -35,7 dB berada pada frekuensi 1,792 GHz.

Kata kunci: CST, *energy harvesting*, LPDA, sinyal seluler.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan teknologi yang sangat pesat mengakibatkan peningkatan kebutuhan akan sumber daya. Karena itu energi terbarukan yang terdapat bebas di udara dan tidak akan habis mulai dikembangkan untuk diolah sebagai sumber daya alternatif. Beberapa diantara energi terbarukan yang ada di alam adalah angin, air, cahaya matahari, dan getaran. Dalam dunia telekomunikasi terdapat energi yang berada bebas di udara, salah satu energi ini adalah gelombang seluler. Gelombang seluler dipancarkan oleh *base transceiver station* (BTS) ke segala arah untuk diterima oleh pengguna telepon seluler. Namun, sebagian besar gelombang akan teredam atau dipantulkan kembali ke udara. Hanya sebagian kecil saja yang digunakan oleh pengguna. Gelombang ini dapat dipanen dan dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yang disebut sebagai *energy harvesting*. Namun, proses ini masih menghasilkan energi yang rendah dibandingkan baterai.

Penelitian terkait *energy harvesting* hingga saat ini terfokus pada penyediaan perangkat tanpa baterai atau berdaya rendah yang umum digunakan pada sensor nirkawat, seperti yang dilakukan oleh Shameli, dkk (2007) dan Sauer dkk (2005). Pada artikelnya, Bazaka dan Jacob (2012) menyatakan bahwa teknologi *energy harvesting* dapat menjadi salah satu solusi untuk mengisi daya baterai pada perangkat yang ditanam dalam tubuh manusia atau hewan tanpa perlu mengeluarkan baterai tersebut. Umumnya perangkat yang ditanam memerlukan pembedahan untuk mengeluarkan perangkat tersebut.

Pemanenan sinyal dari udara membutuhkan antena dan rangkaian *rectifier* untuk mendapatkan tegangan DC. Sistem ini disebut juga sebagai *rectenna*. Khan dan Dheng (2016) merancang dan membangun antena *folded dipole* dengan *grounded parasitic loop* untuk *energy harvesting* pada 915 MHz. Antena ini berukuran 41 mm x 17,5 mm dan diperuntukkan bagi perangkat bergerak serta dapat ditanam. Performa antena diukur dengan sumber berupa UHF RFID. Antena mampu menangkap daya sebesar 200 μ W pada jarak 1,5 m dan daya 647 μ W pada jarak 0,5 m. Z. Osman, dkk. (2016) merancang antena *energy harvesting* berukuran *compact* untuk keperluan luar ruangan pada rentang frekuensi 839 – 860 MHz yang mampu menangkap sinyal dari *Wireless Sensor Network* (WSN). Antena yang dirancang berupa *Folded shorded Patch Antenna* (FSPA) yang merupakan antena susunan mikrostrip bertumpuk.

Penelitian lain yang terkait dengan *energy harvesting* juga dilakukan oleh Kamoda, dkk. (2015) yang merancang dan membangun antena *loop* untuk *dual-band* frekuensi radio, yang ditumpuk pada lapisan *Artificial Magnetic Conductor* (AMC). AMC digunakan untuk mendapatkan antena *low-profile* dan *gain* tinggi pada antena kawat. Sinyal yang dipanen berasal dari 500 MHz TV Broadcasting dan 875 MHz layanan telepon genggam untuk *downlink*. Antena tersebut mampu menangkap daya sebesar 23 μ W untuk sinyal termodulasi dan menghasilkan tegangan DC diatas 1,4 V. Shinki, dkk (2016) membuat rancangan rangkaian *energy harvesting* dengan efisiensi tinggi yang digabungkan dengan antena. Rangkaian tersebut terdiri dari sederet rangkaian resonansi dan rangkaian *boosting rectifier*

Info Makalah:

Dikirim : 10-16-2018;

Revisi 1 : 11-23-2018;

Revisi 2 : 12-05-2018;

Diterima : 12-05-2018.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-8132-4537-892

e-mail : antrisha.daneraici@lecture.unjani.ac.id

untuk mengubah daya pada frekuensi radio menjadi tegangan DC. Dengan melakukan optimasi pada impedansi masukan antena, efisiensi semakin meningkat dan menghasilkan tegangan keluaran 9.0 V DC untuk masukan rangkaian sebesar 100 mV pada 900 MHz.

Teknologi *energy harvesting* memiliki konsep yang sama dengan transfer daya nirkawat menggunakan antena. Sample dan Smith (2009) melakukan penelitian terhadap 2 (dua) sistem transfer daya nirkawat. Pertama, perangkat sensor *Wireless Identification and Sensing Platform* (WISP) yang menggunakan sumber UHF RFID komersial 915MHz dengan daya yang ditangkap dari $2\mu\text{W} - 2\text{mW}$. Kedua, sistem yang memanen daya $60\mu\text{W}$ dari pemancar TV VHF atau UHF berjarak 4 km.

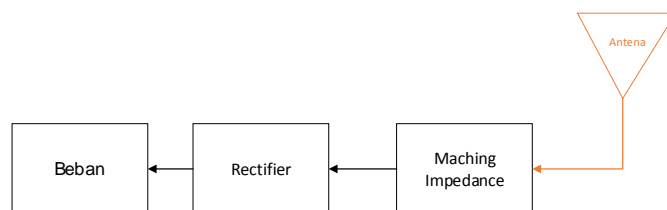
Gelombang yang digunakan sebagai sumber *energy harvesting* untuk setiap tempat sangat berbeda, bergantung pada kondisi lingkungan. Gelombang seluler dapat dipanen karena gelombang ini terdapat dimana-mana. Gelombang seluler memiliki beberapa alokasi yang telah disepakati. Teknologi 2G GSM900 dan GSM1800 berada pada sekitar 900MHz dan 1800MHz. Saat ini GSM1800 sudah direalokasi untuk kebutuhan 4G. Teknologi UMTS2100 berada pada sekitar frekuensi 2100MHz. Teknologi 4G berada pada sekitar 850, 900, 1800, dan 2300MHz. Frekuensi kerja pada penelitian ini ditentukan terlebih dahulu berdasarkan pengukuran spektrum frekuensi seluler dominan di lingkungan kampus UNJANI. Pada saat ini, kebutuhan gelombang terbesar di daerah urban adalah 4G, yaitu di sekitar 1,8 GHz.

Kemampuan panen energi sangat bergantung pada antena yang digunakan untuk menangkap sinyal. Antena yang digunakan bisa bersifat *omnidirectional* atau *directional*. Antena *directional* memiliki kemampuan pemanenan sinyal lebih tinggi karena memiliki gain yang tinggi, namun perlu diarahkan pada titik tempat datangnya sinyal. Salah satu contoh adalah antena *log periodic dipole array* (LPDA). LPDA memiliki gain tinggi dan dapat dibuat dari bahan aluminium. Selain itu, proses pembuatannya lebih mudah dan cepat dibandingkan antena mikrostrip yang harus melewati proses pencetakan dan pencucian. Antena ini memiliki nilai S_{11} berada di bawah -10 dB pada rentang frekuensi kerjanya.

Dari latar belakang dan kebutuhan di atas, maka diusulkan perancangan dan fabrikasi antena LPDA berbahan aluminium untuk *energy harvesting* sinyal seluler pada frekuensi sekitar 1,8 GHz. Metode yang dilakukan dalam rancang bangun antena LPDA untuk *energy harvesting* sinyal seluler meliputi beberapa tahapan, yaitu: (1) Pengukuran frekuensi sinyal seluler dominan sekitar 1,8 GHz di area kampus UNJANI, (2) Perancangan dan optimasi antena LPDA dengan perangkat lunak CST, (3) Fabrikasi antena LPDA menggunakan bahan aluminium, dan (4) Pengukuran parameter-parameter antena LPDA. Adapun tujuan yang ingin dicapai adalah merancang antena LPDA untuk aplikasi *energy harvesting* sinyal seluler frekuensi sekitar 1,8 GHz dan melakukan fabrikasi antena LPDA dengan bahan dasar lempeng aluminium.

2. Metode

Konsep *energy harvesting* adalah menangkap energi berupa gelombang medan listrik dengan menggunakan antena yang terhubung dengan rangkaian *rectifier*. Agar tidak terjadi rugi-rugi yang tinggi akibat sinyal frekuensi tinggi antar antena dan rangkaian *rectifier*, maka perlu dibuat rangkaian *matching impedance*. Dari rangkaian *rectifier* sinyal berupa tegangan DC dapat disambungkan langsung dengan beban atau baterai (Gambar 1). Penelitian ini memberikan fokus utama pada perancangan dan fabrikasi antena untuk *energy harvesting* sinyal seluler frekuensi sekitar 1,8 GHz. Antena berupa LPDA yang difabrikasi menggunakan bahan plat aluminium.

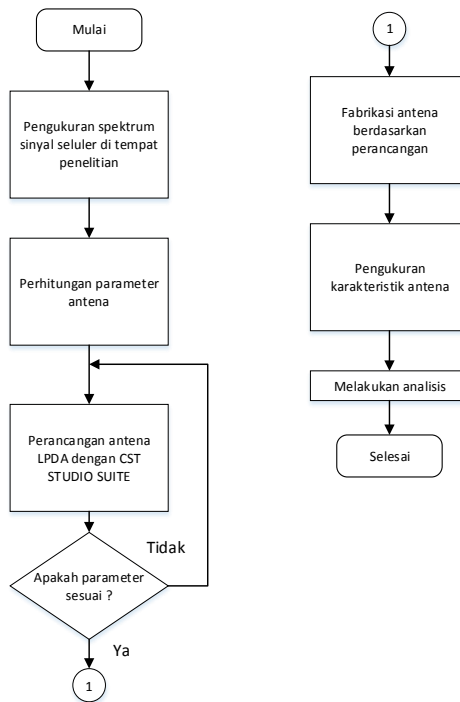


Gambar 1. Diagram Blok *Energy Harvesting*

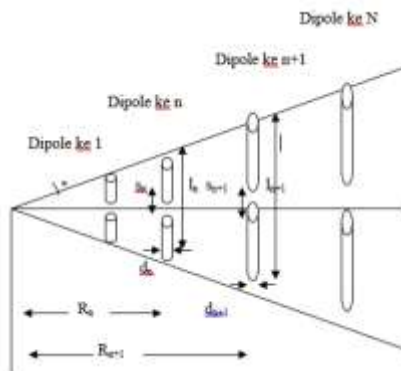
Proses perancangan digambarkan pada diagram alir (Gambar 2). Perancangan dimulai dengan melakukan pengukuran sinyal seluler dominan di sekitar 1,8 GHz di lingkungan kampus UNJANI. Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan ukuran antena LPDA sesuai spesifikasi yang diinginkan. Kemudian dilakukan optimasi untuk memperbaiki frekuensi kerja serta nilai parameter S_{11} . Selanjutnya adalah fabrikasi antena dan pengukuran parameter-parameter, meliputi S_{11} , VSWR, dan pola radiasi. Hasil perancangan dan pengukuran dibandingkan sebagai validasi.

Antena LPDA termasuk ke dalam antena *unidirectional* atau terarah yang mempunyai polarisasi terfokus pada satu arah tertentu. Antena *log periodic* memiliki kemiripan dengan antena Yagi-Uda. Perbedaannya adalah direktivitas dan gain yang dicapai antena *log periodic* lebih kecil, namun memiliki lebar *bandwidth* yang lebih lebar. Dimensi geometri antena Yagi-Uda tidak mengikuti aturan tertentu, sedangkan antena *log periodic* mengikuti suatu perbandingan tertentu (Gambar 3). Ukuran yang harus diperhatikan pada perancangan antena LPDA adalah l_n , panjang total dipole ke- n , R_n , jarak dipole ke- n dari titik acuan, d_n , diameter kawat *dipole* ke- n , dan s_n , jarak antar kawat pada *dipole* ke- n sesuai dengan persamaan yang tertulis pada literatur (Alaydrus, 2011).

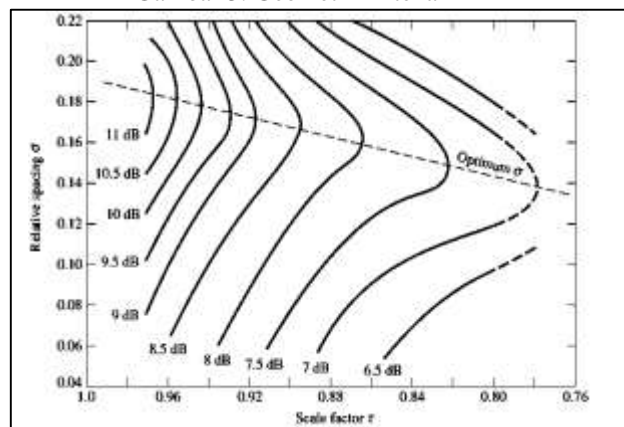
Jumlah *dipole* pada antena LPDA menentukan kualitas parameter S_{11} dan *bandwidth* antena ini. Perancangan LPDA harus memperhatikan jarak antar *dipole* yang berdampingan. Hal ini ditentukan oleh parameter faktor skala, τ , dan jarak relative, σ . Parameter keduanya dapat ditentukan berdasarkan kurva direktivitas (Gambar 4).



Gambar 2. Diagram Alir Rancang Bangun



Gambar 3. Geometri Antena LPDA



Gambar 4. Kurva Direktivitas

Gain antena yang diinginkan menjadi nilai patokan untuk menentukan nilai τ dan σ . Kemudian, nilai τ dan σ ditentukan untuk mendapatkan suatu sudut direktivitas, α , tertentu. Nilai direktivitas dapat ditentukan oleh persamaan (1).

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1-\tau}{4\sigma}\right) \quad (1)$$

Antena LPDA memiliki tiga besaran *bandwidth* dalam perancangannya. Ketiganya adalah *bandwidth* yang diinginkan, B , *bandwidth* wilayah aktif, B_{ar} , dan *bandwidth* yang dirancang B_s . Ketiga besaran tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) – (4). Panjang antena, L , dihitung dengan persamaan (5). Persamaan (6) digunakan untuk menentukan dimensi *dipole* terpendek, l_{min} , hingga *dipole* terpanjang, l_{max} . Posisi setiap *dipole* dari titik acuan dihitung menggunakan persamaan (7) dengan panjang gelombang maksimal dihitung dengan persamaan (8). Sebagai pelengkap, ditentukan jumlah *dipole* yang digunakan pada antena LPDA yang ditunjukkan pada persamaan (9). Untuk menghitung jarak relatif rata-rata antar *dipole* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (10).

$$B = \frac{f_{max}}{f_{min}} \quad (2)$$

$$B_{ar} = 1,1 + 7,7(1-\tau)^2 \cot \alpha \quad (3)$$

$$B_s = B \cdot B_{ar} \quad (4)$$

$$L = \frac{\lambda_{max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha \quad (5)$$

$$\tau = \frac{l_n}{l_n + 1} = \frac{R_n}{R_n + 1} = \frac{d_n}{d_n + 1} = \frac{S_n}{S_n + 1} \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{(R_n + 1) - R_n}{2l_n + 1} \quad (7)$$

$$\lambda_{max} = 2l_{max} = \frac{v}{f_{min}} \quad (8)$$

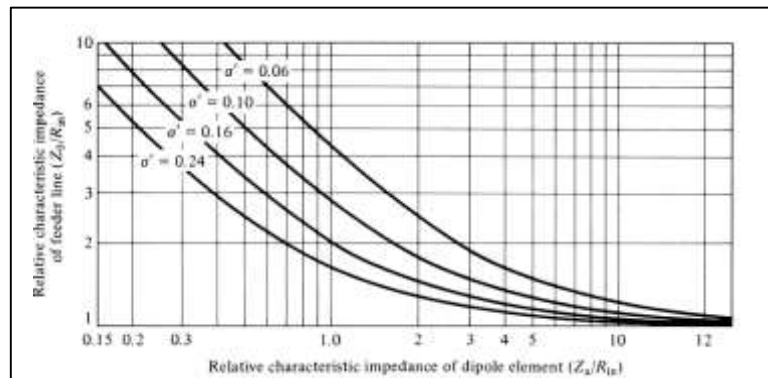
$$N = 1 + \frac{l_n \cdot B_s}{\ln\left(\frac{1}{\tau}\right)} \quad (9)$$

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} \quad (10)$$

Karakteristik impedansi dari antena LPDA ditentukan oleh kurva karakteristik impedansi relative (Gambar 5). Z_a adalah impedansi karakteristik rata-rata setiap elemen pada LPDA yang ditentukan oleh persamaan (11) dan R_{in} adalah impedansi masukan dari *feeder line* yang besarnya adalah 50 Ω . Jarak *feeder line* pada antena LPDA ditentukan oleh persamaan (12).

$$Z_a = 120 \left[\ln\left(\frac{l_n}{d_n}\right) - 2,25 \right] \quad (11)$$

$$S = d \cdot \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \quad (12)$$



Gambar 5. Kurva Karakteristik Impedansi Relatif

Spesifikasi antena LPDA ditentukan berdasarkan pengukuran sinyal seluler di lingkungan kampus UNJANI. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Advantest U3751 Spectrum Analyzer* dan antena referensi LPDA (Gambar 6). Sinyal diukur pada empat tempat, yaitu di gazebo dekat gedung Edi Sudrajat, di lapang parkir motor sebelah utara gedung gedung Edi Sudrajat, di dekat gedung Sasana Krida sebelah timur, dan di dalam gedung laboratorium Teknik Elektro lantai 2. Secara garis besar frekuensi yang cukup baik dan dominan berada pada rentang

frekuensi 1,8278 – 1,8374 GHz dengan nilai S11 berada pada rentang -61 – -52 dB (Tabel 1) bergantung pada tempat pengukuran.



Gambar 6. Alat Ukur (a) *Advantest U3751 Spectrum Analyzer* dan (b) Antena Referensi *Log Periodic*
 Tabel 1. Hasil Pengukuran Sinyal Sekitar 1,8 GHz di Kampus UNJANI

NO	Lokasi	Frekuensi	S11 (dBm)	Frekuensi	S11 (dBm)	Rata-rata S ₁₁ (dBm)
		Bawah (GHz)		Atas (GHz)		
1	Gazebo	1.8278	-38.66	1.8366	-51.36	-52
2	Area Parkir	1.8278	-48.24	1.8374	-43.23	-57
3	Samping GSK	1.8278	-52.25	1.8374	-46.85	-61
4	Laboratorium	1.8278	-38.41	1.8366	-50.57	-52

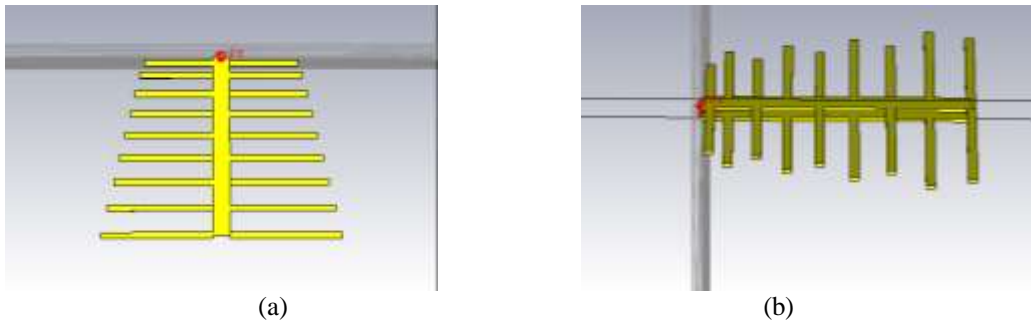
Dari hasil pengukuran sinyal yang berada sekitar frekuensi 1,8 GHz di kampus UNJANI maka ditentukan spesifikasi antena yang akan dirancang (Tabel 2). Dari spesifikasi antena, ukuran antena LPDA dapat ditentukan berdasarkan persamaan (1) – (12). Dari *gain* yang diinginkan, dapat ditentukan pertama kali adalah faktor jarak, σ , dan faktor skala, τ , hingga akhirnya didapatkan jarak antar elemen (Tabel 3). Hasil perancangan kemudian disimulasikan pada perangkat lunak CST (Gambar 7).

Tabel 2. Spesifikasi Antena LPDA untuk *Energy Harvesting* Sinyal Seluler

Parameter	Nilai
<i>Gain</i>	>8dB
Z_{Δ}	50 Ω
Frekuensi	1.8278-1.8374GHz
<i>Bandwidth</i>	\geq 100 MHz

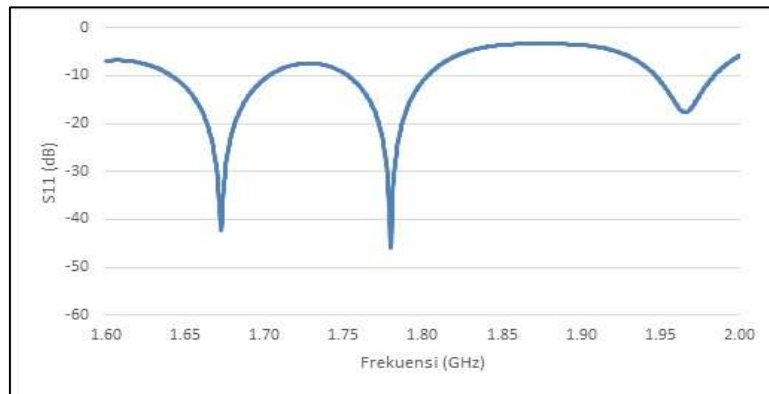
Tabel 3. Dimensi Antena LPDA untuk *Energy Harvesting* Sinyal Seluler

No	Nama Elemen	Panjang / Lebar	Titik Acuan
1	<i>Boom</i>	7.322 cm / 0.7 cm	-
2	Elemen 1	2.833 cm / 0.246 cm	0.1 cm - 0.346 cm
3	Elemen 2	3.014 cm / 0.246 cm	0.606 cm - 0.855 cm
4	Elemen 3	3.206 cm / 0.246 cm	1.383 cm - 1.629 cm
5	Elemen 4	3.411 cm / 0.246 cm	2.209 cm - 2.455 cm
6	Elemen 5	3.629 cm / 0.246 cm	3.087 cm - 3.333 cm
7	Elemen 6	3.861 cm / 0.246 cm	4.22 cm - 4.268 cm
8	Elemen 7	4.108 cm / 0.246 cm	5.016 cm - 5.262 cm
9	Elemen 8	4.371 cm / 0.246 cm	6.074 cm - 6.197 cm
10	Elemen 9	4.65 cm / 0.246 cm	7.199 cm - 7.445 cm



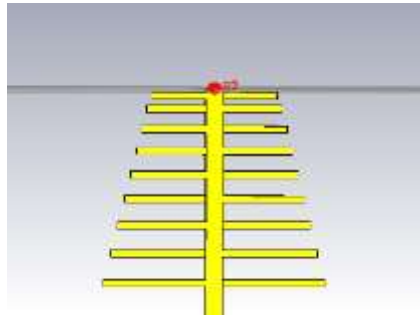
Gambar 7. Hasil Perancangan Antena LPDA (a) Tampak Depan dan (b) Tampak Belakang

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa terdapat dua frekuensi kerja yaitu pada 1,6425 – 1,7017 GHz dan 1,7539 – 1,802 GHz dengan frekuensi tengah dari kedua rentang frekuensi tersebut mencapai -45 dB (Gambar 8), namun belum mencapai spesifikasi yang diinginkan. Hasil ini mungkin terjadi akibat pembulatan yang dilakukan pada perhitungan. Selain itu, secara geometri antena ini akan sulit untuk difabrikasi karena ukuran *boom* yang tidak cukup panjang sehingga bagian elemen terakhir tidak sepenuhnya menempel. Optimasi dilakukan dengan mengubah panjang dan lebar *boom* serta panjang dan lebar elemen (Tabel 4). Ukuran *boom* menjadi cukup panjang untuk menempatkan semua elemen yang ada (Gambar 9).



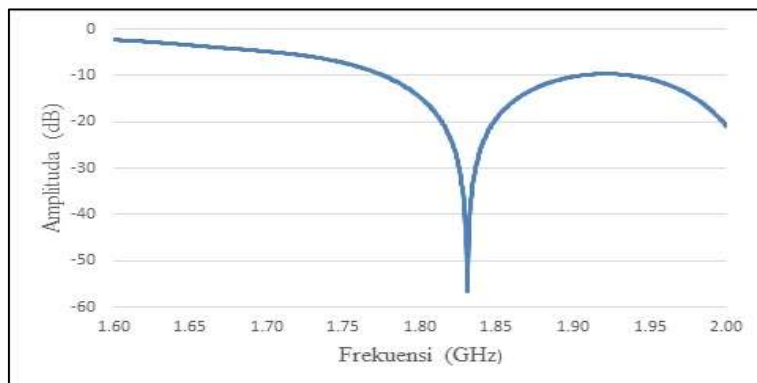
Gambar 8. Kurva Parameter S_{11} Hasil Simulasi Antena LPDA yang Dirancang Tabel 4. Finalisasi Ukuran Antena LPDA untuk *Energy Harvesting* Sinyal Seluler

No	Nama Elemen	Panjang / Lebar	Titik penempatan
1	<i>Boom</i>	8.5cm / 0.65cm	-
2	Elemen 1	2.058cm / 0.26cm	0.1cm-0.36cm
3	Elemen 2	2.239cm/0.26cm	0.594cm-0.854cm
4	Elemen 3	2.431cm / 0.26cm	1.371cm-1.631cm
5	Elemen 4	2.636cm / 0.26cm	2.187cm-2.447cm
6	Elemen 5	2.854cm / 0.26cm	3.075cm-3.335cm
7	Elemen 6	3.086cm / 0.26cm	4.01cm-4.27cm
8	Elemen 7	3.333cm / 0.26cm	5.004cm-5.264cm
9	Elemen 8	3.596cm / 0.26cm	6.062cm-6.322cm
10	Elemen 9	3.875cm / 0.26cm	7.187cm-7.447cm

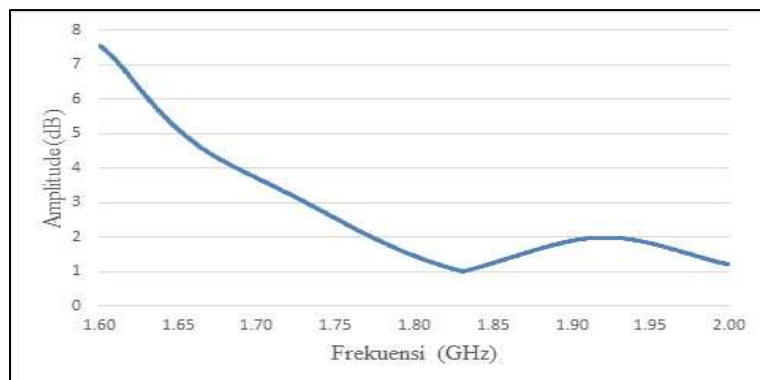


Gambar 9. Penampang Optimasi Antena Tampak Depan

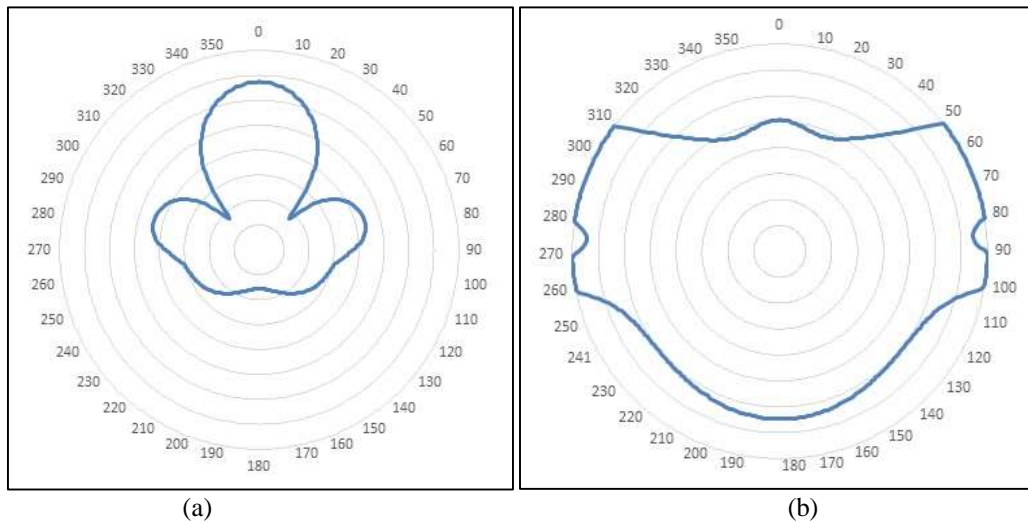
Hasil akhir optimasi antena LPDA memiliki rentang frekuensi kerja pada 1,7764 – 1,9044 GHz dengan nilai S_{11} minimum terdapat pada frekuensi 1,8308 GHz sebesar -56,6837 dB (Gambar 10). *Bandwidth* antena sebesar 128 MHz. Rentang frekuensi ini melingkupi rentang frekuensi yang diinginkan oleh spesifikasi awal antena dan telah memiliki nilai S_{11} dan VSWR yang baik yaitu di bawah 2 untuk entang frekuensi kerjanya (Gambar 11). Pola radiasi pada penampang sudut azimut menunjukkan antena memiliki *main lobe* atau arah utama menuju ke bagian depan antena dengan *side lobe* mengarah ke samping pada sudut 70° dan 290° (Gambar 12a). Sedangkan pada penampang sudut elevasi menunjukkan radiasi terbesar ke arah atas dan bawah antena yaitu sudut $50 - 100^\circ$ dan $260 - 310^\circ$ (Gambar 12b). Fabrikasi antena dilakukan dengan mesin *laser cutting* di PT. Laser Indonesia menggunakan bahan dasar plat aluminium (Gambar 13). Pada ujung belakang antena dipasang kabel koaksial dan dihubungkan pada konektor SMA.



Gambar 10. Kurva Parameter S11 Hasil Simulasi Optimasi Antena LPDA



Gambar 11. Kurva VSWR Hasil Simulasi Optimasi Antena LPDA



Gambar 12. Pola Radiasi Hasil Simulasi Optimasi Antena Pada Sudut (a) Azimuth dan (b) Elevasi



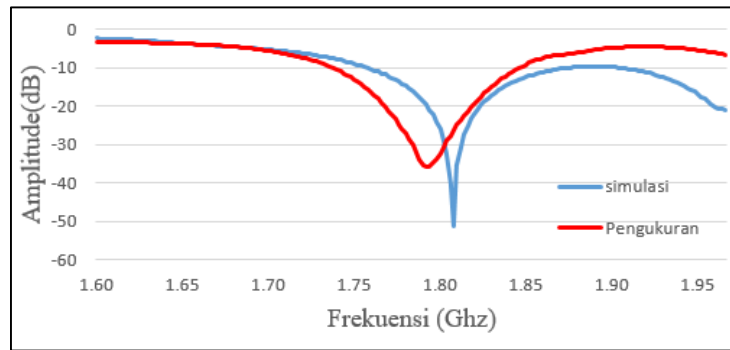
Gambar 13. Fabrikasi Antena LPDA untuk *Energy Harvesting* Sinyal Seluler

3. Hasil dan Pembahasan

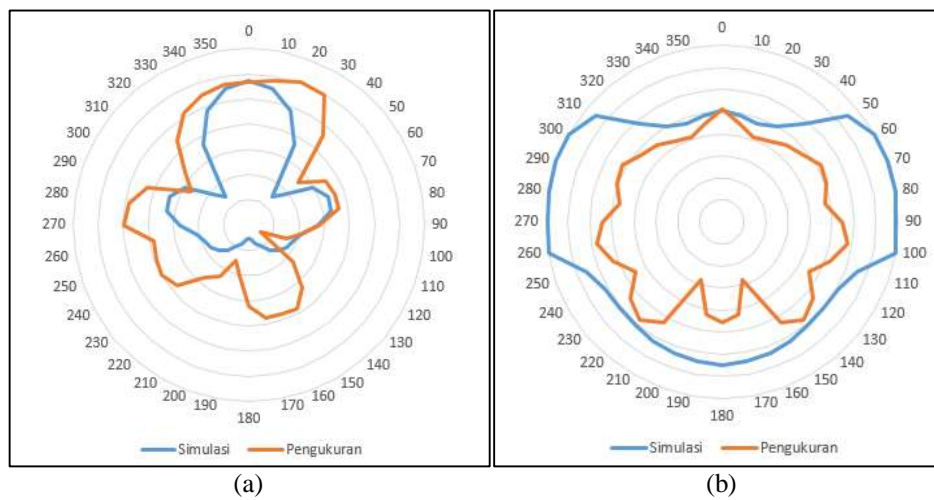
Pengukuran antena LPDA dilakukan untuk menentukan nilai parameter S_{11} , VSWR, dan pola radiasi. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur *vector network analyzer 100 kHz – 20 GHz cobalt series C1220* untuk S_{11} dan VSWR dan *anritsu site master S331D* untuk membantu pengukuran pola radiasi antena. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB.

Perbandingan antara hasil pengukuran dan simulasi mengalami perbedaan yang cukup terlihat. Frekuensi kerja hasil pengukuran bergeser ke kiri. Nilai minimum S_{11} sebesar $-35,7$ dB berada pada frekuensi $1,792$ GHz atau bergeser sejauh $38,8$ MHz (Gambar 14). Frekuensi kerja antena yang difabrikasi adalah $1,738 - 1,846$ GHz dengan *bandwidth* 108 MHz, lebih rendah dibandingkan hasil simulasi. Namun, antena ini masih memenuhi spesifikasi antena LPDA untuk *energy harvesting* sinyal seluler. pada rentang frekuensi yang diinginkan untuk memanen energi, yaitu pada $1,8278 - 1,8374$ besarnya nilai S_{11} rata-rata adalah $-14,3$ dB. Hal ini masih dapat dikatakan baik. Perbedaan antara pengukuran dan simulasi umum terjadi. Hal ini diakibatkan oleh ketidaksempurnaan pemasangan kabel atau letak eksitasi pada antena. Selain itu pemasangan batang kayu dan lem untuk menempelkan bagian atas dan bawah antena dapat menyebabkan kesalahan pada pengukuran. Membesarnya nilai S_{11} pada pengukuran umum disebabkan karena pada saat simulasi eksitasi dianggap ideal tanpa memperhitungkan keberadaan konektor dan kabel.

Perbandingan pola radiasi sudut azimuth antara simulasi dan pengukuran menunjukkan bentuk yang hampir sama, yaitu memiliki *main lobe* ke arah depan (Gambar 15a). Namun pada bagian belakang antena, yaitu pada sudut 170° dan $210 - 280^\circ$ memiliki *lobe* yang cukup mengganggu. Hal ini biasanya diakibatkan saat pengukuran, kabel pada bagian belakang antena mengganggu sinyal yang diterima. Perbandingan pola radiasi sudut elevasi menghasilkan bentuk yang berbeda (Gambar 15b). Hasil pengukuran menunjukkan pola radiasi yang hampir *omnidirectional*. Hal ini diakibatkan oleh pemasangan kabel yang kurang sempurna dan penambahan batang kayu dan lem pada penempelan kedua bagian antena.



Gambar 14. Grafik Perbandingan S_{11} Hasil Simulasi dan Pengukuran



Gambar 15. Perbandingan Pola Radiasi Hasil Simulasi dan Pengukuran sudut (a) Azimuth dan (b) Elevasi

Kesimpulan

Antena LPDA untuk *energy harvesting* sinyal seluler frekuensi 1,8278 – 1,8374 GHz telah berhasil difabrikasi. Hasil simulasi menunjukkan rentang antena pada rentang frekuensi 1,7764 – 1,9044 GHz dengan nilai S_{11} minimum terdapat pada frekuensi 1,8308 GHz sebesar -56,6837 dB. *Bandwidth* antena sebesar 128 MHz. Pola radiasi sudut azimuth menunjukkan kecenderungan pada arah depan dan sudut elevasi memiliki kecenderungan pada arah atas 50 – 100° dan bawah 260 – 310°. Hasil pengukuran antena yang telah difabrikasi menunjukkan pergeseran, namun masih mengandung rentang frekuensi 1,8278 – 1,8374 GHz. Rentang frekuensi antena fabrikasi adalah 1,738 – 1,846 GHz dengan nilai S_{11} minimum terdapat pada frekuensi 1,792 GHz sebesar -35,7 dB. *Bandwidth* antena sebesar 108 MHz. Pola radiasi sudut azimuth menghasilkan hasil yang hampir sama dengan hasil simulasi, yaitu menghadap ke depan. Sedangkan pola radiasi sudut elevasi menghasilkan bentuk hampir *omnidirectional*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM UNJANI yang telah membiayai penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB beserta laboran, Zenal Arifin, yang telah membantu penulis dalam melakukan pengukuran antena LPDA.

Daftar Notasi

- l_n = panjang total dipole ke- n [m]
- R_n = jarak dipole ke- n dari titik acuan [m]
- d_n = diameter kawat *dipole* ke- n [m]
- s_n = jarak antar kawat pada *dipole* ke- n [m]
- τ = faktor skala
- σ = jarak relatif
- α = sudut direktifitas [°]
- B = *bandwidth* yang diinginkan [GHz]
- B_{ar} = *bandwidth* wilayah aktif [GHz]

- B_s = bandwidth yang dirancang [GHz]
 L = panjang antena [m]
 l_{min} = dimensi *dipole* terpendek [m]
 l_{max} = dimensi *dipole* terpanjang [m]
 f_{max} = frekuensi tertinggi [GHz]
 f_{min} = frekuensi terendah [GHz]
 λ_{max} = panjang gelombang tertinggi [m]
 N = jumlah elemen LPDA
 σ' = jarak relative rata-rata
 Z_a = impedansi karakteristik rata-rata setiap elemen [Ω]
 R_{in} = impedansi masukan dari *feeder line* [Ω]
 S = Jarak *feeder line* pada antena LPDA [m]

Daftar Pustaka

- Alaydrus, M. (2011). *Antena Prinsip & Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Bazaka, K., dan Jacob, M. V. (2012). Implantable devices: issues and challenges. *Electronics*, 2(1), 1-34.
- Kamoda, H., Kitazawa, S., Kukutsu, N., dan Kobayashi, K. (2015). Loop antenna over artificial magnetic conductor surface and its application to dual-band RF energy harvesting. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(10), 4408-4417.
- Khan, M. S., dan Deng, H. (2016). Design and implementation of a highly efficient UHF energy harvesting antenna. In *Antennas and Propagation (APSURSI), IEEE International Symposium*, 611-612.
- Osman, Z., Azemi, S. N., Ezanuddin, A. A. M., & Kamarudin, L. M. (2016, August). Compact antenna design for outdoor RF energy harvesting in wireless sensor networks. In *Electronic Design (ICED), 2016 3rd International Conference*, 199-202.
- Sample, A., dan Smith, J. R. (2009). Experimental results with two wireless power transfer systems. In *Radio and Wireless Symposium, RWS'09*. IEEE, 16-18.
- Sauer, C., Stanacevic, M., Cauwenberghs, G., dan Thakor, N. (2005). Power harvesting and telemetry in CMOS for implanted devices. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 52(12), 2605-2613.
- Shameli, A., Safarian, A., Rofougaran, A., Rofougaran, M., dan De Flaviis, F. (2007). Power harvester design for passive UHF RFID tag using a voltage boosting technique. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 55(6), 1089-1097.
- Shinki, Y., Shibata, K., Mansour, M., & Kanaya, H. (2016, November). High efficiency energy harvesting circuit with impedance matched antenna. In *Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), IEEE 18th*, 532-535.